Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева
Тульское отделение Российского химического общества им. Д.И. Менделеева
Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)
ТООО «Научно-технический центр»
ООО «ТУЛЬСКИЙ ДНТ»

XXXVI ВСЕРОССИЙСКАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ»

Сборник докладов

Тула
Издательство ТулГУ
2026

УДК 502/504(062)
ББК 20.1я431
С56

Рецензенты:

Вольхин Сергей Николаевич, доктор педагогических наук, профессор, ректор АНО ДПО «Академия профессионального развития»;

Рылеева Евгения Михайловна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры охраны труда и окружающей среды ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

С 56 Современные проблемы экологии : XXXVI Всероссийская научно-практическая конференция : сб. докладов / под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2026. – 291 с.

ISBN

Сборник содержит материалы по проблемам состояния и оценки экологической ситуации, рационального природопользования, экологически чистых химических технологий, очистке газовых выбросов в атмосферу, применению новых методов очистки, утилизация промышленных и бытовых отходов жизнедеятельности людей, вопросам радиологической безопасности, путям и методам решения других вопросов экологии.

Выделены приоритетные направления природопользования: экономика, право, образование, а также перспективы устойчивого развития: взаимодействие органов власти, общества и бизнеса в решении экологических проблем. Даны решения некоторых практических задач охраны окружающей среды.

Материалы предназначены для научных сотрудников, преподавателей высших учебных заведений, аспирантов, студентов и специалистов, занимающихся проблемами экологии и медицины.

Редакционная коллегия:

В.П. Мешалкин, академик РАН; В.М. Панарин, проф., д-р техн. наук; А.А. Маслова, доц., д-р техн. наук; Л.Э. Шейнкман, проф. д-р техн. наук; А.Е. Коряков, доц., канд. техн. наук

УДК 502/504(062)
ББК 20.1я431

ISBN

© Авторы докладов, 2026
© Издательство ТулГУ, 2026

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ПОЛИГОНОВ ТКО КАК СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

В.М. Панарин, А.А. Маслова, Ю.Д. Исаева
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Обосновывается системный подход к оценке экологических рисков рекультивированных полигонов ТКО. Представлена характеристика объекта как динамичная система с эмерджентными свойствами, требующая отказа от статичных моделей ПДК в пользу вероятностных показателей и сценарного анализа. Рассмотрены специфические опасности (биогаз, фильтрат, осадка) и инструменты их прогнозирования (ГИС, FTA, гидрогеологическое моделирование). Установлена зависимость ключевых рисков от вида последующего землепользования. Предложен переход к стратегии постоянного мониторинга и адаптивного управления для минимизации угроз здоровью населения и экосистемам.*

Рекультивация полигонов твердых коммунальных отходов – это лишь первый этап возвращения нарушенных земель в хозяйственный оборот. Однако даже после формального завершения работ территория бывшего полигона остается сложной техно-природной системой. Она характеризуется неоднородностью, многофакторностью воздействия, длительными латентными процессами и неопределенностью. Оценка экологических рисков на таких объектах требует отказа от линейных моделей и перехода к системному анализу, учитывающему взаимодействие биохимических, геологических и антропогенных факторов [1].

Необходимо рассматривать полигон ТКО как сложную систему, так как территория рекультивированного полигона обладает признаками сложной системы:

- многокомпонентность – включает техногенное тело (свалочный грунт), рекультивационные слои (почва, глина, геомембраны), грунтовые воды, атмосферный воздух и биоту;
- неоднородность (гетерогенность) – внутри массива отходов одновременно протекают аэробные и анаэробные процессы, существуют зоны с разной проницаемостью и концентрацией загрязнителей;
- нестационарность – свойства системы меняются во времени (усадка грунта, деградация барьеров, эволюция биогаза) в течение 30-50 лет;
- эмерджентность – риски для здоровья или экосистемы не сводятся к сумме рисков по отдельным загрязнителям (например, синергетический эффект тяжелых металлов и микропластика) [2].

Источников опасности на рекультивированных полигонах имеют свою специфику. Главная особенность заключается в том, что тело полигона продолжает быть источником эмиссии даже после рекультивации:

- биогаз (метан, CO_2) образуется десятилетиями, создавая риск взрывов, парникового эффекта и угнетения корневых систем растений;
- фильтрат (стоки) может активизироваться после нарушений гидроизоляции или при изменении гидрологического режима;
- неравномерная осадка тела полигона ведет к образованию провалов, разрыву защитных экранов и выносу загрязнителей на поверхность;
- трансформация отходов – со временем в теле полигона могут образовываться новые токсичные соединения (например, диоксины при тлении).

Таким образом, в отличие от промышленной площадки, здесь нет «статичного» источника – система эволюционирует.

Традиционные методики (например, US EPA или отечественные СанПиН) ориентированы на точечные источники. Для полигона как системы необходимо применять интегральные и динамические модели (см.п.3.3).

К этапам оценки риска относят:

- идентификация опасностей (переход от простого перечня к построению графа причинно-следственных связей: «просадка → разрыв мембраны → миграция фильтрата → загрязнение водоносного горизонта»);
- оценка доза-эффект (учет кумулятивного и комбинированного действия поллютантов);
- оценка экспозиции (учет путей миграции: не только прямой контакт, но и биотранслокация через растения и почвенную фауну);
- характеристика риска (ранжирование сценариев: рекреационное использование, строительство, сельское хозяйство).

Ключевыми инструментами оценки рисков являются:

- геоинформационные системы (ГИС) – для пространственного анализа зон риска (горячие точки выбросов метана);
- моделирование фильтрации (HELP, MODFLOW) – для прогноза поведения фильтрата;
- анализ дерева отказов (FTA) – для оценки вероятности отказов барьеров.

Для разных видов использования существуют особенности оценки риска. Каждый целевой сценарий накладывает свои требования к системе «полигон-среда» (таблица).

Сложность системы порождает высокую степень неопределенности:

- первичная неопределенность – неполнота данных о составе отходов (захоронения прошлых лет);
- временная неопределенность – трудно предсказать, когда разрушится защитный слой;
- поведенческая неопределенность – риск связан не только с «железом», но и с действиями людей (например, несанкционированное бурение скважин).

Таблица

Особенности оценки риска для разных видов использования

Вид использования	Основные опасности	Особенности оценки риска
Зеленая зона / парк	Накопление метана в корнеобитаемом слое, контакт с почвой	Акцент на газовой опасности (пожар/взрыв) и миграции загрязнителей в растения
Промышленное строительство	Неравномерная осадка, агрессивная среда	Риск техногенной аварии (обрушение, коррозия)
Сельское хозяйство	Тяжелые металлы, органические ксенобиотики, патогены	Модели «почва-растение-животное-человек»; долгосрочный мониторинг

Для учета этого применяют вероятностные методы (Монте-Карло) и байесовские сети, что нетипично для стандартной экологической экспертизы [3].

Оценка экологического риска для рекультивированного полигона как сложной системы требует:

- постоянного мониторинга (датчики газа, пьезометры, дистанционное зондирование), а не разовых измерений;
- адаптивного управления – в зависимости от того, как система «ведет себя» спустя 5, 10, 20 лет;
- отказа от жесткого нормирования (ПДК) в пользу вероятностных показателей (индекс опасности, уровень приемлемого риска).

Рекультивированный полигон ТКО нельзя рассматривать как пассивный объект. Это динамичная, саморазвивающаяся система, где техногенные и природные факторы взаимосвязаны. Оценка риска для последующего использования должна быть системной, многосценарной и учитывать стохастику процессов. Только такой подход позволяет минимизировать угрозу здоровью людей и экологии при повторном вовлечении этих земель в хозяйственный оборот.

Список литературы

1. Ильиных Г.В. Исследования состава твердых бытовых отходов и оценка их сани-тарно-эпидемиологической опасности / Г.В. Ильиных, Н.Н. Слюсарь, В.Н. Коротаев, Я.И. Вайсман, Н.М. Самутин // Гигиена и санитария. – 2013. – № 1. – С. 53-55.

2. Панарин В.М. Автоматизированная система обеспечения экологической безопасности объектов захоронения твердых коммунальных отходов при завершении эксплуатации / В.М. Панарин, А.А. Маслова, А.Н. Коваленко, В.А. Браун // Экология и промышленность России. – 2025. – Т. 29, № 8. – С. 38-43.

3. Алексеев В.В. Система моделирования распространения загрязняющих веществ и оценки экологической ситуации на базе ГИС / В.В. Алексеев, Н.И. Куракина, Е.В. Желтов // Информационные технологии моделирования и управления. – 2005. – № 5(23). – С. 765-769.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ РИСКОМ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОЛИГОНАМ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В.М. Панарин, А.А. Маслова, Ю.Д. Исаева
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Представлена модель модифицированного системного подхода к управлению экологическим риском на полигонах ТКО. Подход базируется на иерархическом графе показателей и анализе дерево отказов. Оценка учитывает миграцию загрязнителей, кумулятивное воздействие и техногенные риски (отказ оборудования, человеческий фактор). Расчет обобщенного показателя опасности интегрируется в комплексную экологическую оценку территории.*

Модифицированный системный подход к управлению экологическим риском применительно к полигонам твердых коммунальных отходов (ТКО) основан на анализе экологических рисков и базирующийся на модели оценки экологических рисков, представлен на рисунке 1 [1]**.**

По результатам оценки составляющих исследуемого объекта строится иерархическое дерево экологических показателей опасностей, которое имеет характер графа, на иерархических уровнях которого располагаются показатели, характеризующие экологическую опасность исследуемого объекта. С помощью дерева показателей выявляются и оцениваются причинно-следственные связи между показателями различной степени сложности. Далее строится функциональная зависимость, связывающая обобщенный показатель опасности объекта с индивидуальными показателями [2].

На заключительном этапе методологии оценки экологических рисков рассчитывается значение обобщенного показателя экологической опасности объекта. Рассматривая экологические риски, образующиеся в процессе обращения с ТКО, необходимо провести анализ факторов, способствующих их возникновению: увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду за счет миграции загрязняющих веществ из отходов; кумулятивное действие отходов является непрогнозируемой угрозой будущему поколению; рост количества образующихся отходов.

Источником для расчетов рисков отказа технологического оборудования в данной комплексной схеме утилизации может служить дерево отказов технологического процесса [32, 33]. Опасность в нашем случае заключается в сверхнормативном накоплении отходов на территории предприятия в связи с возможным возникновением таких рисков как неисправность основного оборудования, неисправность автотранспорта, проявление человеческого фактора и отсутствие энергоносителей.



Рис. 1. Модель оценки экологических рисков

В соответствии с функциями элементов экологической безопасности одной из основных задач комплексной экологической оценки территории является определение совокупности факторов экологической опасности, проявляющихся на оцениваемой территории. Поскольку факторы экологической опасности являются причиной возникновения экологических рисков, то в функции комплексной экологической оценки в обязательном порядке должна входить идентификация экологических рисков. При определении совокупности факторов экологической опасности, проявляющихся на оцениваемой территории,

производится оценка причинно-следственных связей, обуславливающих возможные виды негативного воздействия на компоненты окружающей среды [2].

Обзор существующих методов промышленной утилизации ТКО [14-16] показал, что практически для всех субъектов Российской Федерации одна из основных задач в области охраны окружающей среды – решение проблем обезвреживания и переработки бытовых отходов, среди которых наибольшую проблему представляют отходы, образующиеся в жилом секторе из-за сложного морфологического состава и различных источников образования [3].

Список литературы

1. Музалевский А.А. Оценка экологических рисков в природно-технических системах, образованных полигонами твердых бытовых отходов / А.А. Музалевский, М.П. Федоров, В.В. Сергеев // Экология урбанизированных территорий. – 2020. – №1. – С. 28-34.

2. Слюсарь Н.Н. Принципы управления полигоном захоронения твердых коммунальных отходов на разных этапах жизненного цикла / Н.Н. Слюсарь, А.Ю. Пухнюк // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 2 (22). – С. 148-164.

3. Панарин В.М. Автоматизированная система обеспечения экологической безопасности объектов захоронения твердых коммунальных отходов при завершении эксплуатации / В.М. Панарин, А.А. Маслова, А.Н. Коваленко, В.А. Браун // Экология и промышленность России. – 2025. – Т. 29, № 8. – С. 38-43.

ОБЗОР РАСПРОСТРАНЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В СБРАСЫВАЕМЫХ СТОКАХ

В.М. Панарин, В.В. Еловенко
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье производится обзор существующих систем автоматического контроля и прогнозирования загрязнений в сбрасываемых стоках. Рассматриваются нормативно-правовые аспекты регулирования, гидродинамические модели различной размерности (одномерные, двумерные, двухслойные) и модели качества воды, а также геоинформационные и спутниковые сервисы.*

Ключевые слова: *экологический мониторинг, система автоматического контроля, гидродинамическое моделирование, модели качества воды, прогнозирование загрязнений.*

Вода – один из ключевых ресурсов на планете, поддерживающий существование всех живых организмов и протекание практически всех биохимических процессов. Будучи основой гидрологического цикла и связующим элементом различных экосистем, водные ресурсы испытывают

значительное давление, обусловленное ростом демографической нагрузки и промышленного и агропромышленного комплексов. Согласно отчетам [1] в 162 водоисточниках РФ зафиксирован высокий уровень загрязнений, при том, что основную массу загрязняющих веществ составляют отходы промышленности и примеси с аграрных территорий.

Государственная политика в области охраны окружающей среды в Российской Федерации обеспечивается рядом законодательных актов и созданной единой системой государственного экологического мониторинга, частью которой является система государственного мониторинга водных объектов. Согласно Указу Президента Российской Федерации, одной из национальных целей развития страны определено экологическое благополучие. В рамках одноименного национального проекта с 25-го по 30-й год реализуется федеральный проект «Вода России», показателями которого являются снижение к 36-му году в два раза объема неочищенных стоков, сбрасываемых в водные объекты, и обеспечение комфортных условий для жизни вблизи водных объектов [1, 2].

Современное состояние дел в области мониторинга водных объектов характеризуется наличием развитой нормативно-правовой базы, обширного арсенала технических средств и достаточно сложного математического аппарата. Нормативно-правовое регулирование в данной сфере базируется на Федеральном законе № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и подзаконных актах, регламентирующих требования к оснащению стационарных источников сбросов автоматическими средствами измерения и учета. Принятые Постановления Правительства устанавливают правила создания и эксплуатации систем автоматического контроля (далее САК), включая процедуру проектирования, монтажа и ввода в эксплуатацию. Приемка систем должна осуществляться квалифицированным персоналом, а оборудование должно соответствовать стандартам государственной системы обеспечения единства измерений. Более детальное рассмотрение правового поля отражает, что действующие нормативы ориентированы на контроль ограниченного набора показателей, тогда как фактический перечень ЗВ, сбрасываемых в водные объекты, значительно шире.

Математические модели предназначенные для прогнозирования распространения ЗВ в водных объектах, прошли значительный путь развития от простых одномерных гидравлических систем до сложных многомерных гидродинамических моделей, учитывающих рельеф, гидротехнические сооружения и кинетику биохимических процессов. Однако принципиальное ограничение, связанное с отсутствием интеграции с системами сбора данных, сохраняется до сих пор.

Одномерные модели, основанные на уравнениях Сен-Венана, позволяют рассчитывать усредненные характеристики по сечению потока и широко используются для расчета паводковых волн и оценки последствий залповых сбросов. Среди программных реализаций можно выделить семейство моделей MIKE, систему HEC-RAS, а также отечественные разработки, например

программный комплекс RIVER_1D. Данные одномерные модели могут давать приемлемые результаты, особенно в условиях когда каждая детальная информация о морфометрии русла отсутствует, однако их ограничения очевидны: нет возможности адекватно описать процессы в условиях сложного устройства русла и поймы, отсутствие учета эффектов, связанных с перемещение динамической оси потока по ширине долины, а также не позволяют корректно моделировать разветвленные протоки и русла. При моделировании паводковых течений с выходом на пойму одномерные модели сталкиваются с трудностями при учете аккумуляции расхода на пойменных участках, различных коэффициентов шероховатости в русле и пойме, а также гидротехнических и дорожных сооружений, пересекающих тело воды [3].

Двумерные модели, напротив, позволяют получить пространственное распределение скоростей и уровней воды, что существенно повышает точность, особенно на пойменных участках. В основании таких моделей лежит предположение о гидростатическом распределении давления, которое хорошо работает для большинства речных систем и озер. Отечественный комплекс STREAM 2D CUDA, базирующийся на оригинальном высокоточном алгоритме решения задачи Римана для уравнений воды с разрывным дном. Несмотря на положительный опыт использования данной модели есть некоторые ограничения: необходимость более детальной информации о рельефе и вместе с тем вычислительные затраты намного выше, что ограничивает возможность работы в режиме реального времени [3].

Промежуточное расположение занимают двухслойные модели, сочетающие одномерную схематизацию русел с двумерным описанием поймы. Программный комплекс FLOOD успешно применяется для моделирования низовьев Волги протяженностью более 500 км. Такой подход позволяет достичь баланса между точностью и вычислительной эффективностью, но в нем также отсутствует интеграция собираемых данных.

Среди моделей качества воды, ориентированных на имитацию биогенных и кислородных режимов выделяется система WASP, разработанная Агентством по охране окружающей среды США (USEPA), и QUAL2K. В отечественной практике Модель качества воды, созданная на основе эвтрофикационного блока WASP5, для участка реки Обь в районе Барнаула, описывает процессы очищения воды от органического загрязнения, динамику фитопланктона и растворенного кислорода, круговорот биогенных веществ и процессы массообмена с донными отложениями [4]. QUAL2K, в свою очередь, позволяет моделировать качество воды в точке, расположенной ниже по течению от источников сбросов, и была применена для мониторинга рек Уссурийского района Приморского края. Исследования показали, что загрязнение рек обусловлено не только промышленными предприятиями, но и поступлением неочищенных бытовых стоков и смывом с сельскохозяйственных участков, при этом количество некоторых ЗВ превышает ПДК в несколько раз [5].

Значительный вклад в развитие отечественного моделирования внесен Институтом водных проблем РАН. Им были разработаны стохастическая модель

погоды, модель стока с водосбора ILHM, модель формирования биогенной нагрузки ILLMЮ модель движения твердого вещества в речном потоке и модель годового твердого стока рек. Отличительной чертой этих разработок является ориентация на ограниченные возможности информационного обеспечения со стороны системы государственного мониторинга, что делает их применимыми в условиях неполных данных.

Отдельного рассмотрения заслуживает геоинформационные системы и спутниковые сервисы, которые предоставляют мощные инструменты для интеграции и визуализации собираемых данных. Спутниковый сервис «Вега-гидро» позволяет получать обобщенные характеристики крупных водных объектов (водохранилищ, озер) в пределах их границ по различным спутниковым продуктам. Программный комплекс, разработанный в Институте космических исследований РАН, позволяет формировать временные ряды таких характеристик, как уровень воды, температура поверхности, концентрация хлорофилла и взвешенных частиц, что делает его пригодным для мониторинга крупных водоемов. Интернет-приложение «Водный режим рек Европейской территории России», разработанное в МГУ, предоставляет доступ к базам данных и картам, характеризующим месячные, годовые и срочные максимальные расходы. Реализована возможность выполнения запросов к данным по гидропостам через картографический интерфейс, выгрузки данных, динамического расчета параметров стока и статистической обработки полученных величин с помощью стандартных критериев. На основании этих карт выявлены такие тенденции, как интенсификация гидрологического цикла, увеличение годового слоя стоков в средней полосе Европейской территории России, снижение максимальных расходов воды и изменение соотношения долей источников питания для большинства рек. Однако, данные системы, несмотря на свою функциональность, выполняют больше роль архивов и инструментов визуализации, нежели прогностических платформ. В них отсутствует сами механизмы оперативного мониторинга, а также замкнутый контур управления, который позволил бы перейти от констатации фактов к управлению состоянием водного объекта.

Список литературы

1. Киёк О.В. Современные научные и методические подходы к мониторингу водных объектов и сточных вод: научный обзор / О.В. Киёк, А.Н. Редько, Э.Ю. Енина, А.С. Круподер, А.П. Богдан / Экология человека. – 2025. – Т. 32, № 9. – С. 616-627.

2. Баренбойм Г.М. Некоторые научно-технологические проблемы проектирования, создания и функционирования систем мониторинга водных объектов / Г.М. Баренбойм, Е.В. Венецианов, В.И. Данилов-Данильян // Вода: химия и экология. – 2009. – № 10. – С. 2-10.

3. Беликов В.В. Опыт численного гидродинамического моделирования протяженных участков рек / В.В. Беликов, А.И. Алексюк, Н.М. Борисова, Е.С. Васильева, А.В. Глотко / Водные ресурсы. – 2023. – Т. 50, № 4. – С. 367-384.

4. Кудишин А.В. Моделирование качества воды реки Обь в районе города Барнаула / А.В. Кудишин, О.В. Ловцкая / Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2023. – № 1 (68). – С. 31-42.

5. Калинина Е.А. Об экологическом мониторинге качества воды для некоторых моделей распространения загрязнений в океане / Е.А. Калинина / Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Изд-во Московского государственного горного университета. – 2009. – Т. 17. – С. 283-286.

НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЙ В СБРАСЫВАЕМЫХ СТОКАХ

В.М. Панарин, В.В. Еловенко
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В данной статье рассматриваются недостатки действующих систем автоматического мониторинга загрязнений в сбрасываемых стоках, а также применяемые математические модели и геоинформационные сервисы. Отражены основные направления, которые не позволяют системе государственного мониторинга оперативно решать задачи.*

Ключевые слова: *экологический мониторинг, система автоматического контроля, прогностические модели.*

Дискретный отбор проб с последующим лабораторным анализом обходится дорого, дает результат с задержкой и не покрывает непрерывно меняющиеся параметры водной среды. Исследования показывают преимущество автоматизированного мониторинга, работающего в режиме реального времени, однако государственный контроль качества воды по-прежнему опирается на традиционные методы: сложное и дорогое обслуживание оборудования, химические реактивы, непригодность для измерений на месте. Информация, собранная таким образом, почти не доходит до управления водным хозяйством, в т.ч. до оперативной идентификации источников загрязнения. Частота отбора проб на гидрохимической сети часто составляет всего один раз в месяц, а химико-аналитическое оснащение большинства лабораторий не соответствует техническим требованиям современных стоков, что не позволяет решать оперативные задачи, например при техногенных авариях [1]. В то же время в зарубежной практике уже накоплен значительный опыт внедрения систем онлайн-мониторинга, позволяющих получать данные с высокой частотой и интегрировать их в системы поддержки принятия решений [2].

На данный момент в сфере мониторинга водных объектов сложилась устойчивая система, включающая в себя объемную нормативную базу, широкий выбор технических решений, а также развитый математический аппарат. Модели на базе математических алгоритмов для отслеживания и прогнозирования загрязняющих веществ (далее ЗВ) в водоемах отличаются разнообразием – от несложных одномерных гидравлических схем до продвинутых многомерных

моделей со множеством параметров. Такие комплексные модели принимают во внимание особенности рельефа, наличие гидротехнических сооружений, а также динамику биохимических процессов [3].

Одномерные модели базируются на уравнениях Сен-Венана и описывают движение водного потока усредненно, по поперечному сечению русла. Программно данные модели реализованы семейством моделей MIKE, системой HEC-RAS, отечественной разработкой RIVER_1D и др. Их применение оправдано в тех случаях, когда распределение параметров по ширине и глубине не оказывает существенного влияния на решение параметров по ширине и глубине не оказывает существенного влияния на решение задачи. Такие модели широко используются для расчета распространения волн паводков, оценки последствий залповых сбросов загрязняющих веществ в небольших водотоках, а также для задания начальных граничных условий для более сложных двумерных и трехмерных моделей [4]. Двумерные модели позволяют получить пространственное распределение скоростей и уровней воды, что существенно повышает точность, особенно на пойменных участках. В основе подобных моделей лежит предположение о том, что вертикальные ускорения пренебрежительно малы при сравнении с горизонтальными, а давление распределяется по гидростатическому закону. Это приближение работает для большинства речных систем и озер, где горизонтальные размеры значительно превосходят вертикальные. Среди мировых разработок в этой области выделяют модели MIKE21, SMS v.10.1 и отечественные программные комплексы RIVER и CARDINAL, также отмечают модель CE-QUAL-W2, реализующую двумерный подход, ориентированный на водоемы со стратификацией. Среди моделей качества воды, ориентированных на имитацию биогенных элементов и кислородных режимов выделяется система WASP и QUAL2K. Модель качества воды, созданная на основе эвтрофикационного блока WASP5, описывает процессы очищения воды от органического загрязнения, динамику фитопланктона и растворенного кислорода, круговорот биогенных веществ и процессы массообмена с донными отложениями. QUAL2K, в свою очередь, позволяет рассчитывать качество воды по всей длине речной системы, разбитой на множество участков и сегментов. Отдельного упоминания требуют геоинформационные системы и спутниковые сервисы, которые предоставляют инструменты для интеграции и визуализации собираемых данных такие как «Вега-Гидро» и интернет-приложение «Водный режим рек Европейской территории России».

Анализируя состояние современных систем контроля, можно выделить несколько основных недостатков.

Первый недостаток – ведомственная разобщённость. Данные о состоянии и качестве водных объектов собираются множеством организаций (Росгидро-метом, Росводресурсами, Росприроднадзором, санитарно-эпидемиологической службой, отраслевыми институтами и самими природопользователями. Каждый из них руководствуется собственными программами наблюдений, применяют различные методики отбора проб, используются несовместимые форматы

хранения данных. Из-за чего возникает парадокс – обилие информации не формирует полную состояния картину водного объекта. Ситуация усугубляется еще и тем, что данные, полученные одним ведомством, зачастую оказываются недоступными для другого или несопоставимы с его собственными из-за различий в методологии. В результате чего принятие управленческих решений может происходить в условиях информационной неопределенности.

Второй недостаток – отсутствие необходимой оперативности. Традиционная схема наблюдений предполагает дискретный пробоотбор с частотой не больше раза в месяц. Тем временем гидрохимический режим водных объектов, особенно при наличии промышленных предприятий вдоль водоема, характеризуется высокой изменчивостью. Кратковременные залповые сбросы, возникающие при авариях или нарушении технологического режима, длятся от нескольких минут до нескольких часов. Вероятность того, что момент отбора пробы совпадет с пиком концентрации ЗВ, стремится к нулю. Как следствие, значительная часть загрязнений, особенно наиболее опасных, остается вне поля зрения системы мониторинга, а расчетные нагрузки на водный объект систематически занижаются.

Третий недостаток – несоответствие перечня контролируемых показателей современным реалиям. Программа гидрохимического мониторинга была сформирована несколько десятилетий назад и ориентирована на традиционные загрязнения – взвесь, нефть, основной набор биогенных элементов, состояние кислородного режима. Однако промышленность сейчас может выбрасывать в стоках новые классы ЗВ – фармацевтика, эндокринные дизрапторы, перфторалкильные вещества, микропластик. Отсутствие утвержденных методик массового мониторинга данных групп веществ приводит к тому, что диффузное загрязнение и хроническая токсическая нагрузка на водоёмы остаются недооцененными. При этом концентрации этих соединений в стоках часто находятся на уровне пределов обнаружения, однако их способность к биоаккумуляции и кумулятивный эффект может представлять серьезную угрозу.

Четвертый недостаток – разрыв между системами сбора данных и прогностическими математическими моделями. Системы автоматического контроля обеспечивают высокую частоту измерений непосредственно в створе источника, однако эти данные используются в основном для ретроспективного анализа и отчетности. Математические модели напротив, обладают прогностической способностью, но их калибровка производится по отдельным пробам, отбираемым периодами не чаще раза в месяц. В результате чего модели «узнают» о состоянии водного объекта с запозданием в несколько недель и не могут учесть кратковременные сбросы. Для преодоления этого разрыва необходимо не просто улучшать отдельные компоненты, а создавать принципиально новую архитектуру, интегрирующую сбор данных, их обработку и прогнозирование в единый контур.

Список литературы

1. Киёк О.В. Современные научные и методические подходы к мониторингу водных объектов и сточных вод: научный обзор / О.В. Киёк,

А.Н. Редько, Э.Ю. Енина, А.С. Круподер, А.П. Богдан / Экология человека. – 2025. – Т. 32, № 9. – С. 616-627.

2. Баренбойм Г.М. Некоторые научно-технологические проблемы проектирования, создания и функционирования систем мониторинга водных объектов / Г.М. Баренбойм, Е.В. Веницианов, В.И. Данилов-Данильян / Вода: химия и экология. – 2009. – № 10. – С. 2-10.

3. Баренбойм Г.М. Некоторые научно-технологические проблемы проектирования, создания и функционирования систем мониторинга водных объектов. Часть III. Развитие информационной системы экологического мониторинга водных объектов / Г.М. Баренбойм, Е.В. Веницианов, В.И. Данилов-Данильян, И.А. Степановская / Вода: химия и экология. – 2009. – № 11. – С. 2-10.

4. Беликов В.В. Опыт численного гидродинамического моделирования протяженных участков рек / В.В. Беликов, А.И. Алексюк, Н.М. Борисова, Е.С. Васильева, А.В. Глотко / Водные ресурсы. – 2023. – Т. 50, № 4. – С. 367-384.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

В.М. Панарин, Р.Л. Яковлев
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Предлагается структура информационной системы контроля газовых потоков в газораспределительных сетях. Рассматриваются сбор и проверка технологических измерений, хранение данных, расчет баланса газа и представление информации оператору. Описан алгоритм выявления отклонений с учетом погрешностей измерений и изменения запаса газа в трубопроводах. Определены функциональные возможности системы и направления проверки предлагаемого решения.*

Контроль газовых потоков необходим для оценки режимов работы газораспределительной сети и своевременного выявления отклонений. Для решения этой задачи используются показания расходомеров, датчиков давления и температуры, сведения о состоянии оборудования и изменении потребления. При раздельном хранении этих данных оператору приходится самостоятельно сопоставлять показания и учитывать особенности технологической схемы.

Вопросы надежности газоснабжающих систем рассматриваются в работе М. Г. Сухарева и А. М. Карасевича [1]. О. Н. Медведева и А. Ю. Чиликин исследуют аварийность сетей газораспределения и газопотребления, связывая оценку их состояния с задачами предупреждения аварий [2]. Эти исследования обосновывают необходимость систематической обработки сведений о состоянии газовой инфраструктуры.

Цель работы – предложить архитектуру информационной системы, объединяющей технологические измерения и расчеты для контроля газовых потоков в газораспределительных сетях. Основные задачи заключаются в

организации сбора данных, оценке их качества, анализе параметров потока и предоставлении оператору оснований для проверки обнаруженных отклонений.

Объектом контроля является сеть, включающая газопроводы, газорегуляторные пункты, узлы учета и точки отбора газа. В информационной модели она представляется графом: узлы соответствуют точкам соединения, подачи и отбора, а ребра – участкам трубопроводов. Для каждого объекта хранятся идентификатор, технические характеристики и связи с измерительными приборами.

К исходным данным относятся расход, давление и температура газа, временные отметки измерений, признаки исправности приборов и сведения о технологических операциях. Показания привязываются к определенному объекту и расчетному интервалу. Для объемных измерений дополнительно указываются условия, к которым приведены значения.

Для расчета баланса задаются границы контролируемого участка. Все потоки через эти границы должны быть измерены либо оценены с известной неопределенностью. При отсутствии сведений о части потребления система должна сообщать об ограниченной достоверности расчета. Для оценки изменения запаса газа дополнительно необходимы геометрические характеристики трубопроводов и параметры газа.

Предлагается выделить четыре уровня: сбор данных, хранение, аналитическую обработку и пользовательское представление. Возможность комплексного использования информации о технологических процессах согласуется с подходом к цифровым системам управления транспортом газа, рассмотренным Н.А. Ереминым и соавторами [3]. При переносе этого подхода на распределительные сети необходимо учитывать разветвленность и неоднородность оснащения узлами учета.

Уровень сбора принимает показания через доступные каналы телеметрии. Для каждой записи сохраняются источник, время измерения, время поступления, значение, единица измерения и признак качества. Разделение двух временных отметок позволяет учитывать задержки передачи и корректно восстанавливать последовательность событий.

Уровень хранения включает справочник объектов сети, архив измерений и журнал событий. Архив обеспечивает анализ выбранного периода, а журнал фиксирует возникновение отклонений, подтверждение уведомлений оператором и результаты обследований. Изменения конфигурации сети сохраняются с датой начала действия, чтобы исторические расчеты соответствовали фактической схеме.

Аналитический уровень выполняет проверку измерений, согласование временных интервалов, расчет баланса и выявление отклонений. Пользовательский уровень отображает схему сети, графики расхода и давления, состояние каналов связи и перечень событий. Каждое уведомление должно содержать исходные данные и понятное основание формирования.

Контроль предусматривает сопоставление расхода и давления с допустимыми диапазонами и анализ баланса газа. В.Р. Чупин, Е.В. Гаськов и

Д.И. Майзель рассматривают методы обнаружения утечек по профилю давления, объемному балансу и акустическим признакам [4]. Для распределительной сети балансовый подход целесообразно применять на участках с достаточной полнотой измерений.

За выбранный интервал балансовая невязка определяется выражением:

$$B = V_{вх} - V_{вых} - V_{тех} - \Delta V_{зап}. \quad (1)$$

где B – балансовая невязка; Vвх – суммарный поступивший объем; Vвых – суммарный объем, переданный потребителям и на смежные участки; Vтех – учтенный расход на технологические операции; ΔVзап – изменение запаса газа внутри участка. Все объемы приводятся к одинаковым базовым условиям; предполагается сопоставимый состав газа.

Положительное значение ΔVзап соответствует накоплению газа в трубопроводах. При снижении запаса эта величина отрицательна. Ее учет позволяет отделять изменение внутреннего запаса от необъясненного расхода. При выраженной неоднородности давления и температуры оценку запаса необходимо выполнять по участкам с использованием соответствующей расчетной модели.

Показания, полученные при разных условиях, нельзя непосредственно сопоставлять. Влияние давления, температуры и характеристик расходомеров на учет газа рассмотрено А.Д. Лебедь и С.П. Глушко [5]. Если измерительный комплекс уже приводит объем к базовым условиям, повторный пересчет не выполняется.

Положительная невязка показывает необъясненный расход в пределах принятой модели, но сама по себе не подтверждает утечку. Причиной могут быть погрешности приборов, рассогласование времени, неучтенный отбор или технологическая операция. Порог уведомления выбирается с учетом совокупной неопределенности баланса и режима работы участка.

Первый этап включает проверку полноты данных, допустимости значений и последовательности временных отметок. Обнаруживаются повторные записи, пропуски и сообщения о неисправности приборов. Недостоверные измерения помечаются; расчеты, для которых они необходимы, сопровождаются указанием ограничения достоверности.

На втором этапе формируются общие расчетные интервалы. Их продолжительность выбирается с учетом частоты измерений, задержек связи и изменчивости потребления. Исходные значения сохраняются отдельно от результатов обработки. Восстановление коротких пропусков допускается только при обоснованных ограничениях; длительное отсутствие данных не должно маскироваться интерполяцией.

На третьем этапе вычисляются балансовая невязка и отклонения технологических параметров. При превышении установленного порога анализируется устойчивость события на последовательных интервалах. Дополнительно проверяются изменения давления и расхода, а также зарегистрированные переключения оборудования. Условия устойчивости и пороги требуют проверки на данных конкретной сети.

На четвертом этапе оператор получает уведомление с указанием участка, периода, величины отклонения и использованных показаний. По результатам проверки регистрируется причина: ошибка измерений, изменение режима, неучтенная операция либо подтвержденная потеря газа. Эти сведения формируют основу для последующей оценки алгоритма.

В интерфейсе предлагается совместить схему сети, текущие параметры и историю событий. Выбор участка открывает графики входящих и выходящих потоков, расчетную невязку и признаки качества данных. Нормальный режим, отклонение и недостаточность данных отображаются раздельно. Оператор должен иметь возможность перейти от уведомления к конкретным измерениям и технологическим операциям.

Для оценки системы предлагаются доля пригодных измерений, задержка обработки, частота ложных уведомлений и время обнаружения подтвержденного отклонения. Проверка должна охватывать штатное изменение потребления, потерю связи, смещение показаний прибора и дополнительный неучтенный расход. Сначала могут использоваться расчетные сценарии, затем архивные данные с известными событиями.

Экологическое значение решения связано с информационной поддержкой поиска потерь газа. Однако количественное сокращение выбросов определяется фактически выявленными и устраненными утечками. Оценивать такой эффект следует по подтвержденным событиям и данным обследований; само наличие программной системы не доказывает сокращение потерь.

Предложена архитектура информационной системы контроля газовых потоков в газораспределительных сетях. Решение объединяет модель сети, архив технологических измерений, контроль качества данных и расчет баланса газа. Определена последовательность обработки отклонений с возможностью проверки оснований каждого уведомления.

Практическая направленность подхода состоит в предоставлении оператору согласованной информации о расходе, давлении и возможном нарушении баланса. Дальнейшая работа предполагает реализацию прототипа, подключение источников измерений и проверку алгоритмов на данных выбранного участка сети.

Список литературы

1. Сухарев М.Г. Модели надежности газоснабжающих систем / М.Г. Сухарев, А.М. Карасевич // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 7. – С. 149-159.

2. Медведева О.Н. Определение вероятности возникновения аварий на сетях газораспределения и газопотребления / О.Н. Медведева, А.Ю. Чиликин // Вестник МГСУ. – 2021. – Т. 16. – Вып. 10. – С. 1363-1377. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.10.1363-1377.

3. Еремин Н.А. Цифровые системы управления транспортом газа / Н.А. Еремин, В.Е. Столяров, Е.А. Сафарова, С.И. Гавриленко // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2022. – № 2. – С. 234-254. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-2-1-234-254.

4. Чупин В.Р. Методы обнаружения утечек газа из магистральных трубопроводов / В.Р. Чупин, Е.В. Гаськов, Д.И. Майзель // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2012. – № 2 (3). – С. 123-127.

5. Лебедь А.Д. Обоснование выбора способов контроля утечек на газопроводе / А.Д. Лебедь, С.П. Глушко // Вестник Донского государственного технического университета. – 2019. – Т. 19, № 3. – С. 250-255. DOI: 10.23947/1992-5980-2019-19-3-250-255.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ДАТЧИКОВ И ВИРТУАЛЬНАЯ ВАЛИДАЦИЯ АВТОНОМНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.М. Панарин, А.О. Савин
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В работе рассматриваются завершающие этапы методики планирования измерительного эксперимента для автономной информационно-измерительной системы (ИИС) мониторинга водных объектов: алгоритм поиска оптимального плана размещения датчиков и его виртуальная валидация. Для поиска плана предлагается использовать генетический алгоритм, целевой функцией которого является D-оптимальность, основанная на информационной матрице Фишера.*

Создание автономных информационно-измерительных систем (ИИС) для 24-часового мониторинга гидрохимических параметров водных объектов требует не только надежной аппаратной платформы на базе микроконтроллеров ESP32 и одноплатных компьютеров Raspberry Pi, но и научно обоснованного подхода к выбору точек установки датчиков [1]. От рационального размещения измерительных каналов (pH, EC, DO, ORP, T) напрямую зависит информативность всей системы и достоверность выводов о наличии и характере загрязнения. В предыдущем этапе планирования эксперимента уже была предложена двухуровневая методика планирования эксперимента, включающая критерии покрытия и D-оптимальности [2]. Настоящая статья посвящена детализации двух завершающих этапов: разработке алгоритма поиска оптимального плана и процедуре его виртуальной валидации.

Первый этап заключается в поиске алгоритме оптимального плана размещения датчиков. Задача размещения K датчиков на контролируемой акватории формализуется как выбор подмножества $D \subset S$ из множества потенциальных мест $S=\{s1,\ldots,sN\}$. В качестве целевой функции на втором уровне оптимизации используется D-критерий, максимизирующий определитель информационной матрицы Фишера (FIM) [3]. Для линеаризованной модели переноса загрязнителя FIM имеет вид

$$\mathbf{M}(\mathcal{D}) = \sum_{s \in \mathcal{D}} \mathbf{h}_s^T \mathbf{h}_s$$

где hs – вектор чувствительности измерений в точке s к оцениваемым параметрам модели. Тогда целевая функция записывается как:

$$\max_{\mathcal{D}\subset\mathcal{S},|\mathcal{D}|=K} \det\left(\mathbf{M}(\mathcal{D})\right)$$

Максимизация определителя FIM эквивалентна минимизации обобщенной дисперсии оценок параметров модели, что обеспечивает наиболее точное восстановление координат и интенсивности источника сброса.

Для решения задачи применяется генетический алгоритм (ГА), хорошо зарекомендовавший себя в задачах размещения сенсоров в водных сетях [4, 5]. Решение кодируется бинарным вектором длины N, где единица соответствует установке датчика в данной точке. Функция приспособленности включает штрафы за нарушение ограничений на минимальное расстояние между датчиками и энергобаланс системы. На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма, а на рис. 2 – результаты сравнения сходимости ГА и алгоритма роя частиц (PSO) для тестовой акватории из 100 потенциальных точек при K=8. Видно, что ГА обеспечивает более стабильное достижение высоких значений целевой функции за приемлемое число итераций.

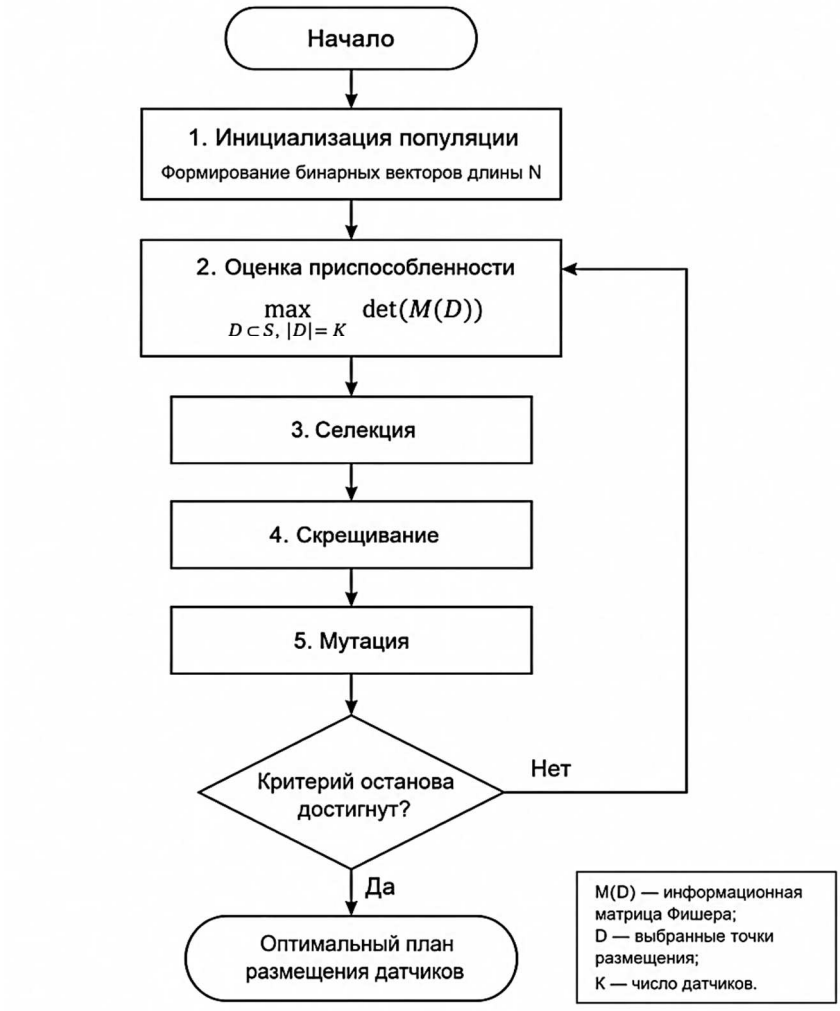


Рис. 1. Блок-схема генетического алгоритма поиска оптимального плана размещения датчиков

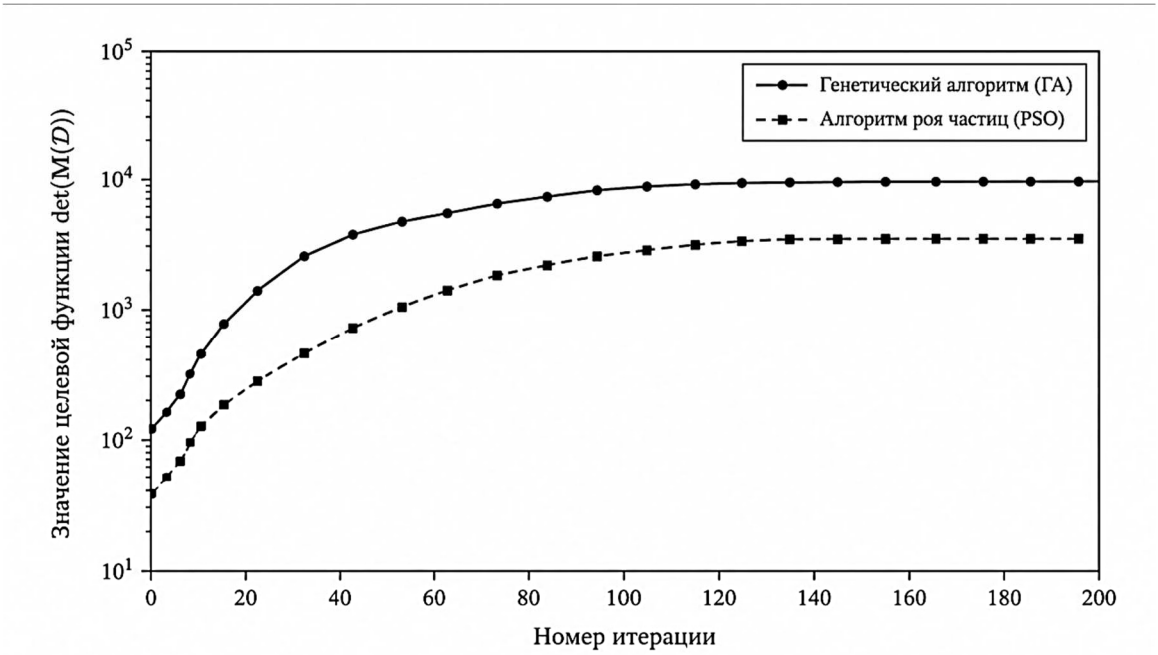


Рис. 2. Сравнение сходимости генетического алгоритма и PSO для задачи размещения K=8 датчиков (по оси ординат – значение det(M(D)), по оси абсцисс – номер итерации)

Вторая стадия заключается в проблеме разработки валидации плана в режиме виртуального эксперимента.

После получения оптимального плана D∗ проводится его проверка на адекватность с использованием математической модели распространения загрязнителя. Процедура валидации включает следующие шаги:

1. Генерация сценариев загрязнения. С помощью модели адвекции-диффузии создаются несколько «виртуальных» сценариев сброса (разные координаты источника, интенсивность, гидрологические условия).

2. Имитация измерений. Для каждого сценария в точках D∗ «снимаются» показания датчиков с добавлением аддитивного гауссовского шума, соответствующего реальным метрологическим характеристикам сенсоров.

3. Решение обратной задачи. По синтезированным измерениям восстанавливается поле концентраций или оцениваются параметры источника.

4. Расчет метрики качества. В качестве основной метрики используется среднеквадратичная ошибка (RMSE) восстановления поля концентраций:

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N_{\mathrm{grid}}} \sum_{i=1}^{N_{\mathrm{grid}}} \left(C_i^{\mathrm{true}} - C_i^{\mathrm{est}}\right)^2}$$

где C_i^{true} и C_i^{est} – истинное и восстановленное значения концентрации в i-й ячейке расчетной сетки, N_{grid} – общее число ячеек.

Сравнение оптимального плана с равномерным и случайным размещением того же числа датчиков (K=8) проводилось на 100 независимых сценариях. На рис. 3 представлена гистограмма распределения RMSE, рассчитанного по формуле выше. Оптимальный план демонстрирует смещение распределения в сторону меньших ошибок: среднее значение RMSE снижается на 28 % по

сравнению с равномерной схемой и на 41 % по сравнению со случайным размещением. Это подтверждает, что предложенный критерий D-оптимальности и алгоритм его оптимизации позволяют повысить точность восстановления поля концентраций без увеличения числа датчиков.

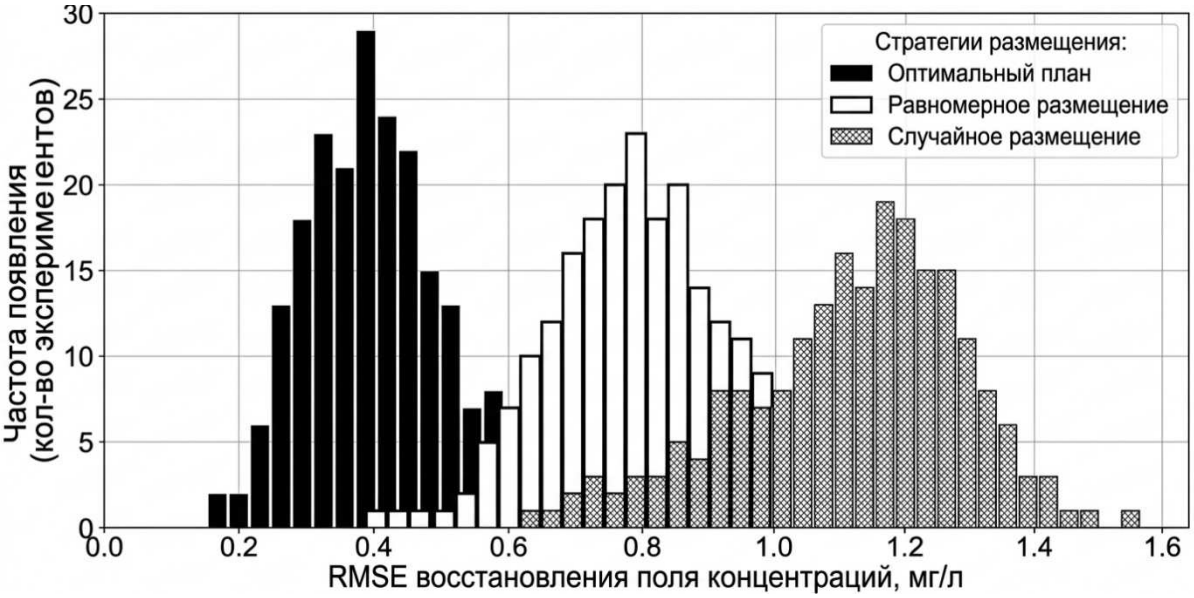


Рис. 3. Гистограмма распределения RMSE восстановления поля концентраций для трех стратегий размещения датчиков (оптимальный план, равномерный, случайный) по результатам 100 виртуальных экспериментов.

Разработаны алгоритм поиска оптимального плана размещения датчиков на основе генетического алгоритма и D-критерия, а также последубщая процедура виртуальной валидации плана. Показано, что применение D-оптимального плана (D-критерия) позволяет существенно снизить ошибку восстановления поля концентраций (по метрике RMSE) по сравнению с традиционными схемами размещения. Предложенные этапы полностью согласуются с архитектурой автономной ИИС на базе ESP32/Raspberry Pi и обеспечивают научно обоснованный выбор конфигурации измерительной сети для последующего формирования «цифрового отпечатка» водного объекта.

Список литературы

1. Vandenberghe V. Detection of the most optimal measuring points for water quality variables: application to the river water quality model of the River Dender in ESWAT / V. Vandenberghe, A. van Griensven, W. Bauwens // Water Science and Technology. – 2002. – Vol. 46, No. 3. – P. 1-7.

2. Zanelli E. Optimal Water Quality Sensor Placement in Water Distribution Systems: A Computationally Cost-Effective Genetic Algorithm Framework / E. Zanelli, M. Nicolini, D. Goi // Water. – 2025. – Vol. 17, No. 1. – P. 45.

3. Joseph K. Hybrid Greedy-D-optimal Sensor Placement for Water Distribution Networks / K. Joseph. – Victoria University, 2023. – 254 p.

4. Rathi S. Optimal Designs of Sensor Placement in Water Distribution Systems / S. Rathi, R. Gupta, K. Kothari. – CRC Press, 2025. – 240 p.

5. *Guo, Sh., Wen, Y., Zhang, X. Study on the simulation of reservoir water environment and the optimization of ecological water replenishment effect: taking luhun reservoir as an example / Sh. Guo, Y. Wen, X. Zhang // Water science and technology: water supply. – 2023. – Vol. 23(8). – P. 3078-3096.*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

С.А. Неврина, Б.С. Шапхаев
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ

Аннотация. *В статье рассматриваются ключевые экологические проблемы, возникающие при деятельности газодобывающего предприятия. Автор выделяет пять основных направлений негативного воздействия на окружающую среду: выбросы парниковых газов и загрязнение атмосферы, воздействие на водные ресурсы, нарушение земель и ландшафтов, проблему утилизации специфических отходов производственных лабораторий, а также особый риск, связанный с расположением части объектов компании на Байкальской природной территории. Для каждой из проблем предложены конкретные способы решения, уже применяемые или разрабатываемые предприятием: подключение к энергосистеме с ВИЭ, учения по ликвидации разливов, проекты рекультивации земель и компенсационные мероприятия по зарыблению. Особое внимание уделено тому, что статус Байкальской природной территории как объекта всемирного наследия ЮНЕСКО накладывает на компанию повышенные экологические обязательства.*

Ключевые слова: *газодобывающее предприятие; экологические проблемы; «Газпром добыча Иркутск»; Ковыктинское газоконденсатное месторождение; Байкальская природная территория; выбросы метана; парниковые газы; углеродный след; водные ресурсы; рекультивация земель; отходы лабораторий; химико-аналитическая лаборатория; экоаналитическая лаборатория; утилизация отходов; регенерация; экономика замкнутого цикла; экологический мониторинг; наилучшие доступные технологии; устойчивое развитие; «Сила Сибири».*

Газовая промышленность – один из ключевых секторов российской экономики, обеспечивающий энергетическую безопасность и поступление валютной выручки. Однако дуализм этой отрасли заключается в том, что, являясь драйвером развития, она оказывает одно из самых значительных техногенных воздействий на окружающую среду. В условиях ужесточения климатической повестки, внедрения принципов устойчивого развития и перехода к модели «зеленой» экономики, экологические аспекты деятельности газодобывающих предприятий выходят на первый план. Управление ими становится не просто вопросом соблюдения нормативов, а фактором экономической эффективности и социальной ответственности бизнеса.

Современное газодобывающее предприятие – это сложный природно-технический комплекс, воздействующий на все компоненты биосферы: атмосферу, гидросферу, литосферу и биоценозы. Особую остроту эти вопросы приобретают для компании «Газпром добыча Иркутск» – оператора по разработке Ковыктинского газоконденсатного месторождения, которое является

ресурсной базой для проекта «Сила Сибири». Производственные объекты компании расположены в Жигаловском и Казачинско-Ленском районах Иркутской области – регионе с уникальной, но крайне уязвимой природой. В данной статье мы рассмотрим пять наиболее острых экологических проблем предприятия, уделив особое внимание двум специфическим аспектам: утилизации отходов лаборатории и уникальному статусу Байкальской природной территории, на которой ведется деятельность.

Воздействие на атмосферный воздух является наиболее очевидным и масштабным аспектом деятельности газодобычи. Основные потоки загрязнений связаны с технологическими процессами, аварийными и залповыми выбросами.

Ключевая проблема – выбросы метана (CH_4) и диоксида углерода (CO_2). Метан, являясь основным компонентом природного газа, обладает парниковым потенциалом, в десятки раз превышающим аналогичный показатель для CO_2 (по разным оценкам, в 28-84 раза за 20-летний период). Потери метана происходят на всех этапах – от бурения и испытания скважин до транспортировки по газосборным сетям. Даже небольшие утечки, которые сложно фиксировать, могут нивелировать экологические преимущества газа перед углем. Вторая составляющая – выбросы оксидов азота (NOx), оксида углерода и диоксида серы, образующиеся при сжигании топлива для нужд промплощадок.

Ключевое направление борьбы с парниковыми выбросами – снижение углеродного следа за счет оптимизации энергоснабжения. «Газпром добыча Иркутск» реализует климатический проект по подключению изолированной энергосистемы Ковыктинского ГКМ к объединенной энергетической системе Сибири. Этот проект направлен на замещение электроэнергии собственной генерации на газотурбинных электростанциях на электроэнергию из сети, производимую с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Планируемая величина сокращения выбросов парниковых газов составляет более 726 тысяч углеродных единиц.

Кроме того, ведется работа по снижению технологических потерь газа. Компания внедряет системы автоматического контроля утечек, модернизирует газоперекачивающие агрегаты и стремится к минимизации сжигания газа на факелах. Важным элементом является и экологический мониторинг: в 2025 году компания получила аккредитацию собственной экоаналитической лаборатории, которая теперь может оперативно отслеживать наличие загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в районах расположения производственных объектов и при отклонениях от норм принимать меры по снижению негативного воздействия.

Водный фактор в газодобыче играет двоякую роль. С одной стороны, вода используется в технологических процессах (приготовление растворов, охлаждение оборудования), с другой – в процессе эксплуатации скважин на поверхность извлекаются пластовые воды, часто обладающие высокой минерализацией и содержащие токсичные элементы (йод, бром, бор, тяжелые металлы).

Основные экологические риски: загрязнение поверхностных и подземных

вод (утечки технологических жидкостей, разливы конденсата), забор больших объемов воды из природных источников (что в периоды межени может нарушать естественный сток рек) и изменение гидрогеологических условий при закачке сточных вод в глубокие горизонты.

В «Газпром добыча Иркутск» применяется комплексный подход к управлению водными ресурсами. На Ковыктинском ГКМ функционируют станции очистки природной воды, обеспечивающие потребности производственных объектов в технической воде с минимизацией забора из природных источников.

Для предотвращения загрязнения водных объектов компания регулярно проводит учения по ликвидации разливов нефтепродуктов. Например, на терминале отгрузки стабильного конденсата в поселке Окунайский отрабатываются совместные действия персонала и аварийно-спасательных служб по локализации и ликвидации последствий разливов, а также сбору загрязненного грунта. В рамках этих учений проверяется готовность оборудования, и отрабатываются алгоритмы действий в условиях, максимально приближенных к реальной аварийной ситуации.

Дополнительный механизм снижения водопотребления – внедрение ресурсосберегающих технологий. На предприятии ведется работа по оптимизации системы водоподготовки и водоочистных сооружений. Согласно вакансиям компании, в штате предусмотрены инженеры, занимающиеся режимно-наладочными испытаниями водоочистных и канализационных очистных сооружений, что подтверждает системный подход к управлению водным хозяйством.

Наиболее значимая специфика экологической деятельности «Газпром добыча Иркутск» заключается в том, что часть производственных объектов компании находятся на Байкальской природной территории (БПТ). Этот факт накладывает на Общество особые экологические обязательства, требующие максимально бережного использования природных ресурсов и сохранения окружающей среды.

Байкальская природная территория – это уникальный природный объект всемирного наследия ЮНЕСКО, обладающий чрезвычайно высокой экологической уязвимостью. Озеро Байкал и его водоохранная зона являются природными системами, где любой техногенный риск многократно возрастает из-за замедленных процессов самоочищения и уникального биоразнообразия.

Компания учитывает этот фактор в своей Экологической политике, утвержденной в актуализированной редакции в ноябре 2022 года. Одним из приоритетов заявлено предотвращение негативного воздействия на природные объекты с повышенной уязвимостью.

Система экологического менеджмента компании соответствует требованиям международного стандарта ISO 14001:2015 и ежегодно подтверждает это при сертификационных аудитах. Это означает, что все производственные процессы на БПТ выстроены в соответствии с самыми жесткими международными требованиями к экологической безопасности.

На практике это выражается в нескольких направлениях:

1. Компенсационные мероприятия. В рамках компенсации потенциального ущерба водным биоресурсам при обустройстве Ковыктинского ГКМ компания проводит зарыбление – в июне 2019 года было выпущено 111 тысяч мальков пеляди и хариуса.

2. Экологический мониторинг. Получение аккредитации для собственной экоаналитической лаборатории позволяет оперативно контролировать состояние окружающей среды непосредственно на БПТ и принимать меры при первых отклонениях от норм.

3. Экологическое просвещение и участие. Компания системно участвует в экологических акциях: сотрудники ежегодно присоединяются к акциям по очистке берегов водных объектов («Вода России»), высаживают деревья, участвуют в субботниках на территории Прибайкальского национального парка. По итогам 2021 года компания стала обладателем Знака экологической культуры.

Площадное воздействие газодобычи на почвенно-растительный покров связано с отчуждением земель под строительство кустов скважин, газосборных сетей, компрессорных станций и транспортных коммуникаций. В Иркутской области, где расположены производственные объекты компании, почвы и ландшафты отличаются повышенной уязвимостью. Нарушение растительного покрова и верхнего плодородного слоя при строительстве вызывает развитие процессов водной и ветровой эрозии. Восстановление таких ландшафтов занимает десятилетия.

Ключевой инструмент минимизации воздействия на земли – разработка проектов освоения лесных участков с обязательным включением разделов по рекультивации. При строительстве объектов на Ковыктинском ГКМ компания заказывает проекты освоения 45 лесных участков общей площадью 145,68 га, которые предусматривают не только использование земель, но и их восстановление. Проекты включают техническую рекультивацию (выравнивание, очистка от строительного мусора) и биологическую рекультивацию (восстановление плодородного слоя и высадка растений).

На практике это означает, что отходы производства полностью вывозятся со стройплощадок, отходы бурения захораниваются в гидроизолированных шламовых накопителях, а после завершения работ проводится восстановление нарушенных территорий. Кроме того, компания участвует в экологических акциях по озеленению: в 2022 году сотрудники высадили «Аллеи газовиков» в поселке Магистральный и селе Тутура, высадив 85 саженцев венгерской сирени в честь 85-летия Иркутской области .

Наряду с масштабными промышленными выбросами существует категория отходов, которая часто остается за рамками широкого общественного обсуждения, но представляет собой серьезную экологическую опасность – это отходы производственных и аналитических лабораторий.

В структуре «Газпром добыча Иркутск» функционируют две ключевые лаборатории, обеспечивающие контроль качества продукции и состояния

окружающей среды. Химико-аналитическая лаборатория отдела физико-химических исследований Инженерно-технического центра выполняет анализ состава и свойств добываемого газа, газового конденсата, пластовых и сточных вод. Экоаналитическая лаборатория отдела охраны окружающей среды осуществляет производственный экологический контроль атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почвенного покрова непосредственно на промбазе Нючакан Ковыктинского ГКМ . Обе лаборатории расположены на территории месторождения и работают в условиях вахтового режима.

В процессе аналитической деятельности обеих лабораторий образуются специфические отходы, относящиеся преимущественно к I-III классам опасности: химические реактивы с истекшим сроком годности (кислоты, щелочи, органические растворители, токсичные индикаторы), отработанные пробы пластовой воды с нефтепродуктами и тяжелыми металлами, загрязненная лабораторная посуда, фильтры и сорбенты, а также смеси органических растворителей, используемые для экстракции и хроматографии. Эти отходы требуют строго регламентированного обращения: раздельного сбора, герметичного временного хранения и передачи специализированным лицензированным организациям.

Основная сложность заключается в том, что лабораторные отходы образуются в малых объемах, но обладают высокой токсичностью. На удаленных промыслах, где расположены лаборатории, существует риск несанкционированного смешивания агрессивных реагентов с общими стоками, нарушения герметичности тары при хранении и несоблюдения правил транспортировки опасных грузов на материк для утилизации.

Помимо передачи отходов специализированным организациям, «Газпром добыча Иркутск» внедряет методы утилизации, основанные на принципах экономики замкнутого цикла. Одним из таких методов является регенерация – возврат отходов в производственный цикл после соответствующей подготовки. В контексте лабораторной деятельности это может означать рекуперацию растворителей, регенерацию сорбентов и фильтрующих материалов, а также возврат в оборот промытых и обезвреженных лабораторных емкостей. Применение подобных методов позволяет сократить объем отходов, направляемых на захоронение, снизить потребление первичных ресурсов и уменьшить углеродный след лабораторного комплекса. Компания также практикует раздельное накопление отходов: проводятся акции по сбору отработанных элементов питания и макулатуры с последующей передачей на обезвреживание и утилизацию.

Экологическая повестка в газодобывающей отрасли не сводится к борьбе с парниковыми газами. Для газодобывающего предприятия, работающего на Байкальской природной территории, это комплексная задача, включающая защиту атмосферы, водных и земельных ресурсов, а также управление узкоспециализированными рисками – от отходов собственных аналитических лабораторий до сохранения уникальной экосистемы Прибайкалья.

Проведённый анализ пяти ключевых экологических проблем показывает,

что каждая из них имеет конкретные технологические и организационные решения. Снижение углеродного следа достигается за счёт подключения изолированных энергосистем к сетям с возобновляемыми источниками энергии, что подтверждается реализацией климатического проекта на Ковыктинском газоконденсатном месторождении. Защита водных объектов обеспечивается регулярными учениями по ликвидации разливов, а минимизация воздействия на земли – обязательной технической и биологической рекультивацией нарушенных участков. Отдельного внимания требует обращение с отходами химико-аналитических и экоаналитических лабораторий: применение методов регенерации и возврата материалов в производственный цикл позволяет не только снизить объём захораниваемых отходов, но и сократить потребление первичных ресурсов.

Принципиальным фактором остаётся особый природоохранный статус Байкальской природной территории. Соответствие системы экологического менеджмента требованиям ГОСТ Р ИСО 14001, участие в компенсационных мероприятиях по зарыблению водных объектов и системный экологический мониторинг свидетельствуют о том, что предприятие интегрирует экологические требования в производственные процессы, а не рассматривает их как внешнее ограничение.

Таким образом, устойчивое развитие газодобычи в уникальных природных условиях возможно только при системном подходе, учитывающем весь спектр воздействий – от промышленной площадки до лабораторной пробирки. Дальнейшее совершенствование технологий, расширение практики замкнутого цикла и последовательное внедрение наилучших доступных технологий остаются ключевыми условиями сохранения экологического баланса Байкальского региона при одновременном обеспечении энергетических потребностей страны.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

2. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ.

3. Экологическая политика ООО «Газпром добыча Иркутск»: утв. приказом ООО «Газпром добыча Иркутск» от 17.11.2022 № 779. – Текст: электронный // ООО «Газпром добыча Иркутск»: официальный сайт. – URL: https://irkutsk-dobycha.gazprom.ru/ecology/ehkologicheskaya-politika/

4. Охрана природы. – Текст: электронный // ООО «Газпром добыча Иркутск»: официальный сайт. – URL: https://irkutsk-dobycha.gazprom.ru/ecology/

5. Подключение изолированной энергосистемы Ковыктинского газоконденсатного месторождения к объединённой энергетической системе Сибири: климатический проект № 25-2024-00000029. – Текст: электронный // Реестр углеродных единиц. – URL: https://carbonreg.ru/ru/projects/31/

6. Башкин В.Н. Управление природными и экологическими рисками с использованием инновационных биогеохимических технологий / В.Н. Башкин, Р.В. Галиулин // Геохимия. – 2023. – Т. 68, № 10. – С. 1100-1110.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Э.Р. Батыршина, Ю.А. Полыгалова
ФГБОУ ВО Уральский ГАУ,
г. Екатеринбург

Аннотация. *В условиях индустриального развития и урбанизации Свердловской области проблема утилизации твердых отходов приобретает особую значимость. Увеличение объемов коммунальных и промышленных отходов, ограниченность природных ресурсов и необходимость снижения негативного воздействия на окружающую среду требуют внедрения современных подходов к их утилизации. Современные технологии переработки, повторного использования и снижения образования отходов рассматриваются как важный элемент перехода к устойчивому развитию региона. Свердловская область относится к крупным промышленным регионам России, где сосредоточено значительное количество предприятий, формирующих значительные потоки твердых отходов. При этом региональная система обращения с отходами находится в стадии модернизации, что вызывает необходимость анализа степени разработанности вопроса, оценки действующих практик и выявления наиболее эффективных подходов.*

Согласно данным Министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области в 2025 году в Свердловский областной кадастр отходов поступили сведения от 5096 предприятий, что на 3 % превышает показатели предыдущего года (4948 субъектов). Общий объем образованных отходов производства и потребления сократился до 158,5 млн т (93,6 % от уровня 2024 года). При этом доля утилизированных и обезвреженных отходов выросла до 37,1 % (58,8 млн т) против 32,8 % годом ранее [1].

Практическая реализация современных технологий утилизации твердых отходов в Свердловской области во многом определяется индустриальным характером региона и высокой концентрацией городского населения. Основной объем твердых коммунальных отходов (ТКО) формируется в агломерации Екатеринбурга, Березовского, Верхней Пышмы и других городов-спутников, где преобладают полигоны захоронения и мусоросортировочные комплексы. В последние годы на территории области развивается инфраструктура раздельного сбора, прежде всего по фракциям «пластик», «бумага», «стекло» и «металл». Однако уровень внедрения селективного сбора остается неоднородным: наиболее продвинутые практики сформированы в Екатеринбурге, в то время как в малых муниципалитетах такие элементы системы зачастую находятся на стадии пилотных проектов. Важной особенностью является постепенный переход от простой сортировки к предварительной подготовке вторичных ресурсов для переработки, что требует модернизации технологического оборудования и кадровой подготовки.

К ключевым объектам современной инфраструктуры утилизации твердых отходов относятся мусоросортировочные станции, оснащённые конвейерными линиями, сепараторами и прессовым оборудованием. В Свердловской области работают несколько крупных комплексов, ориентированных на обработку ТКО с целью выделения вторичных материальных ресурсов и снижения доли отходов, направляемых на полигонное захоронение. Технологический процесс включает механическую сортировку, ручной отбор ценных фракций, дробление, прессование и формирование тюков для дальнейшей отправки переработчикам. Значительная часть пластика и макулатуры поставляется предприятиям Уральского федерального округа, специализирующимся на выпуске полимерной продукции и бумажных изделий. Вместе с тем доля органической фракции ТКО, пригодной для компостирования или анаэробного сбраживания, пока используется ограниченно, что снижает общую эффективность технологической цепочки [6].

Существенное значение для региона имеют технологии переработки промышленных отходов, включая металлургические, горнодобывающие и машиностроительные производства. В Свердловской области действуют предприятия по переработке лома черных и цветных металлов, отходов металлургического шлака, строительного боя и изношенных шин. Технологии переработки металлического лома основаны на его сортировке, резке и плавке, что позволяет возвращать сырье в производственный цикл. Отходы шлака используются при строительстве автомобильных дорог и производстве строительных материалов, в том числе щебня и наполнителей для бетона. Переработка изношенных шин осуществляется преимущественно методом механического дробления с получением резиновой крошки, применяемой в устройстве покрытий спортивных площадок, дорожных и тротуарных покрытий. Эти решения позволяют снизить нагрузку на полигоны и вовлечь значительный объем промышленных отходов во вторичный оборот [7].

В сфере энергетической и высокотехнологичной утилизации твердых отходов Свердловская область находится на стадии формирования предпосылок для строительства объектов термической обработки. В региональных стратегических документах обсуждаются проекты мусоросжигающих или мусоросортировочно-энергетических комплексов, однако на момент подготовки работ такие объекты находятся преимущественно в проектной стадии. На практике применяются отдельные технологии RDF-топлива, предполагающие производство из отсортированной высококалорийной части отходов топлива для промышленного и энергетического использования. Некоторые промышленные предприятия региона реализуют проекты по совместному сжиганию отходообразующих материалов и традиционного топлива в котельных и печах, что позволяет сократить объемы захоронения, но требует строгого контроля выбросов и соблюдения экологических нормативов. Развитие подобного направления связано с необходимостью значительных инвестиций и общественной дискуссией по поводу безопасности термической обработки отходов.

Неотъемлемой частью современных технологических решений является цифровизация процессов обращения с твердыми отходами. В Свердловской области ведётся внедрение автоматизированных систем учёта объемов образования и вывоза отходов, мониторинга наполненности контейнерных площадок и логистики транспортных маршрутов. Применение GPS-навигаторов на мусоровозах, весового оборудования и электронного документооборота упрощает контроль фактических объемов отходов и повышает прозрачность расчетов между операторами и муниципалитетами. В перспективе это создает основу для более точного планирования мощности сортировочных комплексов и полигонов, а также для задач расширенной ответственности производителя. Однако цифровизация пока охватывает не все элементы системы, а отдельные объекты продолжают работать по традиционным схемам, что снижает комплексный эффект от инноваций [4].

Оценка эффективности подходов к утилизации твердых отходов в Свердловской области предполагает анализ экологических, экономических и организационных результатов реализуемой региональной политики. Одним из ключевых критериев выступает снижение доли отходов, направляемых на полигоны захоронения, и рост объемов переработки и использования вторичных ресурсов. По данным федеральной и региональной статистики, доля направляемых на обработку и утилизацию коммунальных отходов в области постепенно увеличивается, однако остаётся ниже целевых индикаторов, установленных национальными проектами в сфере экологии [5]. Так в 2025 году отчетность по обращению с коммунальными отходами (в формате Технического отчета) представили 4877 субъектов хозяйствования, что на 126 организаций больше, чем в 2024 году (4751). Данный показатель охватывает 95,7 % от общего числа подотчетных лиц. Данные по твердым коммунальным отходам (ТКО) сформированы на основе сведений от региональных операторов: АО «Специализированная автобаза», ООО «ЭкоПарк» и ООО «Компания «РИФЕй».

Всего за отчетный период в Свердловской области было образовано 1727,4 тыс. т коммунальных отходов. В структуре этого объема 1490,7 тыс. т приходится на ТКО, 45,6 тыс. т – на жидкие отходы, а 191,1 тыс. т составили прочие коммунальные отходы.

Общий объем ТКО, прошедших обработку, утилизацию и обезвреживание (включая отходы прошлых лет), составил 312,9 тыс. т, что соответствует 21 % от общего объема образования ТКО в регионе [1].

Экономическая эффективность современных подходов к обращению с твердыми отходами в Свердловской области связана с возможностью формирования рынка вторичных материальных ресурсов и сокращения затрат на приобретение первичного сырья. Предприятия по переработке металлолома, макулатуры, пластика и резиновой крошки создают новые рабочие места, обеспечивают налоговые поступления и развивают смежные производства в строительной и машиностроительной отраслях. Однако экономические преимущества переработки отходов реализуются не в полной мере. Сдерживающими факторами выступают сезонные колебания цен на вторичные

ресурсы, недостаточный объём стабильного и качественно отсортированного сырья, а также высокая капиталоёмкость модернизации технологий. В муниципальной сфере финансовая эффективность обращается к вопросам тарифной политики: население и бизнес должны воспринимать тарифы на обращение с отходами как обоснованные, что требует прозрачности расчётов и демонстрации реальных улучшений качества услуг [8].

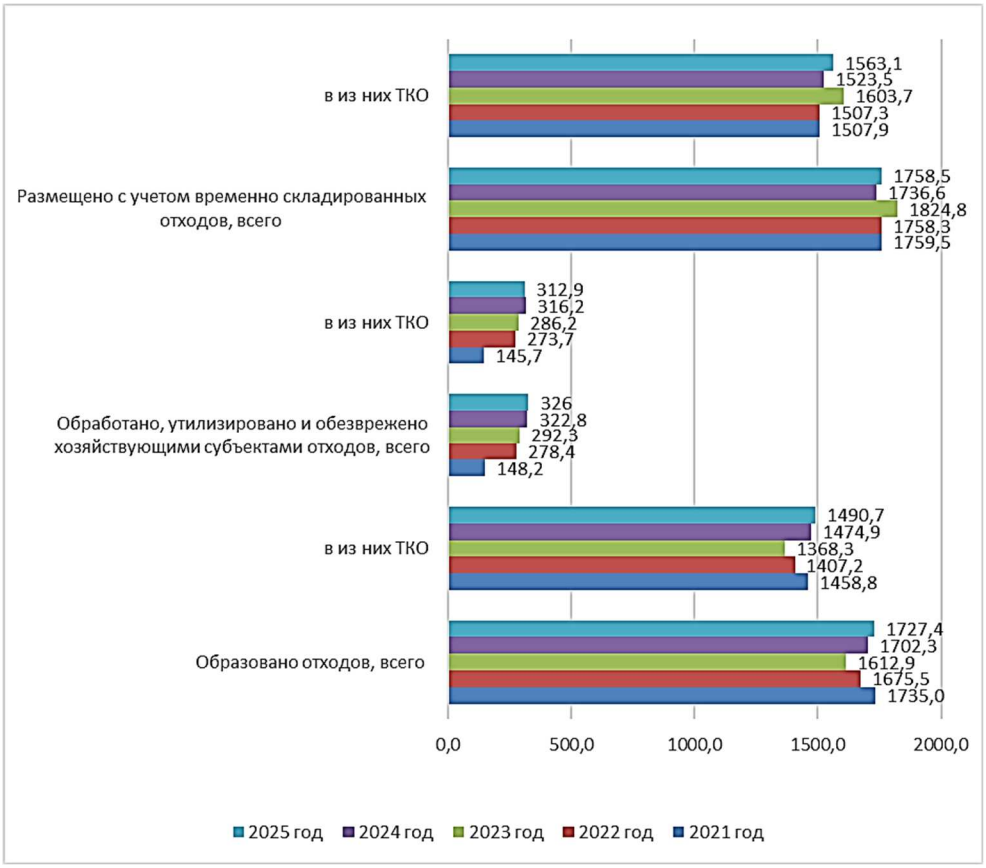


Рис. 1. Сведения об образовании и обращении с коммунальными отходами за 2021-2025 годы, тыс. т [1]

Организационная эффективность системы утилизации отходов во многом зависит от согласованности действий региональных операторов, муниципальных образований и надзорных органов. В Свердловской области сформирован институт региональных операторов по обращению с ТКО, отвечающих за вывоз, сортировку и размещение отходов на своей территории деятельности. Это позволяет упорядочить логистику и повысить ответственность за выполнение нормативов по обработке и утилизации. Вместе с тем практика показывает, что взаимодействие между операторами, ресурсоснабжающими организациями и населением нуждается в дальнейшем совершенствовании. Проблемой остаётся информирование граждан о правилах раздельного сбора, размещении контейнерных площадок и изменениях в организации вывоза. Эффективность применяемых подходов снижается при отсутствии устойчивой мотивации населения к участию в системах раздельного накопления отходов.

Отдельное направление оценки эффективности связано с анализом соответствия региональной системы утилизации отходов федеральным целям и

международным тенденциям. В России в рамках реализации «мусорной реформы» закреплены ориентиры на сокращение доли захоронения, развитие переработки и внедрение принципов расширенной ответственности производителя. Свердловская область последовательно адаптирует эти подходы, формируя региональные программы в сфере обращения с отходами, но сталкивается с необходимостью согласования интересов промышленных предприятий, органов власти и населения. По оценкам экспертов, регион обладает потенциалом повышения эффективности за счет расширения мощностей переработки, развития экологического просвещения и стимулирования участия бизнеса в проектах по возврату вторичных ресурсов в хозяйственный оборот. Важным условием является наличие систематического мониторинга результатов и корректировка программ с учётом полученных данных [3].

Перспективное развитие системы утилизации твердых отходов в Свердловской области связано с необходимостью перехода от преобладающей модели захоронения к комплексной системе переработки, повторного использования и снижения образования отходов. Одним из ключевых направлений является расширение инфраструктуры раздельного накопления ТКО, включая размещение специализированных контейнеров во дворах и общественных пространствах, создание пунктов приема вторсырья и развитие сетей экобоксов для опасных отходов потребления. Внедрение таких решений должно сопровождаться информационно-просветительскими программами, формирующими у населения понимание важности сортировки и утилизации отходов. Особое значение имеет вовлечение муниципалитетов в разработку локальных программ раздельного сбора, учитывающих плотность застройки, транспортную доступность и специфику образующихся отходов [2].

Технологическим приоритетом на ближайшую перспективу выступает создание мощностей по переработке органической фракции ТКО. В условиях индустриального региона значительная часть отходов имеет органическую природу и может быть подвергнута компостированию, анаэробному сбраживанию или производству биогаза. Развитие таких технологий позволит снизить нагрузку на полигоны, уменьшить выбросы парниковых газов и получить востребованные продукты – почвенные улучшители, биогазовое топливо, тепло и электроэнергию. Для Свердловской области важной задачей является адаптация существующих проектов по переработке органики к климатическим условиям Среднего Урала, а также поиск оптимальных форм интеграции подобных объектов в систему жилищно-коммунального хозяйства. Параллельно требуется разработка нормативных требований к качеству компоста и порядку его использования в сельском хозяйстве и благоустройстве.

Существенным перспективным направлением остаётся развитие энергетической утилизации твердых отходов при строгом соблюдении экологических стандартов. В региональных стратегических документах обсуждается возможность строительства мусоросжигающих или энерготехнологических комплексов, оснащенных современными системами очистки дымовых

газов и мониторинга выбросов. Реализация таких проектов способна снизить объем захоронения отходов и обеспечить дополнительную генерацию энергии для промышленных и коммунальных нужд. Однако их внедрение требует учета общественных опасений, проведения экологической экспертизы и открытого диалога с населением. Для Свердловской области, где значительную роль играет промышленный сектор, перспективно рассмотреть варианты совместного использования RDF-топлива на существующих энергетических объектах, при условии соблюдения требований по охране атмосферного воздуха и безопасному обращению с золошлаковыми отходами.

Цифровые технологии остаются одним из базовых ресурсов перспективного развития системы утилизации отходов. Для Свердловской области актуально дальнейшее внедрение автоматизированных систем мониторинга наполненности контейнеров, маршрутизации мусоровозов и учета отходообразования в реальном времени. Использование геоинформационных систем, онлайн-платформ для обратной связи с населением и цифровых сервисов по записи на вывоз крупногабаритных отходов повышает прозрачность и управляемость системы. Цифровизация может быть связана также с созданием регионального реестра переработчиков и онлайн-биржи вторичных ресурсов, упрощающих взаимодействие между предприятиями и операторами. Дополнительно перспективно использование аналитических инструментов для моделирования сценариев развития системы и оценки эффекта от внедрения новых проектов [4].

Перспективные направления развития утилизации твердых отходов в Свердловской области требуют согласованной работы органов власти, бизнеса, научного сообщества и населения. Для их реализации необходимо сочетание нормативно-правовой поддержки, инвестиционных механизмов и общественного участия. Учитывая мощный промышленный потенциал региона и наличие базовой инфраструктуры переработки отходов, Свердловская область имеет возможности для формирования одной из наиболее развитых региональных систем обращения с отходами в России. Важным условием является опора на лучшие практики отечественного и зарубежного опыта, адаптацию инновационных технологий к местным условиям и регулярная оценка эффективности реализуемых мер. В отечественной литературе и аналитических материалах приводится широкий спектр рекомендаций по развитию систем обращения с отходами, которые могут быть использованы при планировании региональных программ.

Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды на территории Свердловской области в 2025 году. Режим доступа: file:///C:/Users/Azerty/Downloads/Gosdoklad_2025-3.pdf

2. Дружакина О.П. Территориальная схема обращения с ТКО как новая модель управления отходами / О.П. Дружакина // Управление техносферой: электрон. журнал, 2019. – Т.2. – Вып.4. URL: http://f-ing.udsu.ru/technosphere

3. Зиновьева О.А. Реализация Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года / О.А. Зиновьева // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2023. – № 3(103). – С. 139-147.

4. Козлякова Я.В., Березюк М.В. Цифровизация отрасли обращения с отходами. Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/135237/1/ SMES_ 2024_006.pdf

5. Оценка способности региональных систем обращения с вредуыми коммунальными отходами обеспечить достижение национальных приоритетов к 2030 году. Режим доступа: https://urbaneconomics.ru/sites/ default/ files/ ocenka_regionalnyh_sistem_obrashcheniya_s_tko.pdf?ysclid= mv9nb 17r 2945657897

6. Петров Н.В. Геоэкологическая оценка опыта обращения ТКО в урбанизированном регионе Российской Федерации / Н.В. Петров, В.В. Онищенко // International Journal of Humanities and Natural Sciences, vol. 2-1 (89), 2024. – С.90-96.

7. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области от 09.02.2026 № 140 «Об утверждении региональной программы в сфере обращения с отходами производства и потребления на территории Свердловской области, в том числе с твердыми коммунальными отходами, на 2019-2030 годы». Режим доступа: https://mprso.midural.ru/upload/uf/5a2/ rj0xvgo8 uo1890g5sox6nsoee2oe9f74/Prikaz_140_ot_09.02.2026_13.02.2026.pdf

8. Свалов Е.А. Создание экономики замкнутого цикла в Свердловской области / Е.А. Свалов // Управление техносферой: электрон. журнал, 2022. – Т.5. – Вып.2. – С. 123-36. – URL: https://technosphere-ing.ru. DOI: 10.34828/UdSU. 2022.51.44.001

УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПУТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕСУРСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

М.Н. Кочева
Сыктывкарский лесной институт,
г. Сыктывкар

Аннотация. *Рассмотрена проблема утилизации старой корпусной мебели из ЛДСтП, ежегодно выбрасываемой жителями Республики Коми при покупке новой. Показано, что такие отходы содержат карбамидоформальдегидные связующие и при захоронении выделяют формальдегид, а также безвозвратно теряют древесное сырьё. Предложена технология переработки, включающая сбор, разборку, двухстадийное измельчение, воздушную, магнитную и оптическую сепарацию с получением вторичной древесной стружки фракции 0,5-5 мм и её возвратом в производство ЛДСтП (ООО «Сыктывкарский фанерный завод», бренд Lamarty) в количестве до 30-40 % от массы срединного слоя. Разработан новый продукт-трёхслойная композитная стеновая панель толщиной 16-22 мм со срединным слоем из вторичной стружки и наружными слоями из ДВП: предел прочности при изгибе 12-18 МПа,*

звукоизоляция 30-35 дБ, класс эмиссии формальдегида Е1 и ниже. Приведён материальный баланс переработки 1т. старой мебели: выход вторичной стружки 550-650 кг, металлолома 30-50 кг, отсева и пыли 100-150 кг на энергетические нужды. Реализация схемы снижает захоронение отходов, эмиссию формальдегида и потребление первичного сырья на 15-25 %.

Ключевые слова: *Республика Коми, старая мебель, ЛДСтП, вторичная переработка, вторичная древесная стружка, композитная стеновая панель, формальдегид, циркулярная экономика.*

Республика Коми относится к регионам с развитой лесопромышленной специализацией. Здесь сосредоточены предприятия по производству фанеры, древесно-стружечных плит (ДСтП), мебели и биотоплива. Одним из крупнейших производителей ламинированной древесно-стружечной плиты (ЛДСтП) в России является ООО «Сыктывкарский фанерный завод», выпускающий продукцию под брендом Lamarty. Мощности предприятия позволяют производить до 300 тыс. м³ плитной продукции в год [1]. Именно наличие этой промышленной базы создает в республике уникальные предпосылки для организации вторичной переработки отработанной мебели.

Вместе с тем проблема обращения с вышедшей из употребления мебелью в регионе остается нерешенной. Ежегодно домохозяйства республики, обновляя интерьер, выбрасывают значительное количество корпусной мебели – шкафов, кухонных гарнитуров, стеллажей, тумб, основным материалом которых служит ЛДСтП [2]. Такая мебель не относится к опасным отходам в строгом смысле, однако содержит карбамидоформальдегидные связующие, способные выделять свободный формальдегид при длительном хранении на открытом воздухе [3]. Кроме того, захоронение ЛДСтП-отходов означает безвозвратную потерю древесного сырья, которое может быть вовлечено в повторный оборот.

Цель настоящей работы обосновать возможность и целесообразность организации в Республике Коми системы вторичной переработки старой мебели из ЛДСтП, предложить соответствующую технологическую схему и разработать новый продукт на основе древесного сырья.

Основным источником отработанной ЛДСтП-содержащей мебели являются домохозяйства. По оценкам, средний срок службы корпусной мебели из ЛДСтП составляет 10-15 лет, после чего она заменяется новой [4]. В Республике Коми, где численность населения составляет около 800 тыс. человек, ежегодное образование отходов мебели оценивается в несколько тысяч тонн. Значительная часть этого объема попадает в контейнеры для крупногабаритных отходов либо размещается на несанкционированных свалках вблизи населенных пунктов.

Дополнительными источниками являются учреждения (школы, больницы, административные здания), а также коммерческие организации (гостиницы, офисы), обновляющие мебель в плановом порядке.

Типовая единица корпусной мебели из ЛДСтП (например, шкаф) включает следующие компоненты (табл.1).

Наибольшую ценность для вторичной переработки представляет фракция ЛДСтП. После измельчения она может быть использована как сырье для производства плит. Ключевой технологической проблемой является наличие

ламинирующего покрытия и кромочного материала, которые снижают адгезионные свойства и могут ухудшать качество готовой продукции [6].

Таблица 1

Ориентировочный состав корпусной мебели из ЛДСтП

Компонент	**Материал**	**Доля по массе, %**
Корпусные детали	ЛДСтП	60-70
Фасады	ЛДСтП, МДФ, стекло	15-25
Задняя стенка	ДВП	5-10
Фурнитура	Металл, пластик	3-7
Кромка, крепеж	ПВХ, металл	1-3

Размещение ЛДСтП-отходов на полигонах сопровождается двумя основными видами воздействия:

Во-первых, это эмиссия формальдегида, интенсивность которой зависит от температуры и влажности [3].

Во-вторых, это потеря ценного древесного ресурса, который мог бы быть вовлечен в производственный оборот. В условиях ужесточения требований к обращению с отходами (Федеральный закон № 89-ФЗ) и перехода к принципам циркулярной экономики направление ЛДСтП-отходов на полигоны становится все менее приемлемым как с экологической, так и с экономической точки зрения [7].

Предлагаемая технологическая схема включает четыре основных этапа:

1. сбор и транспортировку;
2. разборку и первичную сортировку;
3. измельчение и сепарацию;
4. повторное введение в производство плитной продукции.

Схема ориентирована на интеграцию в действующее производство ООО «Сыктывкарский фанерный завод», что позволяет минимизировать капитальные затраты на создание новой инфраструктуры.

Организация сбора предполагает два канала. Первый – муниципальные пункты приема крупногабаритных отходов, где устанавливаются отдельные контейнеры для мебели. Второй – торговые предприятия, реализующие мебель, которые при доставке новой мебели принимают старую на условиях безвозмездной передачи или небольшой компенсации. Такой подход аналогичен практике «trade-in», применяемой в ряде зарубежных стран [8].

Транспортировка осуществляется специализированным автотранспортом до площадки переработки, размещенной в непосредственной близости от плитного производства.

На участке разборки производится демонтаж мебельных изделий. Металлическая фурнитура, стекло, пластиковые элементы и задние стенки из ДВП отделяются и направляются на соответствующие потоки утилизации. ЛДСтП - детали сортируются по степени загрязнения и наличию повреждений. Сильно загрязненные или поврежденные детали могут направляться на энергетическое использование.

ЛДСтП - детали подвергаются двухстадийному измельчению. На первой стадии используется низкооборотный шредер, обеспечивающий получение фрагментов размером 50-100 мм. На второй стадии применяется молотковая дробилка, доводящая материал до фракции 0,5–5 мм. Полученная дробленка проходит воздушную сепарацию для удаления легких включений (пленка, бумага) и магнитную сепарацию для удаления остатков металла. Для более полного удаления ламинирующего покрытия рекомендуется применение оптической сортировки в ближнем инфракрасном диапазоне.



Рис.1. Технологическая схема измельчения ЛДСтП

Таблица 2

Ориентировочный материальный баланс переработки 1т. старой мебели из ЛДСтП

Продукт	**Выход, кг**	**Направление использования**
Вторичная стружка (фракция 0,5-5 мм)	550-650	Производство вторичных плит
ДВП (задние стенки)	50-80	Энергетическое использование
Металл	30-50	Металлолом
Пластик, стекло	20-40	Специализированная утилизация
Отсев, пыль	100-150	Энергетическое использование
Потери	50-100	-

Полученная вторичная стружка вводится в технологический поток производства ЛДСтП. Наиболее целесообразно использовать её во внутреннем (срединном) слое плиты, где требования к качеству поверхности ниже, чем в наружных слоях. Доля вторичной стружки в срединном слое может достигать 30-40 % без существенного снижения прочностных характеристик [9].

При необходимости применяется дополнительное связующее – карбамидоформальдегидная смола с пониженным содержанием свободного формальдегида, что позволяет обеспечить соответствие готовой продукции классу эмиссии Е1 и ниже.

В качестве нового продукта предлагается композитная стеновая панель, предназначенная для внутренней отделки помещений, устройства перегородок и повышения звукоизоляции.

Панель состоит из трёх слоёв:

- срединный слой – плита на основе вторичной стружки из старой мебели, толщиной 10-14 мм;

- наружные слои – тонкие древесноволокнистые плиты (ДВП), обеспечивающие ровную поверхность и улучшенные прочностные характеристики;

- функциональный слой (опционально) – звукоизоляционный материал на основе вторичного волокна («Эковата изготавливается по настоящим ТУ в соответствии с требованиями ГОСТ 30244, ГОСТ 30402 и ГОСТ 17177»).

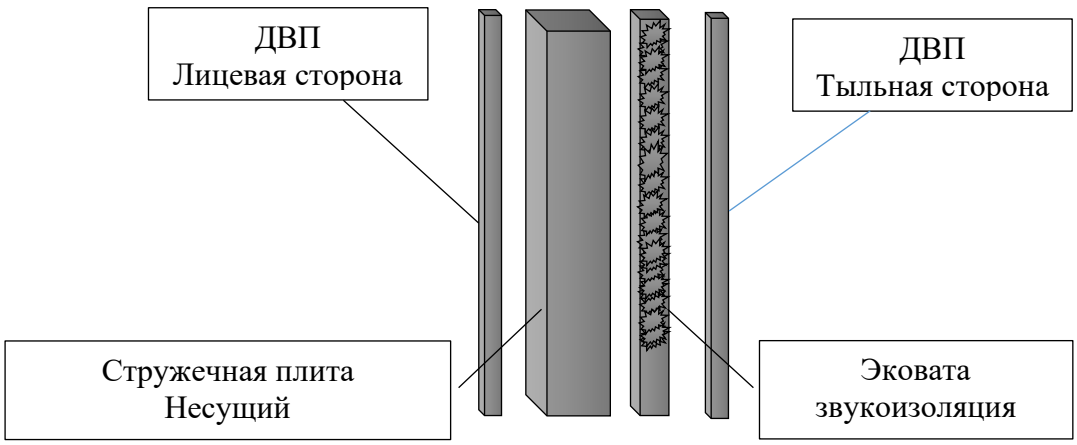


Рис.2. Схема послойного строения с эковатой

Таблица 3

Пояснения к схеме

Слой	**Материал**	**Толщина**	**Функция**
Наружный (лицо)	ДВП	2-4 мм	Ровная поверхность, защита
Средний	Плита из вторичной стружки	10-14 мм	Несущая основа, жёсткость
Функциональный	Эковата	5-15 мм	Звукоизоляция, заполнение полостей
Наружный (тыл)	ДВП	2-4 мм	Защита эковаты, прочность

Производство панели включает следующие операции:

- подготовку вторичной стружки и связующего;

-формирование срединного слоя; укладку наружных слоёв;

- горячее прессование при температуре 160-190 °С и давлении 2,0-3,0 МПа;

-охлаждение и обрезку кромок; нанесение защитно-декоративного покрытия (при необходимости). В таблице 4 приведены ожидаемые результаты композитной стеновой панели.

Таблица 4

Технические характеристики композитной стеновой панели

Показатель	**Значение**
Толщина, мм	16-22
Плотность, кг/м³	600-700
Предел прочности при изгибе, МПа	12-18
Модуль упругости при изгибе, МПа	1800-2500
Звукоизоляция (Rw), дБ	30-35
Класс эмиссии формальдегида	E1 и ниже
Водопоглощение за 24 ч, %	15-25

Предлагаемая панель может использоваться в следующих сферах:

- внутренняя отделка жилых и общественных зданий;
- устройство межкомнатных перегородок;
- звукоизоляционные экраны;
- мебельное производство (в качестве конструкционного материала для ненесущих элементов).

Организация переработки старой мебели из ЛДСтП в Республике Коми позволит:

- сократить объем захоронения отходов на полигонах;
- снизить эмиссию формальдегида за счет контролируемой переработки;
- уменьшить потребление первичного древесного сырья на 15-25 % в производстве плит;
- создать дополнительные рабочие места в сфере сбора, сортировки и переработки;
- обеспечить регион доступным строительным материалом с улучшенными экологическими характеристиками.

Проведённый анализ показывает, что в Республике Коми существуют необходимые предпосылки для организации вторичной переработки отработанной мебели на основе ЛДСтП. Наличие крупного производителя ЛДСтП, развитая лесопромышленная инфраструктура и относительно высокая концентрация населения создают условия для формирования замкнутого цикла «сбор – переработка – производство – потребление».

Предложенная технологическая схема позволяет вовлечь в оборот значительную часть ЛДСтП-отходов, образующихся в регионе, и получить новый продукт - композитную стеновую панель с улучшенными экологическими и акустическими характеристиками. Реализация подобного проекта соответствует принципам циркулярной экономики и целям устойчивого развития, а также может стать типовым решением для других лесопромышленных регионов России.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на оптимизацию

режимов измельчения и сепарации вторичной стружки, изучение долговременной эмиссии формальдегида из вторичных плит и разработку нормативной базы для сертификации продукции, содержащей вторичное древесное сырьё.

Список литературы

1. Официальный сайт ООО «Сыктывкарский фанерный завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lamarty.com (дата обращения: 10.10.2026).

2. Азаров В.И. Химия древесины и синтетических полимеров / В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская. – Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2010. – 620 с.

3. Шаповалов Н.А. Экологические аспекты утилизации отходов мебельного производства / Н.А. Шаповалов, А.О. Сафонов // Деревообрабатывающая промышленность. – 2020. – № 3. – С. 45-52.

4. Леонович А.А. Технология древесных плит и композитных материалов / А.А. Леонович. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 336 с.

5. Ирле М. Древесные композиты: материалы, производство и инженерия / М. Ирле, М.К. Барбу, Р. Ре [и др.]. – Берлин : Де Грюйтер, 2017. – 350 с.

6. Рашид М. И. Использование древесных отходов: обзор современной практики и перспектив / М.И. Рашид, М.С. Хоссейн, М.Т. Рахман [и др.] // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Т. 385. – С. 135677.

7. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (с изменениями и дополнениями) // Собрание законодательства РФ. – 1998. – № 26. – Ст. 3009.

8. Кузьмин С.Н. Производство топливных гранул: технология и оборудование / С. Н. Кузьмин. – Москва: Лесная промышленность, 2017. – 208 с.

9. Фенгел Д. Древесина: химия, ультраструктура, реакции / Д. Фенгел, Г. Вегенер; пер. с англ. – Москва: Лесная промышленность, 1988. – 512 с.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФЕНТОН-ОЧИСТКИ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

Р.А. Азматова, И.С. Глушанкова
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

Аннотация. *Исследовано влияние введения углеродного сорбента на основе торфа и дробное внесение пероксида водорода на интенсификацию процесса Фентона при очистке нефтехимических сточных вод от фенола. Разработан способ очистки, заключающийся в совместном применении сорбента и поэтапном внесении окислителя. Экспериментально подтверждена эффективность предложенного способа, который позволил повысить степень удаления фенола до 95,5 %.*

Сложный многокомпонентный состав сточных вод нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий, неотъемлемой частью которого являются биорезистентные вещества, зачастую не поддается классической схеме

очистки. Биорезистентные соединения устойчивы к разложению в сооружениях биологической очистки, накапливаются в системе и подавляют жизнедеятельность активного ила, что нарушает штатный режим работы сооружений и снижает эффективность очистки сточных вод. Для решения этой проблемы необходима предварительная подготовка таких стоков перед биологической очисткой, направленная на разрушение устойчивых соединений, что снизит нагрузку на биологические очистные сооружения и обеспечит более полное протекание процессов очистки.

Наиболее трудноудаляемым компонентом таких стоков является фенол. Из-за высокой растворимости в воде он остается в водной фазе и не может быть удален без применения деструктивных или сорбционных методов. Однако оба подхода имеют ограничения. Деструктивные методы не всегда обеспечивают полное разрушение загрязнителя: отклонение параметров процесса и колебания состава стока влияют на направление и глубину окисления, возможно образование устойчивых токсичных побочных продуктов. К недостаткам также относятся высокая энергоемкость, использование агрессивных реагентов в высоких концентрациях, значительных расход реагентов. Сорбционные методы, в свою очередь, сопряжены с необходимостью регенерации и/или утилизации отработанных сорбентов [1].

Для решения проблемы очистки сточных вод нефтехимических производств от фенола был выбран процесс Фентона, который представляет собой окисление смесью пероксида водорода и соли двухвалентного железа, при котором образуются гидроксильные радикалы, обеспечивающие разрушение трудноокисляемых загрязнений [2]. Раннее нами была показана возможность применения реактива Фентона для очистки сточных вод нефтехимического предприятия и определены оптимальные условия проведения процесса [3]. Однако достигнутая эффективность удаления фенола оказалась недостаточной, что потребовало поиска путей интенсификации окисления. В работе представлены результаты исследования возможности применения в качестве катализатора процесса углеродного сорбента, а также поэтапного внесения пероксида водорода в систему для повышения эффективности очистки и более полного использования реагентов.

Эксперименты проводили на модельных растворах с содержанием фенола до 70 мг/л. Дозы пероксида водорода и соли железа (II), а также значение pH принимали по данным, обоснованным ранее [3]. В раствор вносили 0,5 г порошкообразных углеродных сорбентов, в качестве которых были использованы АУ марки СКТ (сернистокалиевый торфяной сорбент), а также сорбенты на основе торфа, синтезированные в ходе выполнения работы. Затем в раствор добавляли соль железа (II) и вносили 10 мл 0,3 %-ого раствора пероксида водорода порциями по 2 мл. После каждой порции смесь перемешивали 20 минут и корректировали pH при необходимости. По окончании обработки остаточное содержание фенола определяли бромат-бромид метрическим методом.

Данным способом удалось снизить содержание фенола на 95,5 %.

Таким образом, предложенный способ интенсификации процесса Фентона –

совместное введение углеродного сорбента на основе торфа и поэтапное внесение пероксида водорода – позволил снизить содержание фенола в модельном растворе на 95,5 %, что существенно превышает эффективность, достигнутую ранее при одностадийном внесении окислителя (66,5 %) [3]. Полученный результат подтверждает целесообразность дробного дозирования пероксида водорода, обеспечивающего более полное использование гидроксильных радикалов, и введения угольного сорбента, способствующего повышению глубины окисления фенола.

Список литературы

1. Шинкарук Н.А. Очистка сточных вод от фенола: технологии и перспективы / Н.А. Шинкарук, С.Г. Ницкая // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Химия. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 182-189.

2. Андреев С.Ю. Новая технология деструктивной очистки производственных сточных вод / С.Ю. Андреев, В.А. Князев, К.В. Лебединский // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 4(53). – С. 98-104.

3. Азматова Р.А. Обоснование метода локальной очистки сточных вод, загрязненных биорезистентными веществами / Р.А. Азматова, И.С. Глушанкова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2024. – № 2(92). – С. 7-13.

СОЗДАНИЕ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Е.А. Моргачева, И.Н. Пугачева, С.С. Никулин
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
г. Воронеж

Аннотация. *В работе приведено, что текстильные отходы могут быть переработаны в целевые продукты для резинотехнической промышленности. Показано, что из волокнистых текстильных отходов могут быть получены порошкообразные добавки, применение которых в производстве эмульсионных каучуков на стадии их получения, способствует повышению экологичности производства, за счет снижения антропогенной нагрузки на природную среду.*

Реализация концепции устойчивого развития в Российской Федерации невозможна без изменения экологического взаимодействия общества (с его техникой и технологиями) с окружающей природной средой. Негативное воздействие на природу искусственно созданной человеком среды обитания – техносферы – привело к нарушению естественных процессов в экосистемах и в биосфере в целом. Особую озабоченность вызывает ежегодный рост количества образующихся отходов производства и потребления, которые приводят к загрязнению окружающей среды, изменяют ее качественные и количественные параметры, делая среду неблагоприятной с экологической точки зрения для

человека. Во всем мире проблема обращения с отходами является одной из важнейших экологических проблем, требующих незамедлительного решения. В связи с вышесказанным особую актуальность приобретает поиск технических решений по переработке и вторичному использованию отходов производства и потребления, применение которых в качестве добавок в целевые продукты является одним из ведущих направлений научных исследований.

Цель работы разработать перспективный способ переработки текстильных целлюлозосодержащих отходов легкой промышленности.

В настоящее время большое количество текстильных отходов образуется на предприятиях легкой промышленности [1]. Некоторая часть образующихся текстильных отходов используется в различных отраслях промышленности. Однако почти половина текстильных отходов до сих пор не находит своего применения. Перспективным направлением в решении проблемы переработки текстильных отходов является получение из них волокнистых добавок. В опубликованных в центральной печати работах показано, что волокнистые добавки находят применение в композиционных составах различного назначения. Особое внимание при этом обращено на использование волокнистых добавок в полимерных композитах. Одним из направлений по их использования является производство резинотехнических изделий. В опубликованной работе [2] представлены результаты исследований по влиянию небольших добавок волокон различной природы (до 10 кг/т каучука) на процесс выделения каучука из латекса и свойства получаемых композитов. Интересным в этом плане может оказаться перевод волокнистой добавки в порошкообразное состояние. Порошкообразную добавку получали из волокнистых отходов путем обработки их раствором серной кислоты при температуре, дальнейшего высушивания и измельчения до размера 0,5 мм.

Процесс выделения каучука из латекса изучали на лабораторной установке, представляющей собой емкость, снабженную перемешивающим устройством, и помещённую в термостат для поддержания заданной температуры. Порошкообразную добавку в количестве 10; 30; 50; 70; 100 кг/т каучука, вводили в образующуюся крошку каучука на стадии выделения из латекса, с использованием в качестве коагулирующего агента водного раствора хлорида натрия (24 % мас.), хлорида магния (10 % мас.), хлорида алюминия (10 % мас.) и подкисляющего агента – водного раствора серной кислоты (1-2 % мас). Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что ввод порошкообразной добавки целесообразно осуществлять с коагулирующим агентом. Во всех случаях отмечено, что введение порошкообразной добавки совместно с коагулирующим агентом приводит к снижению расхода коагулянта необходимого для протекания полной коагуляции. Однако, необходимо отметить, что увеличение дозировки порошкообразной добавки с 50 до 100 кг/т каучука приводит к возрастанию ее количества в водной фазе (серуме), оставшейся после отделения от нее образовавшейся крошки каучука. При введении порошкообразной добавки с дозировкой 70-100 кг/т каучука, полная коагуляция латекса проходит без добавления подкисляющего агента.

Испытания вулканизатов на основе каучуков, наполненных порошкообразной целлюлозной добавкой, показали, что наилучшая ее дозировка составляет 50-100 кг/т каучука. Физико-механические показатели вулканизатов, содержащих порошкообразную добавку в этом интервале, соответствуют требованиям, предъявляемым к резинотехническим изделиям.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать выводы, что текстильные целлюлозосодержащие отходы можно использовать для получения порошкообразной добавки. Применение порошкообразной добавки на стадии выделения каучука из латекса в технологии получения наполненных эластомерных композиций, позволяет снизить расход коагулирующего агента, а также подкисляющего агента, вплоть до его исключения из процесса выделения каучука из латекса. Такой подход к переработке текстильных отходов позволяет вовлечь компоненты, содержащиеся в отходах в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья, а также предотвратить вредное воздействие на окружающую среду.

Список литературы

1. Никулин С.С. Композиционные материалы на основе бутадиен-стирольных каучуков / С.С. Никулин, И.Н. Пугачева, О.Н. Черных. – М.: «Академия Естествознания», 2008. – 145 с.

2. Misin V.M., Nikulin S.S., Pugacheva I.N. Cellulose-based textile waste treatment into powder-like fillers for emulsion rubbers. Engineering textiles research methodologies, concepts, and modern applications. Apple Academic Press, 2016. – P. 59-77.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ ПОДТОВАРНЫХ ВОД В РЕЗЕРВУАРАХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ

С.В. Строкин[1,2], О.М. Флисюк[2], О.В. Леонова[1], И.В. Доровских[1]
[1] ООО «Прикладной Инженерный и Учебный Центр «Сапфир»»
[2] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»,
г. Санкт-Петербург

Аннотация. *В работе приводятся результаты испытаний и математического моделирования процесса очистки пластовой воды в резервуаре вертикальном стальном (РВС). Оценивается эффективность мер по техническому перевооружению резервуара с целью углубления степени подготовки пластовой воды, закачиваемой в пласт на кустовых насосных станциях. Выполняется эмпирический расчет процесса всплытия капель нефтепродуктов и коалесценции капель на внутренних устройствах. Предлагаются меры по усовершенствованию РВС для повышения эффективности.*

Ключевые слова: *резервуар вертикальный стальной, внутренние устройства, водонефтяная эмульсия, пластовая вода, нефтепродукты, очистка воды.*

Введение

На нефтяном месторождении планируются мероприятия по техническому перевооружению резервуара для очистки пластовой воды. Цель мероприятий – снижение остаточного содержания нефтепродуктов (ОНП) согласно ОСТ-39-225-88. В РВС ожидается установка внутренних устройств из полипропиленовых пластин и маточник для распределения потоков воды, как показано на рисунке 1 [1]. Объем резервуара 5000 м^3.

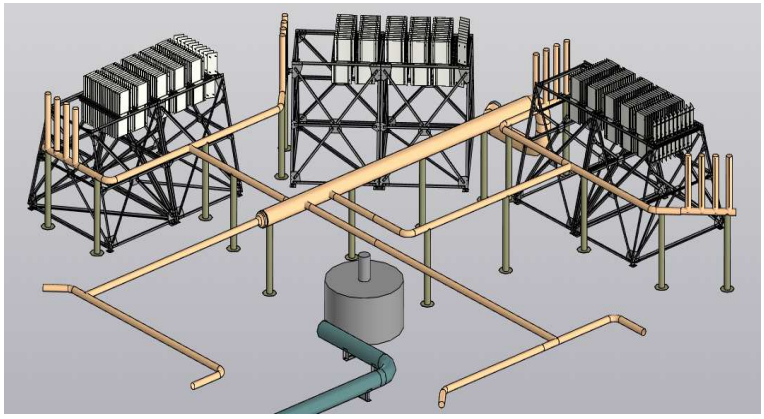


Рис. 1. Конструкция внутренних устройств и маточника РВС (фрагмент), изображены 3 из 8-ми блоков пластин

Для опытно-промышленных испытаниях целевые показатели следующие. При расчетной производительности резервуара до 25 тыс. м^3/сут. и содержании ОНП на входе 1000 мг/л после очистки ожидаемое содержание ОНП не должно превышать 40 мг/л.

Задача исследования – выполнить моделирование работы внутренних устройств и оценить достижимость расчетных показателей эффективности.

Материалы и методы

Смоделированы результаты очистки воды при производительности 25 тыс. м^3/сут. по эмпирическим зависимостям. Средняя скорость подачи воды из отверстий маточника рассчитывалась с помощью ПО «Гидросистема». Из маточника через плоские отверстия вытекает затопленная струя, ее скорость вдоль оси течения рассчитывалась по уравнению Абрамовича [2]. Скорость всплытия капель разных диаметров оценивалась по уравнению Стокса. Критический размер капли вычислялся по формуле Медведева [3], расчет распределения размеров выполнялся по логнормальному закону [4]. Скорость диффузии капель к пластинам для коалесценции высчитывалась по методике из источника [5].

В качестве исходных данных приняты расходы и концентрации, указанные во введении к работе. Свойства флюида измерены в лабораторных условиях. Плотность нефтепродуктов – 847 кг/м^3, вязкость при рабочих условиях – 1,28 сПз. Поверхностное натяжение на границе раздела фаз нефть-вода – 0,0434 Н/м. Расстояние между пластинами ВУ принято 10 см, длина пластин в блоке суммарная – 3,24 м. Размеры щелей, из которых на пластины набегает вода – 0,01х1,3 м, по 4 щели на каждый из восьми блоков пластин.

Результаты

Полученный критический размер диаметра капли по формуле Медведева [3] – 0,752 мм (752 мкм), определен с учетом содержания дисперсной фазы и скоростей течения жидкости.

Результаты расчета логнормального распределения размеров капель позволяют утверждать, что примерно 40 мг/м^3 концентрации дисперсной фазы приходится на капли с диаметром 25 мкм и меньше (рис. 2).

Таблица 1

Зависимость скорости всплытия от размеров капель ОНП

Диаметр капли *d*, мкм	25	50	100
Скорость всплытия, м/с	7,24E-05	2,90E-04	1,16E-03
Средняя высота всплытия, м	4,53	4,53	4,53
Требуемое время всплытия, ч	17,38	4,35	1,09
Время пребывания жидкости в РВС, ч	4,8	4,8	4,8

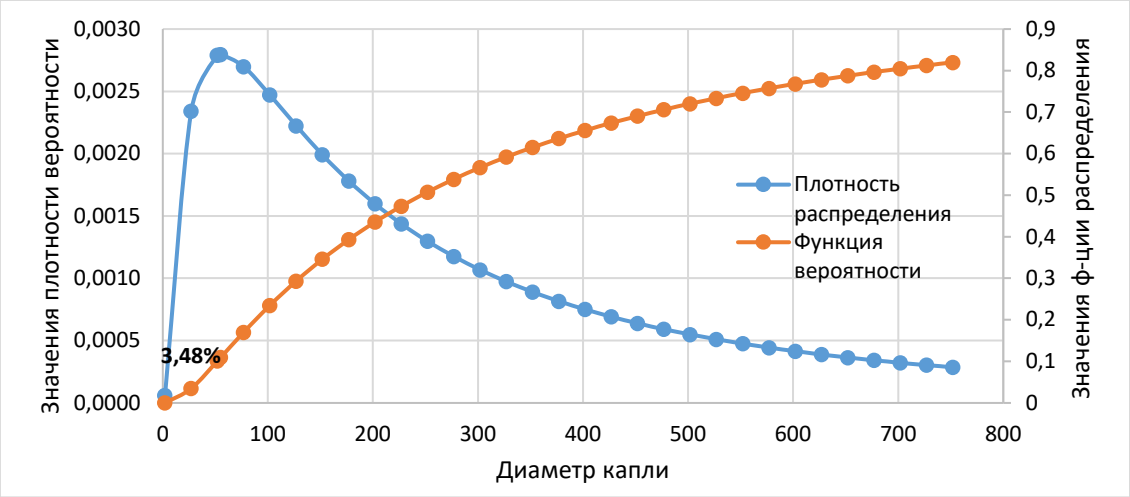


Рис. 2. Распределение диаметров капель нефтепродуктов, взвешенных в пластовой воде

Из таблицы 1 и рис. 2. следует, что ключевое назначение внутренних устройств (ВУ) – улавливание капель нефтепродуктов диаметром 25 мкм и менее. В связи с вертикальным размещением ВУ и сонаправленностью пластин с потоком [1], основной механизм коалесценции – турбулентная диффузия капель нефтепродуктов при горизонтальных пульсациях потока.

Для оценки скорости течения воды в разных участках пакетов пластин применено уравнение Абрамовича. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчета средней скорости затопленной струи, поступающей в насадки

Скорость в щели, м/с	Размер щели, м	Скорость на оси струи, м/с			Число Re		
		на входе в насадку	в середине насадки	на выходе из насадки	на входе в насадку	в середине насадки	на выходе из насадки
0,71	0,01	0,213	0,134	0,104	27137	17006	13260
Средняя скорость		0,151			---		

На основании характеристик пластин полипропиленовых и значений скорости струи определена скорость вязкого трения, а затем значения коэффициента турбулентной диффузии D_d и скорости диффузии частиц 25 мкм к пластинам. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты расчета скоростей диффузии капель к пластинам

Параметр	Вход в насадку	Середина насадки	Выход из насадки
Коэфф. турбулентной вязкости, мм^2/с	0,393	0,239	0,172
Коэфф турб. диффузии, мм^2/с	6,60	3,72	2,69
Линейная скорость диффузии, м/с	$1{,}32*10^{-4}$	$7{,}43*10^{-5}$	$5{,}37*10^{-5}$

Исходя из результатов в таблице 3, средняя скорость диффузии линейная – $8{,}67*10^{-5}$ м/с. тогда время достижения частицами пластин от ядра потока при расстоянии 5 см – 576,6 секунд, или 9,6 минут. При линейной скорости средней воды в насадке 0,151 м/с и длине насадки 3,24 м, время пребывания воды в насадке составит всего 21 с. Таким образом, скорости диффузии частиц недостаточно для их коалесценции, а значит, и для очистки воды до требуемых показателей.

Обсуждение и выводы

Предлагаемая конструкция внутренних устройств недостаточна для увеличения глубины подготовки воды. При необходимости глубокой очистки воды за короткое время следует учитывать расчетную крупность частиц нефтепродуктов, которые могут существовать в воде, и распределение их размеров. Чем ниже требуемая концентрация ОНП на выходе из аппарата, тем больше требования к способности ВУ улавливать капли малого диаметра. Решения по глубокой очистке воды более целесообразно применять в ограниченных пространствах, таких как горизонтальные отстойники.

Возможные направления модификации ВУ, устанавливаемых в РВС, следующие:

- Повышение частоты расположения пластин. Такой подход уменьшит требуемое время диффузии, но увеличит коэффициент турбулентной вязкости;
- Уменьшение скорости истечения струй воды. Это позволит повысить скорость турбулентной диффузии вследствие роста размеров пульсаций, однако уменьшит время пребывания воды в пластинах;
- Изменение геометрии – числа поворотов и проходов – для намеренного увеличения времени пребывания или для направления потока воды в сторону зеркала раздела фаз и, как следствие, увеличения скорости всплытия. Такой подход, однако, может привести к нарушению однородности зеркала раздела фаз в резервуаре.

Список литературы

1. Пат. 231032 Российская федерация, МПК B01D 17/02 Устройство для очистки пластовой воды от остаточных нефтепродуктов и механических

примесей в резервуарах вертикальных стальных / Сидоров Д.А., Звонарев И.А., Останин А.А. и др.; заявитель и патентообладатель АО «Самотлорнефтегаз» – № 2024110334; заявл. 15.04.2024; опубл. 27.12.2024, Бюл. № 36 – 5 с.

2. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй / репринтное издание 1960 г. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 720 с.

3. Медведев В.Ф. Сбор и подготовка неустойчивых эмульсий на промыслах / В.Ф. Медведев. – М.: Недра, 1987 – 144 с.

4. Корякина В.В. Изучение распределения капель водной фазы в эмульсиях нефти до и после гидратообразования / В.В. Корякина, И.С. Горохова // Вестник Московского университета. – 2020. – Т. 61, №2. – С. 160-165

5. Лаптев А.Г., Башаров М.М., Фарахова А.И. Явления турбулентного переноса тонкодисперсных частиц в жидкой фазе динамических сепараторов / А.Г. Лаптев, М.М. Башаров, А.И. Фарахова // Научный журнал КубГАУ. – 2011, №68(04). – С. 1-31.

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДЫХ ДОБАВОК В МЕХАНОХИМИЧЕСКОМ СИНТЕЗ КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩИХ ФЕНТОН-ПОДОБНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Т.А. Емельяненко[1], О.Д. Арефьева[1,2], В.В. Либанов[1]
[1] Дальневосточный федеральный университет,
[2] Институт химии ДВО РАН,
г. Владивосток

Аннотация. *Получена серия образцов Фентон-подобных катализаторов с использованием твердых добавок. Исследована каталитическая активность образцов в реакции деградации тетрациклина. Показано, что введение солей аммония и солей кобальта способствует закреплению оксида кобальта в матрице аморфного диоксида кремния.*

Введение.

Механохимия признана инновационным методом и включает проведение химических реакций за счет поглощения механической энергии. Механическое измельчении твердых тел сопровождается рядом процессов: уменьшением размера частиц, увеличением поверхности соприкосновения, образованием точечных дефектов и дислокаций в кристаллической структуре, фазовыми превращениями, химическими реакциями и др. Несмотря на достоинства механохимических реакций, они часто не соответствуют ожиданиям. Однако, существуют способы дополнительной активации поверхности твердых реагентов. К их числу относятся изменение химической предыстории исходных веществ и введение дополнительных микродобавок и примесей (кремнезем, глина, песок, соли, полиэтиленгликоль, цеолиты и др.) [1-3].

Цель работы – синтезировать Фентон-подобные катализаторы SiO_2-Co_3O_4 методом механохимической активации в присутствии твердых добавок и исследовать их каталитические свойства в реакции деградации тетрациклина.

Экспериментальная часть.

В данной работе из смеси нитрата кобальта ($Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) и кремнезема методом механохимической активации были получены образцы Фентон-подобных катализаторов с массовым соотношением Co : Si = 0,2 : 1 с применением твердых добавок (таблица). В качестве матрицы был использован аморфный диоксид кремния биогенного происхождения, выделенный из щелочного гидролизата рисовой шелухи. Катализатор Si-Co синтезировали без твердых добавок и использовали в качестве образца сравнения.

Каталитические свойства полученных образцов оценивали на примере реакции разложения тетрациклина в присутствии пероксида водорода. После проведения экспериментов по деградации тетрациклина проводили определение содержания ионов кобальта в растворе тетрациклина спектрофотометрическим методом.

Обсуждение результатов.

Результаты исследований показали, что для всех образцов, полученных с использванием твердых добавок (соли аммония и соли кобальта) наблюдается незначительное снижение каталитической активности по сравнению с исходным образцом.

Характеристика Фентон-подобных катализаторов, полученных с использованием твердых добавок

Шифр образца	Используемая добавка	Степень деградации, %	Содержание Co, мг/л
Si-Co	-	83±2	0,16
Si-Co-NH_4HF_2	Гидрофторид аммония (NH_4HF_2)	73±6	0,10
Si-Co-NH_4Cl	Хлорид аммония (NH_4Cl)	73±1	0,13
Si-Co-$CoOHCO_3$	Гидроксокарбонат кобальта ($CoOHCO_3$)	74±2	0,15
Si-Co-$CoCl_2$	Хлорид кобальта ($CoCl_2$)	70±7	0,08
Si-Co-$CoF_2 \cdot 6H_2O$	Фторид кобальта ($CoF_2 \cdot 4H_2O$)	60±2	0,19

Согласно полученным данным (таблица), введение твердых добавок при механохимическом синтезе способствует закреплению кобальта в матрице аморфного диоксида кремния для всех образцов, кроме Si-Co-$CoF_2 \cdot 6H_2O$. Фиксация активного компонента связана, по всей видимости, с тем, что соли аммония и кобальта, используемые в процессе синтеза, явились источником дефектообразования и образовавшиеся дефекты диффундировали через границу раздела фаз, способствуя связыванию кобальта с матрицей аморфного диоксида кремния. Следует отметить, что содержание ионов кобальта в растворе тетрациклина после деградации в присутствии Si-Co-NH_4HF_2 и Si-Co-$CoCl_2$ не превышает установленную ПДК (0,1 мг/л) [4], при наличии остальных образцов составляет 1,3-1,9 ПДК.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии ДВО РАН FWFN(0205)-2025-0002.

Список литературы

1. Третьяков Ю.Д. Введение в химию твердофазных материалов / Третьяков Ю.Д., Путляев В.И. – Изд-во Моск. ун-та : Наука. – Москва, 2006. – 400 с.

2. Recent advances in liquid assisted grinding chemistry: towards sustainable synthesis / S.A. Salami, M.H. Manyeruke, C.I. Ezekiel [et al.] // Results in Chemistry. – 2025. – Vol. 18. – Recent advances in liquid assisted grinding chemistry. – P. 102675.

3. Howard J.L. Mechanochemistry as an emerging tool for molecular synthesis: what can it offer? / J.L. Howard, Q. Cao, D.L. Browne // Chemical Science. – 2018. – Vol. 9. – Mechanochemistry as an emerging tool for molecular synthesis. – № 12. – P. 3080-3094.

4. СанПиН 1.2.2685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

ПЕРСПЕКТИВЫ УМЕНЬШЕНИЯ ИЗНОСА ГИДРОЦИКЛОНА ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ/БИОВЫЩЕЛАЧИВАНИИ МЕТАЛЛОВ

Д.В. Лещенко[1], В.А. Тыщенко[1], Н.М. Максимов[1],
Л.Д. Лещенко[2], Е.В. Мельников[1]
[1] ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
г. Самара
[2] ФГБУН ФИЦ ПНЦБИ РАН, ИБФМ РАН,
г. Пущино

Аннотация. *Предложена конструкция биоморфного гидроциклона для процессов выщелачивания и биовыщелачивания ценных и особо ценных металлов, выполненная по технологии неизвлекаемой армирующей опалубки (НАО). Конструкция сочетает абразивостойкий полимербетонный композитный массив, защиту от микробиологической коррозии за счёт специальных добавок и встроенные кондуктометрические датчики глубины износа. Это позволяет увеличить ресурс проточных частей аппарата и контролировать их состояние.*

Ключевые слова: *неизвлекаемая армирующая опалубка, НАО, биовыщелачивание металлов, биоморфный гидроциклон, микробная адгезия.*

Современные процессы обработки полезных ископаемых предъявляют к оборудованию сложный комплекс требований. Аппараты должны обеспечивать устойчивость к коррозии и абразивному воздействию, и одновременно оборудование должно быть ремонтопригодным и экономически приемлемым. Технология НАО [1, 2] направлена на частичное решение этой задачи. Её суть заключается не просто в замене металла композитным материалом, а в изменении логики проектирования. Конструкция должна определяться движением потоков, условиями контакта фаз, требованиями безопасности и эксплуатации.

В основе технологии НАО лежит изменение самого объекта проектирования. При классическом проектировании аппаратов мы прежде всего думаем о материальной оболочке. Предлагаемый подход позволяет посмотреть на аппарат с противоположной стороны. Исходной единицей становится не труба как металлическое изделие, а канал как технологическая функция; не корпус как оболочка, а рабочий объём как организованная полость. Иными словами, сначала конструируется пустота – функциональное пространство, определяющее движение потока, смешение, теплообмен и химическую реакцию; в процессе работы эта полость заполнена технологической средой. Сконструированная пустота окружается массивом из композита на основе полимербетона и НАО.

Для пояснения этой идеи полезна литературная метафора из романа братьев Стругацких «Обитаемый остров». Жители Саракша ошибочно представляли свой мир как внутреннее пространство замкнутой системы. Окружающее пространство воспринималось ими не как поверхность планеты в космосе, а как внутренность полости в гигантской вселенской тверди. В применении к нашей теме эта метафора помогает представить технологический поток как обитателя специально созданного внутреннего мира. Его «ландшафт» образуют каналы, расширения, сужения, камеры и переходы. Твёрдый материал вокруг них выступает не столько внешней оболочкой, сколько массивом, внутри которого организована вся пространственная архитектура процесса. Таким образом, аппарат проектируется от внутренней архитектуры процесса, а окружающий композитный материал создаёт для неё прочную, герметичную и защищённую конструкционную среду.

Перейдём от концепции к её практическому воплощению. Производственный цикл начинается с цифрового проектирования (рис. 1).

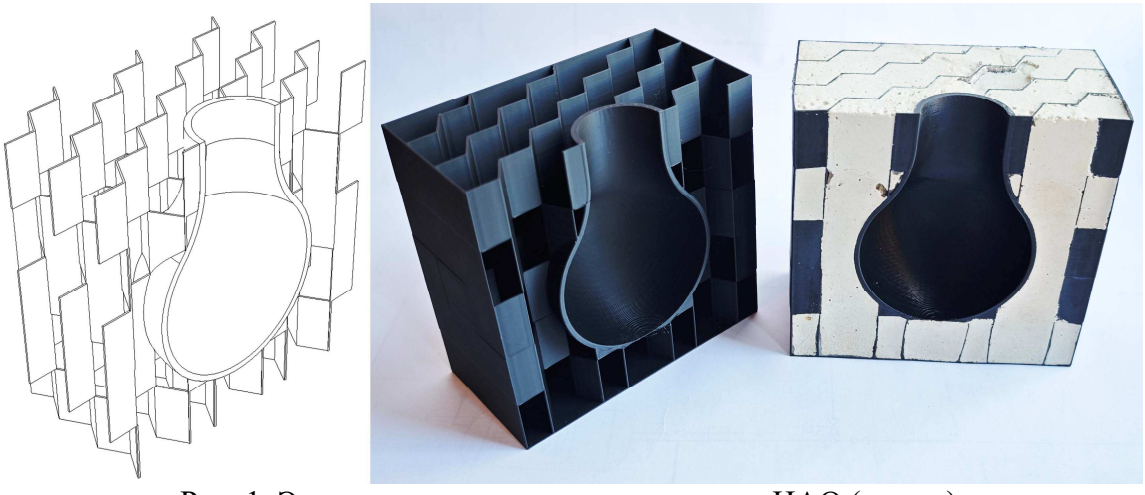


Рис. 1. Этапы создания аппарата на основе НАО (разрез)

В трёхмерной модели задаются технологические каналы, реакционные объёмы, зоны смешения, полости охлаждения, дренаж, а также места размещения датчиков и присоединительных элементов.

Внутри формируется объёмная гексагональная решётка. Она поддерживает тонкостенную оболочку, фиксирует каналы и создаёт каркас для

заливки. Решётка позволяет смеси перемещаться сверху вниз и растекаться в боковых направлениях, обеспечивая полноту заполнения.

В опытных работах применена FDM-печать филаментами, армированными стекловолокном или углеродным волокном. Изделие печатается целиком либо разделяется на секции. Секции собираются и склеиваются с сохранением непрерывности каналов и герметичности стыков. Толщина оболочки внешнего каркаса рассчитывается исходя из внутреннего давления среды. Для стыковки нестандартной внутренней геометрии с типовыми соединениями в конструкцию интегрируются металлические присоединительные элементы.

Внутренние поверхности биоморфного гидроциклона были обработаны эпоксидной композицией для перекрытия межслойных пор и повышения герметичности. Затем каркас был заполнен полимербетонной смесью. В экспериментальных образцах доля эпоксидного связующего составляла приблизительно 23 % от массы минеральной смеси, основным компонентом которой является кварцевый песок фракции 0,4-0,8 мм твёрдостью 7 по шкале Мооса. После заливки полимерная структура НАО не удаляется: оболочка задаёт геометрию и герметизирует каналы, решётка участвует в армировании, полимербетон воспринимает основные нагрузки. Срок отверждения композитной структуры НАО при изготовлении экспериментальных образцов составил 48 часов.

При этом НАО не следует рассматривать как замену любому металлическому аппарату. Это нишевая технология, и её применение требует расчёта прочности, исследования долговечности, оценки химической, биологической и температурной стойкости.

Рассмотрена задача, связанная с выщелачиванием и биовыщелачиванием ценных и особо ценных металлов из твёрдого неорганического материала – рудных хвостов. В этих процессах через оборудование перемещаются агрессивные суспензии с твёрдыми абразивными частицами. Наиболее интенсивный износ возникает там, где поток резко меняет направление или локально ускоряется. Предложенная разработка наиболее полезна для гидроциклонов, у которых проявляется проблема низкой долговечности проточных частей – входных патрубков, песковых насадок и сливных патрубков. В конструкции предлагаемого биоморфного гидроциклона, выполненного по технологии НАО (рис. 2), использованы два взаимодополняющих механизма защиты.

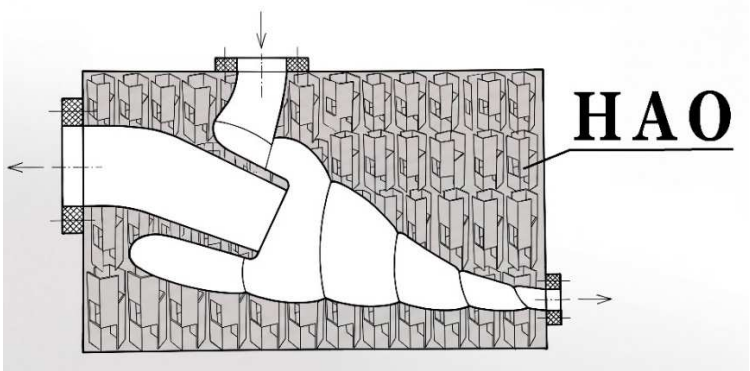


Рис. 2. Эскиз конструкции биоморфного гидроциклона, выполненного по технологии НАО

Первый механизм связан с прочностью материала. За тонкой, истираемой потоком полимерной оболочкой располагается абразивостойкий массив полимербетона, содержащий кварцевый песок или электрокорунд.

Второй механизм заключается в защите от биологической выщелачивающей и коррозионной активности микроорганизмов, которые могут присутствовать в проходящем потоке и закрепляться на стенках гидроциклона. Прежде всего это относится к стенкам, которые подвергаются наибольшему износу и приобретают шероховатую поверхность, способствующую адгезии. По литературным данным, наибольшую активность в технологии биовыщелачивания металлов проявляют две группы микроорганизмов, принципиально различающиеся по своим характеристикам и проводимым процессам:

• сульфатредуцирующие, образующие коррозионно-агрессивный сероводород в анаэробных условиях;

• ацидофильные тионовые железоокисляющие, образующие серную кислоту и окисляющие железо.

Противостоять указанному коррозионному воздействию может либо легированная сталь, либо полимербетон, в который против каждой из этих групп могут быть введены специфические добавки. Так, согласно [3], хром и никель ингибируют жизнедеятельность железоокисляющих бактерий.

Возвращаясь к конструкции биоморфного гидроциклона, выполненного по технологии НАО (рис. 2), необходимо обратить внимание на то, что в массив НАО дополнительно устанавливаются ступенчатые датчики глубины износа, интегрированные в систему КИПиА. Датчик использует электропроводность технологической среды (пульпы) в качестве элемента измерительной цепи. Электродом сравнения служит стальной трубопровод, подводящий пульпу к диэлектрическому биоморфному гидроциклону. Чувствительный элемент – группа из нескольких электродов из нержавеющей стали, заделанных в массив НАО, образующий стенку гидроциклона, со стороны за рабочей поверхностью, с торцами на разных расстояниях от внутренней поверхности. Электроды окружены слоем диэлектрического полимербетона, заполняющего внутренний массив НАО. Когда износ достигает электрода, тот вступает в контакт с электролитом, и сопротивление цепи «электрод – среда – электрод сравнения» скачкообразно падает. Число сработавших каналов определяет глубину износа. Принцип изготовления гидроциклона по технологии НАО позволяет устанавливать датчики износа во все места, где ожидается наиболее интенсивный износ стенки, а низкая стоимость самих датчиков позволяет организовать полный контроль аппарата в зонах, наиболее подверженных абразивному разрушению.

Таким образом, НАО предлагает комплексное решение, объединяющее защитный массив, уникальную биоморфную геометрию каналов, абразивную и биологическую устойчивость, дополненную контролем состояния.

Список литературы

1. Быков Д.Е.Разработка биоморфного узла дренажной ёмкости с применением неизвлекаемой армирующей опалубки / Д.Е. Быков, Д.В. Лещенко,

Н.М. Максимов [и др.] // Научный журнал Российского газового общества. – 2025. – № 2(48). – С. 86–95. – EDN KNLUVV.

2. Лещенко Д.В. Разработка биоморфного узла трубной обвязки, сформированного неизвлекаемой армирующей опалубкой / Д.В. Лещенко, Н.М. Максимов, В.А. Тыщенко [и др.] // Научный журнал Российского газового общества. – 2026. – № 2(52). – С. 76-82. – EDN YVTITZ.

3. Ахметов Л.И. Токсичность никеля для тионовых бактерий / Л.И. Ахметов, А.Г. Быков, М.Б. Вайнштейн [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2010. – № 1. – С. 167-174. – EDN MUYVQL.

СОРБЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРАНУЛИРОВАННОГО ИЕРАРХИЧЕСКОГО ЦЕОЛИТА ZSM-5 ПО ОТНОШЕНИЮ К РАДИОНУКЛИДАМ ^{137}Cs

А.Р. Исхаков[1], Н.Н. Габов[2], М.Ш. Булатова[3], О.С. Травкина[1,2]
[1] Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН, г. Уфа
[2] Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа
[3] Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

Аннотация. *В данной работе изучены сорбционные характеристики гранулированного иерархического цеолита NaZSM-5 с высокой степенью кристалличности (NaZSM-5h) по отношению к долгоживущему радионуклиду ^{137}Cs. Определены коэффициенты распределения ^{137}Cs в растворах $NaNO_3$ различной концентрации. Установлено, что в условиях низкой ионной силы (0,1 моль/дм^3 $NaNO_3$) значение K_d составляет 1300 ± 200 см^3/г. При повышении концентрации $NaNO_3$ до 1,0 моль/дм^3 K_d снижается до 93 ± 2 см^3/г, однако остаётся выше, чем у клиноптилолита и цеолита NaA. Показано, что образец NaZSM-5h обладает выраженной сорбционной активностью и относительно высокой устойчивостью к конкурентному влиянию ионов натрия. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения упомянутого цеолита в качестве сорбента для очистки сточных вод от ^{137}Cs.*

Ключевые слова: *гранулированный иерархический цеолит ZSM-5, сорбционные способности, долгоживущий радионуклид ^{137}Cs, очистка.*

Цеолит ZSM-5 (структурный тип MFI) традиционно применяется в качестве высокоэффективного катализатора в процессах нефтепереработки и нефтехимии. Вместе с тем данный материал представляет значительный интерес для решения задач дезактивации жидких радиоактивных отходов, содержащих долгоживущие радионуклиды – ^{90}Sr и ^{137}Cs [1, 2]. Обеспечение эффективной очистки таких отходов является одной из приоритетных задач обеспечения экологической безопасности объектов ядерной энергетики [1, 3].

Цеолиты привлекательны для этих целей благодаря высокой химической и термической устойчивости, радиационной стойкости, развитой удельной поверхности и способности к селективному ионному обмену [1, 3, 4]. Основными механизмами извлечения радионуклидов являются ионный обмен и

хемосорбция. Катионы $^{137}Cs^{+}$ и $^{90}Sr^{2+}$, присутствующие в водных растворах, замещают компенсирующие катионы (Na^{+}, K^{+}, H^{+}) в кристаллической решётке цеолита [2, 4].

Цеолит ZSM-5 характеризуется высоким мольным отношением Si/Al, что обусловливает низкую плотность кислотных центров, а также относительно узкими порами (диаметр ≈ 5,5 Å). Указанные особенности затрудняют диффузию крупных гидратированных ионов Cs^{+} и Sr^{2+} [2]. Тем не менее цеолит ZSM-5 способен адсорбировать данные радионуклиды преимущественно за счёт поверхностного ионного обмена [5].

Целью работы являлось изучение сорбционной способности гранулированного иерархического цеолита NaZSM-5 с высокой степенью кристалличности (NaZSM-5h) по отношению к ионам цезия (^{137}Cs).

Образец NaZSM-5h получали по методике, описанной в [6]. Удельную активность ^{137}Cs в растворах определяли прямым радиометрическим методом с использованием спектрометрического комплекса СКС-50М («Грин стар технолоджиз», г. Москва). По результатам анализов рассчитывали значения коэффициентов распределения (K_d) радионуклидов ^{137}Cs. Для получения сравнительных характеристик образца NaZSM-5h в аналогичных условиях проводили сорбцию ^{137}Cs на следующих сорбентах:

- КЛ – природный клиноптилолит Холинского месторождения (Читинская обл.);
- NaA - синтетический цеолит А, ТУ 2163-003-15285215-2006, промышленная партия, производитель ООО «ИСХЗК» (Республика Башкортостан).

Значения K_d ^{137}Cs на различных образцах сорбентов в растворах нитрата натрия с концентрацией 0,1 и 1,0 моль/дм^3 приведены в таблице.

Коэффициенты распределения ^{137}Cs

Наименование образца	Значение K_d ^{137}Cs, см^3/г при сорбции из раствора	
	0,1 моль/дм^3 $NaNO_3$	1,0 моль/дм^3 $NaNO_3$
NaZSM-5h	1300±200	93±2
КЛ	1800±100	64±3
NaA	680±20	20±2

Показано, что цеолит NaZSM-5h обладает выраженной сорбционной активностью по отношению к ^{137}Cs. В растворе с низкой ионной силой (0,1 моль/дм^3 $NaNO_3$) коэффициент распределения K_d составляет 1300 ± 200 см^3/г, что сопоставимо с показателями клиноптилолита и существенно превышает значения, характерные для цеолита NaA.

При повышении концентрации $NaNO_3$ до 1,0 моль/дм^3 наблюдается ожидаемое снижение сорбционной способности всех исследованных материалов вследствие конкурентного влияния ионов натрия. Однако NaZSM-5h сохраняет более высокое значение K_d (93 ± 2 см^3/г) по сравнению с клиноптилолитом и

особенно с цеолитом NaA. Это свидетельствует о повышенной устойчивости его сорбционных свойств к увеличению ионной силы раствора.

Полученные результаты позволяют рассматривать цеолит NaZSM-5h в качестве перспективного сорбента для очистки сточных вод от ^{137}Cs, особенно в условиях повышенной концентрации конкурирующих катионов.

Список литературы

1. Jiménez-Reyes M., Almazán-Sánchez P.T., Solache-Ríos M. Radioactive waste treatments by using zeolites. A short review // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – Vol. 233. – P. 106610.

2. Kwon S., Kim C., Han E., Lee H., Cho H.S., Choi M. Relationship between zeolite structure and capture capability for radioactive cesium and strontium // Journal of Hazardous Materials. – 2021. – Vol. 408. – P. 124419.

3. Hao W., Zhang J., Yan W. Application of zeolite in the radioactive wastewater treatment // Chinese Science Bulletin. – 2024. – Vol. 69. – P. 2221-2232.

4. Munthali M.W., Johan E., Aono H., Matsue N. Cs^{+} and Sr^{2+} adsorption selectivity of zeolites in relation to radioactive decontamination // Journal of Asian Ceramic Societies. – 2015. – Vol. 3. – P. 245-250.

5. Gao X., Zhang P., Yang J., Sun X., Fu Y., Shi K., Chai Z., Wu W. A novel approach for the removal of radiocesium from aqueous solution by ZSM-5 molecular sieve // Applied Radiation and Isotopes. – 2018. – Vol. 139. – P. 1-7.

6. Патент РФ № 273935.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ОКСИТЕТРАЦИКЛИНА ПРИРОДНЫМ БЕНТОНИТОМ

М.М. Герцен, Л.В. Переломов
ФГБОУ ВО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого»,
г. Тула

Аннотация. *Установлено, что адсорбция окситетрациклина на природном бентоните является спонтанным ($\Delta G^0 < 0$) эндотермическим процессом ($\Delta H > 0$). Положительные значения ΔS указывают на то, что адсорбция протекает по энтропийному механизму, обусловленному десорбцией структурированных молекул воды из межслоевого пространства при замещении их молекулами антибиотика. Высокие значения энтальпии свидетельствуют о наличии специфических взаимодействий или хемосорбции, что подтверждает высокую эффективность бентонита как перспективного сорбента для очистки водных сред от антибиотиков.*

Антибиотики представляют собой биологически активные соединения, широко применяемые для профилактики и лечения инфекционных заболеваний и в качестве стимуляторов роста сельскохозяйственных животных и гидробионтов, выращиваемых в искусственных условиях. Масштабное применение антибиотиков в медицине и сельском хозяйстве приводит к загрязнению водных экосистем, стимулируя развитие глобальной

антибиотикорезистентности. Основными источниками поступления препаратов в среду являются сточные воды медицинских, фармацевтических и агропромышленных предприятий [1]. Следы антибиотиков обнаруживаются в различных природных матрицах, включая почвы, поверхностные и подземные воды, что способствует формированию устойчивого загрязнения [2]. Среди существующих методов ремедиации наиболее перспективной является сорбционная очистка с использованием природных алюмосиликатов [3]. Применение таких минералов, как монтмориллонит и каолинит, позволяет эффективно удалять загрязнители за счет ионного обмена в межслоевом пространстве. Низкая стоимость и технологическая простота данного метода делают его оптимальным для практического внедрения в системы очистки. Целью данной работы является оценка поглощения окситетрациклина природным бентонитом и оценка термодинамических параметров адсорбции при различных температурах.

Объектом исследования являлся природный бентонит Саригюхского месторождения. Химический состав (по данным производителя): SiO_2 – 58,3%; Al_2O_3 14,3%; Fe_2O_3 4,4%; MgO 3,6%; Na_2O 2,3%; K_2O 1,2%; CaO 2,1%. Модельный антибиотик – окситетрациклина гидрохлорид. Для определения концентрации антибиотика в растворе использовали метод ВЭЖХ (SHIMADZU Prominence 20 LC с диодно-матричным детектором (DAD)). Условия хроматографии: подвижная фаза – 0,01 М раствор щавелевой кислоты : ацетонитрил : метанол (150 : 20 : 20); колонка Luna C18(2), 250 × 4,6 мм, 5 мкм; температура колонки 20 °C; длина волны детекции 360 нм; скорость потока 1,3 мл/мин. Для определения термодинамических параметров адсорбции окситетрациклина на природном бентоните рассчитывали стандартную энергии Гиббса (формула 1), ΔH по регрессии ln $K_л$ от 1/T и ΔS (формула 2).

$$\Delta G=-RT\ln c \quad (1)$$

где ΔG – энергия Гиббса, кДж/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура, 298 °К; c – константа уравнения Ленгмюра.

$$\Delta G=\Delta H-T\Delta S \quad (2)$$

где ΔG – энергия Гиббса, кДж/моль; ΔH – изменение энтальпии, кДж/моль; ΔS – изменение энтропии, Дж/(моль·К).

Полученные данные представлены в таблице.

Термодинамические параметры процесса адсорбции окситетрациклина на природном бентоните

T, К	ΔG^0, кДж/моль	ΔH	ΔS
283	-15.35 ± 0.08	68± 4	294 ± 7
293	-20.47 ± 0.06		302 ± 5
303	-21.19 ± 0.09		294 ± 6

Отрицательные значения ΔG^0 в исследованном диапазоне температур (283-303 К) указывают на то, что процесс адсорбции является спонтанным. Величина ΔG^0 увеличивается с повышением температуры, что соответствует

эндотермическому процессу. Положительное значение ΔH подтверждает эндотермический характер адсорбции. Высокая энтальпия предполагает, что взаимодействие между окситетрациклином и бентонитом представляет собой не просто физическую адсорбцию, а включает хемосорбцию или специфические взаимодействия [4]. Кроме того, положительные значения ΔS (в диапазоне от 294 до 302 Дж/(моль·К)) указывают на значительное увеличение разупорядоченности системы на границе раздела «твердое тело-жидкость» во время процесса адсорбции. Вероятно, это увеличение энтропии обусловлено десорбцией высокоупорядоченных молекул воды из гидратационных оболочек и межслоевых пространств бентонита, поскольку более крупные молекулы антибиотика занимают адсорбционные участки. Высвобождение этих структурированных молекул воды в раствор значительно увеличивает хаотичность системы, приводя к эндотермическому процессу адсорбции посредством энтропийного механизма.

Список литературы

1. Bai H. Airborne antibiotic resistome and microbiome in pharmaceutical factories / Bai H. [et al.] //Environment International. – 2024. – Т. 186. – С. 108639.

2. Liang Z. et al. Pollution profiles of antibiotic resistance genes associated with airborne opportunistic pathogens from typical area, Pearl River Estuary and their exposure risk to human //Environment International. – 2020. – Т. 143. – С. 105934

3. Соколова Л.И. Использование природных алюмосиликатов для очистки сточных вод от антибиотиков различных классов // Л.И. Соколова [и др.] Гидрометеорология и экология. – 2021. – №. 62. – С. 113-126.

4. Song Y. Adsorption of oxytetracycline on kaolinite / Y. Song [et al.] // PLoS One. – 2019. – Т. 14. – №. 11. – С. e0225335.

РАЗРАБОТКА И ЛАБОРАТОРНАЯ ОЦЕНКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕАГЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

А.Ф. Акбарова
НИПИ «Нефтегаз», SOCAR,
г. Баку, Азербайджан

Аннотация. *Рассмотрены результаты лабораторных испытаний реагента АДИ-1 на основе гипохлорита натрия, аммофоса и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы для комплексной обработки нефтепромысловых вод. Исследованы пробы восьми скважин и модельная солевая система. По представленным экспериментальным данным, при исходной концентрации H_2S 600 мг/л ингибирование солеотложения достигало 100 % при дозе 200 г/т, а остаточный сероводород не определялся при 300 г/т. В промысловых пробах дозы, соответствующие отсутствию определяемого остаточного H_2S, составляли 25–300 г/т; эффективность ингибирования солеотложения при 300 г/т достигала 90–99 %. Показана необходимость индивидуального подбора дозы. Количественная проверка расхода окислителя и повторные испытания необходимы для подтверждения результатов.*

Ключевые слова: *нефтепромысловые сточные воды, сероводород, солеотложение, многофункциональный реагент, очистка воды, устойчивое природопользование.*

Введение.

На поздней стадии разработки нефтяных месторождений рост обводнённости продукции приводит к увеличению объёмов попутно добываемой воды, усложняет её подготовку и последующее обращение с ней. Особенно существенны два взаимосвязанных фактора: присутствие растворённого сероводорода и образование минеральных и сульфидных отложений при изменении температуры, давления и смешении вод различного состава. Эти процессы затрудняют работу промысловых коммуникаций, насосного оборудования и узлов подготовки воды [1-3].

Для рационального природопользования важны не только удаление загрязняющих компонентов, но и предупреждение образования твёрдых фаз, способных ухудшить последующее водоочистное оборудование и увеличить количество осадка. Цель настоящей работы – оценить в лабораторных условиях возможность одновременной нейтрализации сероводорода и ингибирования солеотложения при обработке нефтепромысловых вод многофункциональным реагентом АДИ-1.

Материалы и методы.

Объектами исследования служили воды восьми эксплуатационных скважин площади I месторождения Карачухур. Они представлены главным образом хлоркальциевым и гидрокарбонатно-натриевым типами. Обводнённость отобранной продукции находилась в диапазоне 95,9-99,6 % (в среднем около 98,5 %), а исходная концентрация сероводорода – от 10-15 до 306 мг/л. При смешении разных типов вод наблюдалось образование серо-чёрной взвеси, что указывает на необходимость комплексного контроля состава жидкости и твёрдых примесей.

Реагент АДИ-1 представляет собой водорастворимую композицию на основе гипохлорита натрия, аммофоса и натриевой соли карбоксиметил-целлюлозы. По исходным данным препарат имеет pH 9-10 и плотность 1200-1225 кг/м³ при 20 °C. Массовые доли отдельных компонентов в исходных экспериментальных материалах не приведены; поэтому результаты следует рассматривать как оценку конкретного лабораторного образца, а не воспроизводимую рецептуру.

Для модельного испытания смешивали равные объёмы двух солевых растворов: первый содержал $NaHCO_3$ (2,4 г/л), второй – $CaCl_2$ (2,92 г/л), $MgCl_2·6H_2O$ (4,26 г/л) и NaCl (40,4 г/л). В систему вводили 5 об. % нефти, создавали исходную концентрацию H_2S 600 мг/л и выдерживали смесь 6 ч при 80 °C. Остаточный сероводород в модельных и промысловых пробах определяли йодометрическим методом. Эффективность предотвращения солеотложения оценивали по изменению концентрации растворённого кальция относительно контрольной пробы без реагента. Дозы АДИ-1 изучали преимущественно в диапазоне 10-300 г/т.

Результаты и обсуждение.

По представленным экспериментальным данным, в модельной воде наблюдалось повышение обоих показателей с увеличением дозировки. При

расходе 100 г/т ингибирование солеотложения достигало 82,5 %, а нейтрализация H_2S – 40,5 %. При 200 г/т зарегистрировано 100 % ингибирование солеотложения, тогда как отсутствие определяемого остаточного H_2S отмечено при 300 г/т. Указанные результаты характеризуют лабораторные наблюдения, однако из-за отсутствия сведений об активном хлоре и массовом составе реагента невозможно независимо проверить стехиометрическое соответствие заявленной дозы исходному количеству сероводорода.

При испытаниях на реальных пробах потребность в реагенте существенно различалась. Минимальная доза, при которой остаточный H_2S не обнаруживался применённым методом, составила 25 г/т для скважины № 879; 50 г/т – для № 302 и 318; 100 г/т – для № 402; 250 г/т – для № 857, 275 и 279; 300 г/т – для № 250. Наибольший расход соответствовал пробе с исходным содержанием H_2S 306 мг/л. При единой дозе 300 г/т эффективность ингибирования солеотложения во всех восьми пробах составляла 90,0-99,0 %.

Для наглядности результаты промысловых испытаний сведены в табл. 1. Значения отражают лабораторные конечные точки: отсутствие определяемого остаточного сероводорода и относительное сохранение кальция в растворе, но не подтверждают долговременную эффективность на технологическом объекте.

Таблица 1

Результаты лабораторной обработки промысловых вод реагентом АДИ-1

Скважина	H_2S исходный, мг/л	Доза при отсутствии определяемого H_2S, г/т
250	306	300
857	153	250
402	35	100
275	120	250
279	80	250
302	20	50
318	30	50
879	10–15	25

Предполагаемое действие композиции связано с окислением растворённого сульфида гипохлоритом и влиянием фосфатного и полимерного компонентов на зародышеобразование и рост минеральных кристаллов. Вместе с тем эти механизмы в данной серии опытов не подтверждены прямым определением продуктов окисления и минералогического состава осадков. Угнетение сульфатвосстанавливающих бактерий также нельзя считать экспериментально доказанным без измерений микробиологических показателей после обработки.

Экологическая значимость подхода заключается в потенциальном сокращении числа отдельных стадий химической обработки и более адресном расходовании реагента при подготовке попутно добываемой воды. Однако нейтрализация H_2S не тождественна полной экологической безопасности очищенной воды. Перед промышленным внедрением необходимо изучить возможное образование окисленных соединений серы, остаточное активное

хлорсодержащее окислительное действие, поступление фосфорсодержащих соединений, коррозионную активность и влияние на дальнейшую очистку или утилизацию воды. Данные лабораторного исследования не позволяют пока количественно оценить экологический эффект.

Выводы.

По представленным лабораторным данным реагент АДИ-1 проявил способность снижать определяемое содержание сероводорода и ингибировать солеотложение в модельной системе и промысловых водах. В модельной системе при 600 мг/л H_2S полное ингибирование солеотложения зарегистрировано при 200 г/т, отсутствие определяемого остаточного H_2S – при 300 г/т. Для восьми промысловых проб соответствующая доза составляла 25-300 г/т, а при 300 г/т эффективность ингибирования солеотложения – 90-99 %. Результаты указывают на необходимость выбора дозы с учётом состава воды. Для подтверждения химической обоснованности и промышленной применимости необходимы уточнение содержания активного вещества, проверка материального баланса окислителя, повторные испытания и анализ продуктов реакции.

Список литературы

1. Kelland M.A. Production Chemicals for the Oil and Gas Industry. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. DOI: 10.1201/b16648.

2. Crabtree M. Fighting scale: Removal and prevention / M. Crabtree, D. Eslinger, P. Fletcher [et al.] // Oilfield Review. – 1999. – Vol. 11, No. 3. – P. 30-45.

3. Frenier W.W., Ziauddin M. Formation, Removal, and Inhibition of Inorganic Scale in the Oilfield Environment. Richardson: Society of Petroleum Engineers, 2008.

4. Muyzer G. The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria / G. Muyzer, A.J.M. Stams // Nature Reviews Microbiology. – 2008. – Vol. 6. – P. 441-454. DOI: 10.1038/nrmicro1892.

5. Акбарова А.Ф. Removal of scaling by a new reagent in oil fields at a late stage of exploitation / А.Ф. Акбарова // Bulatov Readings. – 2020. – № 2. – С. 43-47.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ И ТЕХНОЛОГИИ МИНИМИЗАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ЛАКОКРАСОЧНЫХ РАБОТАХ

М.М. Лукьянов, А.В. Волков
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Рассмотрен состав атмосферных загрязнений при выполнении лакокрасочных работ, оценены связанные с этим экологические и медико-биологические риски. Изложен механизмы воздействия летучих органических соединений, аэрозольных частиц и тяжелых металлов на окружающую среду и здоровье человека. Обоснована необходимость перехода от изолированных систем газоочистки к комплексному подходу, включающему внедрение наилучших доступных технологий и использование экологически безопасных*

материалов – водно-дисперсионных, порошковых. Применение данных решений формирует научную и технологическую основу для снижения антропогенной нагрузки в машиностроении, судостроении и строительной индустрии.

Лакокрасочные работы (ЛКР) – неотъемлемый этап технологий машиностроения, судостроения, производства строительных материалов и конструкций. Уровень экологической безопасности на данных производствах определяется не только выполнением нормативов, но и масштабом внедрения технологий, позволяющих минимизировать выбросы токсичных веществ, формировать барьеры на пути их распространения. Несмотря на глобальный тренд на экологизацию производства и разработку водно-дисперсионных материалов, значительная доля промышленных работ по-прежнему выполняется с использованием органорастворимых лакокрасочных материалов (ЛКМ).

В условиях промышленного развития регионов, особую значимость приобретает проблема неконтролируемых выбросов при покраске, которые не только превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны, но и способствуют формированию фотохимического смога. Актуальность исследований по данной проблематике подтверждается необходимостью соблюдения требований Федерального закона № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» и СанПиН 1.2.3685-21, где отмечается необходимость совершенствования методов снижения экологических рисков для повышения объективности оценки воздействия на окружающую среду [1, 2].

Итак, *объектом исследования* выступает атмосферный воздух в зоне влияния источников выбросов при выполнении ЛКР. *Предмет исследования* – механизмы воздействия загрязняющих веществ, образующихся в процессе нанесения и сушки ЛКМ, на окружающую среду. *Цель исследования* – количественная оценка экологических рисков, сопряжённых с покрасочными работами.

Источники и состав загрязняющих веществ. Процесс образования загрязнений при ЛКР носит комплексный характер и определяется физико-химическими свойствами применяемых материалов. Любой жидкий ЛКМ представляет собой многокомпонентную дисперсную систему, включающую пленкообразующие вещества, пигменты, наполнители и летучие компоненты – растворители и разбавители. Массовая доля растворителей в традиционных эмалях и грунтах может достигать 30-70 %. При пневматическом или безвоздушном распылении, а также в процессе естественной или термической сушки, происходит интенсивная десорбция летучих компонентов в окружающую среду.

Все выбросы при покрасочных работах делят на три группы:

• *паро- и газообразные вещества* (летучие органические соединения, ЛОС); к ним относят ароматические углеводороды (толуол, ксилол, бензол), кетоны (ацетон, метилэтилкетон), сложные эфиры (бутилацетат) и спирты; они переходят в газообразную фазу при испарении растворителей;

• *«окрасочный туман»*; образуются вследствие неполного осаждения капель ЛКМ на окрашиваемую поверхность (коэффициент переноса при пневматическом распылении составляет 30-50%); остальная часть материала зависает в воздухе в виде мелкодисперсного тумана;

• *твёрдые частицы*, в состав которых входят токсичные металлы; речь идёт о пигментной пыли, образующаяся при шлифовке покрытий, а также об испарении соединений тяжелых металлов (свинец, хром, цинк), которые входят в состав антикоррозийных грунтовок и промышленных эмалей.

Некоторые характеристики указанных групп загрязняющих воздух веществ (согласно ГОСТ 12.1.007-76, [3]), определяющие уровни экологических и гигиенических рисков, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные загрязняющие вещества, выделяющиеся при выполнении лакокрасочных работ

Загрязняющее вещество	Химическая группа	Источник в составе ЛКМ	$ПДК_{м.р.}$ (атм. воздух), мг/м^3	Класс опасности (воздух рабочей зоны)
Толуол	Ароматические углеводороды	Растворитель	0,6	3
Ксилол	Ароматические углеводороды	Растворитель	0,2	2
Ацетон	Кетоны	Растворитель, разбавитель	0,35	4
Бутилацетат	Сложные эфиры	Растворитель	0,1	4
Окрасочный туман (взвешенные вещества)	Дисперсная система (аэрозоль)	Пневматическое распыление ЛКМ	0,15 (в пересчете на пыль)	3-4
Соединения свинца (в пересчете на *Pb*)	Тяжелые металлы	Антикоррозийные грунты, шпатлевки	0,0003	1

Согласно данным табл. 1, наиболее жесткие нормативы установлены для ароматических углеводородов (ксилол, толуол) и соединений тяжелых металлов. Именно они представляют наибольшую угрозу при аварийных выбросах или неэффективной работе систем вентиляции.

Экологические и медико-биологические риски. Выбросы, образующиеся при лакокрасочных работах, оказывают комплексное негативное воздействие на компоненты биосферы.

Часто экологические риски делят на три группы: обусловленные влиянием на атмосферный воздух (фотохимический смог), на здоровье человека и определяющие деградацию экосистем.

Летучие органические соединения (ЛОС), в частности, толуол и ксилол, являются активными прекурсорами в атмосферных реакциях. Под воздействием ультрафиолетового излучения и в присутствии оксидов азота (NOx), ЛОС вступают в реакции фотохимической трансформации. Результатом этих процессов является образование вторичных загрязнителей, главным из которых является приземный озон (O3), а также пероксиацетилнитраты. Формирование фотохимического смога не только снижает прозрачность атмосферы, но и

приводит к фитотоксическому эффекту – повреждению листовой пластины растений и снижению их фотосинтетической активности [4].

Для человека – как для персонала в воздухе рабочей зоны, так и для населения в селитебной зоне – основную опасность представляет ингаляционный путь поступления токсикантов. В результате возможны следующие характерные реакции организма:

• *острое воздействие*; высокие концентрации ароматических углеводородов и кетонов вызывают наркотический эффект, угнетение центральной нервной системы, головокружение и раздражение слизистых оболочек;

• *хроническое воздействие*; длительная экспозиция приводит к гепатотоксическому и нефротоксическому эффектам; особую опасность представляют соединения свинца и хрома, обладающие выраженным кумулятивным, мутагенным и канцерогенным действием;

• *реакции, обусловленные аэрозолями*; мелкодисперсный – менее 10 мкм – «окрасочный туман» проникает в глубокие отделы дыхательных путей, в т.ч. альвеолы, обеспечивая поступление токсичных растворителей непосредственно в кровеносное русло.

Часть аэрозольных частиц и парогазовой фазы осаждается на прилегающих территориях в виде «сухих» и «мокрых» выпадений. Тяжелые металлы и стойкие органические соединения, накапливаясь в почве, могут мигрировать в грунтовые воды и поверхностные водоемы, нарушая трофические цепи экосистем.

Нормативное регулирование и технологии минимизации рисков. Снижение экологических рисков при выполнении ЛКР регламентируется Федеральным законом № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» [1] и СанПиН 1.2.3685-21 [2]. На современных промышленных предприятиях внедрение систем газоочистки базируется на принципах наилучших доступных технологий (НДТ). Традиционные методы очистки, например, простые циклоны, неэффективны против парогазовой фазы ЛОС. Поэтому современные окрасочные комплексы используют многоступенчатые системы очистки, эффективно улавливающие:

• *аэрозоли*; эту задачу решают сухие фильтры из стекловолокна или водяные завесы (гидрофильтры), которые улавливают до 95-98 % окрасочного тумана;

• *летучие органические соединения*; для этого применение находят адсорбционные методы – угольные адсорберы с десорбцией и рекуперацией растворителей, а также методы термического окисления – регенеративные термоокислители (*RTO*), обеспечивающие разрушение ЛОС на 95-99 %.

Однако наиболее радикальным путем снижения рисков является изменение самих материалов и методов нанесения. В табл. 2 представлено сравнение традиционных и современных технологий, с точки зрения их экологической безопасности.

Согласно данным табл. 2, переход на порошковые и водно-дисперсионные технологии позволяет не только кратно снизить выбросы ЛОС, но и уменьшить образование твердых отходов за счет повышения коэффициента переноса материала.

Таблица 2

Сравнительная характеристика традиционных и экологически безопасных технологий окраски

Технология и материал	Массовая доля ЛОС, %	Коэффициент переноса краски на изделие, %	Необходимость в сложной газоочистке	Уровень экологического риска
Пневматическое распыление сольвентных эмалей	50-70	30-45	Высокая (требуются *RTO* / угольные фильтры)	Высокий
Безвоздушное распыление сольвентных эмалей	40-60	50-65	Средняя	Средний
Электростатическое распыление	30-50	70-85	Средняя	Ниже среднего
Водно-дисперсионные ЛКМ	5-15	0-70 %	Низкая (достаточно стандартной вентиляции)	Низкий
Порошковая окраска	0 % (отсутствуют растворители)	60-80 (неиспользованный порошок возвращается)	Минимальная (только улавливание пыли)	Минимальный
ЛКМ с высоким сухим остатком (*High Solid*)	20-30	60-75	Средняя	Ниже среднего

Итак, выполнение лакокрасочных работ является значимым источником загрязнения атмосферного воздуха, сопровождающимся выбросами летучих органических соединений, аэрозольных частиц и токсичных металлов. Эти загрязнения выступают фактором риска формирования фотохимического смога, оказывают выраженное токсическое и канцерогенное воздействие на организм человека и способствуют деградации почвенно-растительного покрова.

Анализ показывает, что изолированное использование систем газоочистки не способно полностью нивелировать экологические риски. Необходим комплексный подход, включающий строгий технологический контроль (внедрение НДТ, использование многоступенчатых фильтров) и стратегический переход лакокрасочной отрасли на экологически безопасные материалы (водные, порошковые, УФ-отверждаемые композиции). Только сочетание нормативного регулирования и инновационных материальных решений позволит обеспечить экологическую безопасность при проведении окрасочных работ.

Список литературы

1. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (с изм. и доп.).

2. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

3. ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

4. Власов А.С. Экологические проблемы лакокрасочных производств и пути их решения / А.С. Власов, И.В. Петрова // Промышленная экология. – 2022. – № 4. – С. 45-51.

5. Справочник НДТ ИТС 33-2017 «Производство изделий из пластмасс и применение лакокрасочных материалов, нанесение металлических и пластмассовых покрытий». – М.: Бюро НДТ, 2017. – 210 с.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЁМА ИЗВЕСТКОВОГО ГЕОХИМИЧЕСКОГО БАРЬЕРА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО НЕЙТРАЛИЗАЦИЮ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ГРУНТОВЫХ ВОДОТОКОВ

И.А. Ерёмчев[1], Р.Д. Иванов[2], А.В. Волков[1]
[1] Тульский государственный университет,
г. Тула
[2] Балтийский федеральный университет имени И. Канта,
г. Калининград

Аннотация. *Рассмотрена проблема загрязнения водных потоков серной кислотой при окислении сульфидных минералов на россыпных месторождениях и метод нейтрализации с помощью известняковых геохимических барьеров. Выполнен расчёт времени нейтрализации, включающий определение коэффициента фильтрации, применение закона Дарси, вычисление скорости гетерогенной реакции и площади поверхности зёрен известняка.*

В настоящее время одной из острых проблем горнодобывающей промышленности, в частности, для россыпных месторождений, является загрязнение водных потоков тяжёлыми металлами и кислотами. Они образуются в результате химических реакций с нерудными минералами, находящимися во вмещающих породах, или с минералами спутниками, например, пиритом – минералом сульфидом железа. В результате его окисления происходит образование серной кислоты и выделение ионов железа (Fe^{2+}, Fe^{3+}). Ионы железа, в совокупности с пониженным *pH* в результате воздействия серной кислоты, входят в состав сильно растворимых соединений и негативно воздействуют на окружающую среду, создавая так называемые «мёртвые зоны» в которых отсутствует (минимально присутствует) растительность [1].

Процесс загрязнения, за счёт его генезиса, протекает достаточно продолжительное время, из-за чего требуется обоснование метода нейтрализации загрязнений, который действовал бы, как можно дольше. Одним из таких методов является нейтрализация загрязняющих потоков с помощью геохимических барьеров. Его суть заключается в том, что при контакте с известняком раствора серной кислоты, сера из H_2SO_4 переходит в $CaSO_4$ (гипс) и кристаллизуется на поверхности известняка:

$$CaCO_3(т) + H_2SO_4(р–р) \rightarrow CaSO_4(т) + CO_2(г) + H_2O(ж).$$

Скорость и эффективность данного метода определяется несколькими факторами, в т. ч. толщиной гипсовой корки на известняковой дресве,

размерностью зёрен известняка, концентрацией кислоты и скоростью водного потока. В случае с гипсовой коркой, данный фактор можно опустить, так как для её образования потребуется соблюдение спокойного гидродинамического режима, отсутствие или крайне малое количество переносимых водотоком частиц других минералов и горных пород, что больше подходит для озёр и болот.

Для реализации метода необходима информация о величине *коэффициента фильтрации* раствора через известковый барьер. Данная величина вычисляется по формуле, применяемой для его определения в загрузке с диаметром частиц $d_{ср}$ [2]:

$$Kt = 18 \times m\sqrt{d\text{ср}}\ ,$$

где K_t – коэффициент фильтрации, см/с; m – пористость, доли единицы; $d_{ср}$ – средний диаметр частиц, см.

Кроме того, данный коэффициент можно получить экспериментально, тем самым повысив достоверность расчётов размеров геохимического барьера.

Следующим этапом является перевод единиц измерения коэффициента в м/с и расчёт времени, необходимого для фильтрации раствора через 1 м^3 породы. Для этого привлекается закон Дарси в следующей форме [3]:

$$Q = Kt\ \times F\ \times I\ ,$$

где F – площадь поперечного сечения потока, м^2; I – гидравлический градиент, безразмерная величина, равная отношению перепада напора к длине пути фильтрации (в нашем случае, к 1 м).

Получившееся значение приводится к виду промежутка времени, затраченного на прохождение одного м^3:

$$t = \frac{1}{Q}\ ,$$

где t – промежуток времени контакта раствора с известковым барьером.

Далее, с помощью стандартной формулы для гетерогенных реакций, вычисляется скорость реакции известняка с раствором:

$$U\text{гет} = \frac{\Delta n}{\Delta t \times S}\ ,$$

где Δn – изменение количества вещества, моль; Δt – интервал времени, с; S – площадь поверхности соприкосновения веществ, м^2.

Следующий этап – оценка суммарной площади поверхности зёрен известняка в 1 м^3; данную величину можно получить экспериментально. В итоге, собраны все необходимые данные для расчёта геохимического барьера.

Определим время, которое требуется для нейтрализации раствора, профильтрованного через 1 м^3 известняка по формуле:

$$t\text{куб} = \frac{n}{U\text{гет} \times S\text{куб}}\ ,$$

где n – количество вещества в водотоке, моль; $S_{куб}$ – площадь суммарной поверхностей зёрен известняка в 1 м^3 породы, м^2.

Рассчитанный интервал соотносится со временем, за которое раствор проходит 1 м^3 известняка:

$$V = \frac{t\text{куб}}{t}\ ,$$

где t – промежуток времени контакта раствора с известковым барьером; $t_{куб}$ – время, которое потребуется для нейтрализации раствора, профильтрованного через 1 м^3 известняка.

В итоге, получено значение, представляющее собой минимальное количеством кубических метров, через которые должен пройти раствор с тем, чтобы произошла нейтрализация серной кислоты.

Список литературы

1. Кузнецов Ю.А. Модель образования россыпей золота Бодайбинского района Иркутской области, на примере месторождения «Хлебопёк» / Ю.А. Кузнецов, В.П. Грибанов, С.Д. Варфоломеев, В.Н. Калиниченко, А.А. Мальцев, В.И. Рождествина, В.А. Наумов, А.А. Дубков, А.В. Жабин. – 2024. – С. 4-11.

2. Шарапов Н.М. Использование геохимических барьеров для очистки шахтных и подотвальных вод горных предприятий / Н.М. Шарапов, А.А. Паныч, А.В. Соколов // Водное хозяйство России. – 2016. – № 6. – С. 93-106.

3. Штыков В.И. О расчете размывающих скоростей при проектировании фильтрующих сооружений в связных грунтах / В.И. Штыков, А.Б. Пономарев, Ю.Г. Янко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб: Изд-во ПГУПС, 2021. – Т. 18. – Вып. 2. – С. 303-312. – DOI 10.20295/1815-588X-2021-2-303-312.

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛАВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А.В. Волков
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация**. Рассмотрен предмет научной и практической работы ключевых направлений техносферной безопасности, понимаемой как вид общественного труда по сохранению и воспроизводству характеристик окружающей среды не только через инструментарий деятельности, но и через управления культурой взаимодействия человека и природы.*

Среди ключевых направлений исследований и практической деятельности, объединяемых ныне понятием «техносферная безопасность», видимо, стоит выделить безопасность труда (БТ), охрану труда (ОТ) и экологическую безопасность (ЭП), а также сопряжённые с последней дисциплиной промышленную экологию и охрану окружающей среды (таблица).

В качестве проекций анализа указанной проблематики традиционно рассматривают среду жизнедеятельности, средства и субъектов труда. В большинстве случаев, в таком качестве выступают трудовые коллективы, хотя в таблице, для краткости, используется понятие «человек».

Предположим, что компоненты среды – атмосфера, гидросфера, литосфера и другие – количественно характеризуются параметрами группы A. Тогда под

факторами среды понимаются *скорости изменения* параметров природных компонентов – в пространстве и/или во времени, либо градиенты.

Направления исследований техносферной безопасности и предмет их профессиональной деятельности

Проекции анализа трудовой деятельности		Техносферная безопасность		
		Безопасность труда (БТ)	Охрана труда (ОТ)	Экологическая безопасность (ЭБ)
Среда труда и жизни	Компоненты (A) и факторы среды ($\Delta A/\Delta x$; $\Delta A/\Delta t$)	ПП и РП		Предмет ЭБ
Средства труда	Алгоритмы, технологии, оборудование	Предмет БТ	Риск	Случайные и преднамеренные аварии и катастрофы
Субъект труда	Человек (H): его самочувствие, здоровье, квалификация, трудовой опыт	1 2	Предмет ОТ 3	(Человеческий фактор: $\Delta H/\Delta x$; $\Delta H/\Delta t$) 4

Обозначения: «↑» – вектор воздействий, формирующих риски; A – численный показатель компонента среды; H – численный показатель жизнедеятельности человека; ПП и РП – технологии природо- и ресурсопользования

Чаще всего, в качестве «факторов» выступают *аномальные значения* градиентов – как в большую, так и в меньшую сторону, отсчитываемые от средних величин, за пределами диапазона нормального изменения показателя. Принципиально, тот же подход применяется для характеристики «человеческого фактора», на долю которого приходится около 90 % случайных и преднамеренных технологических аварий и катастроф.

Традиционным предметом анализа БТ выступают воздействия средств труда на самочувствие, здоровье, трудоспособность человека (позиция 1 таблицы); количественной мерой воздействия служат риски неблагоприятных событий. Другими словами, обсуждаются режимы функционирования технологий и оборудования, в аспекте воздействия производственных факторов физической, химической и биологической природы на человека и коллективы. Поэтому работы в этой сфере фокусируются на управлении – через процедуру измерения и нормирования – технологическими воздействиями, по критерию минимизации рисков для человека.

Однако представлена обширная сфера деятельности, в которой чётко провести границу между производственными и экологическими факторами затруднительно. Речь идёт о технологиях природо- и ресурсопользования, включая технологии добычи и переработки минерального сырья (позиция 2 таблицы). В этом случае, пожалуй, следует говорить о смысловой близости указанных категорий, обсуждая влияние природных факторов на человека, например, в ходе работы под открытым небом и в неотапливаемых помещениях.

Знания и квалификации людей, приводящие к нарушению штатных режимов функционирования технологий и оборудования, и, как следствие, к изменению

самочувствия и здоровья персонала – в ближайшей и отдалённой перспективах, включая репродуктивное здоровье, – традиционный предмет ОТ (позиция 3 таблицы). Речь идёт о мерах и способах управления трудовым персоналом, в целях сохранения его здоровья и работоспособности.

Наконец, рассмотрение различных аспектов влияния «человеческого фактора» на режимы технологий и работы оборудования, позволяющие контролировать риски технологических аварий и катастроф, управлять воздействиями на окружающую среду, – предмет экологической безопасности и сопряжённых дисциплин (позиция 4 таблицы). Без адресации к средствам труда, а, в более широком контексте, – к технологической культуре и культуре в целом, сложно говорить о масштабных нарушениях среды по вине человека.

Итак, в последнем случае, техносферную безопасность необходимо рассматривать как вид коллективного труда по сохранению и воспроизводству параметров среды жизнедеятельности не только через инструментарий деятельности, но и через управления культурой взаимодействия человека и природы [1].

Список литературы

1. Волков А.В. Место наук о Земле в структуре техносферной безопасности, как научного направления и учебной дисциплины / А.В. Волков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – № 1. – С. 313-326. – EDN YKANCG.

ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАЛПОВЫХ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМА ISOLATION FOREST

Ю.Д. Исаева
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В работе рассматривается задача обнаружения залповых выбросов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в зоне влияния полигонов твердых коммунальных отходов. Предлагается подход на основе алгоритма Isolation Forest, который позволяет выявлять аномальные события в данных мониторинга без предварительной разметки. Разработанный подход может быть использован для оперативного мониторинга полигонов ТКО и своевременного реагирования на экологические нарушения.*

Полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО) являются одним из наиболее значимых источников загрязнения атмосферного воздуха. В процессе разложения органических отходов в теле полигона образуется биогаз, основными компонентами которого являются метан, диоксид углерода, сероводород, аммиак и летучие органические соединения. Существующие методы контроля выбросов имеют ограничения. Стационарные посты наблюдения дороги и не могут быть размещены на всех потенциально опасных

объектах. Периодические выездные проверки не позволяют отслеживать динамику эмиссий и фиксировать залповые выбросы, которые происходят в считанные часы. Именно залповые выбросы представляют наибольшую опасность, поскольку характеризуются резким кратковременным превышением допустимых концентраций и могут остаться незамеченными при стандартном мониторинге.

В этих условиях особую актуальность приобретают методы автоматизированного анализа данных, способные выявлять аномальные события в режиме реального времени. Одним из перспективных подходов является использование алгоритма Isolation Forest, который позволяет обнаруживать аномалии в многомерных данных без предварительной разметки [1].

Для обнаружения аномалий в данных мониторинга применяются различные подходы, одним из наиболее эффективных методов является Isolation Forest. Его принцип основан на изоляции наблюдений: аномальные точки требуют меньшего числа разбиений для отделения от основной совокупности данных. Это делает метод эффективным для выявления залповых выбросов, которые характеризуются резкими кратковременными отклонениями концентраций от фоновых значений. В отличие от многих других методов, Isolation Forest не требует размеченной обучающей выборки и хорошо работает с многомерными данными. Это особенно важно для задач экологического мониторинга, где разметка данных может быть затруднена или отсутствовать [2].

В качестве исходных данных используются результаты измерений, проведённых на полигонах ТКО. Измерения включают:

- концентрации метана (CH_4), сероводорода (H_2S) и аммиака (NH_3) в приземном слое атмосферы;
- метеорологические параметры: температура воздуха, относительная влажность, скорость ветра, атмосферное давление;
- характеристики полигона: температура тела полигона, возраст полигона, объём захороненных отходов.

Данные представляют собой многомерные временные ряды, что делает их оптимальными для применения Isolation Forest [3].

Алгоритм работает следующим образом: сначала из исходного набора данных случайным образом формируется подвыборка. Затем строится изолирующее дерево: на каждом шаге случайным образом выбирается признак и пороговое значение, по которому данные разделяются на две части. Этот процесс повторяется до тех пор, пока каждое наблюдение не будет изолировано. Поскольку аномалии изолируются быстрее, они оказываются на меньшей глубине дерева. После построения множества деревьев для каждого наблюдения вычисляется показатель аномальности, основанный на средней глубине, на которой оно было изолировано. Чем меньше глубина, тем выше вероятность того, что наблюдение является аномалией. На основе этого показателя формируется итоговая оценка аномальности для каждого наблюдения. Для практического применения алгоритма необходимо выбрать несколько параметров. Количество деревьев в ансамбле определяет устойчивость

результата, чем больше деревьев, тем стабильнее оценка. Размер подвыборки влияет на скорость работы и точность, обычно используются подвыборки небольшого размера, что делает алгоритм быстрым и эффективным даже на больших данных [4].

Ключевым параметром является пороговое значение, при котором наблюдение считается аномалией. Оно может быть задано исходя из ожидаемой доли аномалий в данных (например, 5 % или 10 %) или на основе анализа распределения показателя аномальности. Выбор порога зависит от конкретной задачи: если важно не пропустить ни одного выброса, порог снижается; если важно избежать ложных срабатываний, порог повышается. Результатом работы алгоритма является список наблюдений, помеченных как аномальные. Эти наблюдения соответствуют залповым выбросам, которые характеризуются резкими кратковременными отклонениями концентраций загрязняющих веществ от фоновых значений [5].

Isolation Forest обладает рядом преимуществ, которые делают его удобным инструментом для обнаружения залповых выбросов от полигонов ТКО. Во-первых, алгоритм не требует размеченной обучающей выборки, что особенно важно в условиях, когда данные о подтверждённых выбросах ограничены. Во-вторых, метод эффективно работает с многомерными данными, учитывая одновременно концентрации нескольких загрязняющих веществ и метеорологические параметры. В-третьих, алгоритм обладает высокой скоростью работы, что позволяет использовать его в режиме реального времени. В-четвёртых, Isolation Forest устойчив к выбросам в обучающей выборке, что снижает риск искажения результатов.

Отдельно стоит отметить возможность интерпретации результатов. После обнаружения аномалий можно проанализировать, какие признаки внесли наибольший вклад в их выявление. Например, если аномалия связана с резким ростом концентрации метана при определённой температуре тела полигона и скорости ветра, это может указывать на активизацию микробиологических процессов разложения.

Несмотря на преимущества, подход имеет ограничения. Алгоритм не учитывает аварийные ситуации, которые могут приводить к залповым выбросам. Для интерпретации результатов требуется участие специалиста, который может оценить, связана ли обнаруженная аномалия с реальным выбросом или с изменением условий мониторинга. Эти ограничения определяют направления дальнейших исследований.

Данный подход может быть использован для оперативного мониторинга полигонов ТКО. Алгоритм позволяет своевременно обнаруживать залповые выбросы, что даёт возможность органам экологического надзора оперативно реагировать на нарушения и предупреждать население о возможных превышениях предельно допустимых концентраций.

Список литературы

1. Поплевин А.С. Несанкционированные свалки на территории Волгоградской области: исходные данные для предотвращения экологического

ущерба / А.С. Поплевин, Т.В. Соловьева, В.Н. Азаров, Е.И. Шевцов // Строительство и техногенная безопасность. – 2023. – № 29 (81). – С. 123-134.

2. Эрастов М.А. Мониторинг качества подземных вод на этапе рекультивации полигона твердых коммунальных отходов / М.А. Эрастов, И.В. Миньков, М.В. Тарасенко // Вестник науки. – 2026. – № 3 (96). – С. 619-625.

3. Ашихмина Т.В. Применение информационных технологий для оценки и прогнозирования газоэмиссионных процессов на полигонах ТКО / Т.В. Ашихмина, М.В. Жидова, Д.В. Котов // Географическая среда и живые системы. – 2024. – № 3. – С. 62-79.

4. Кечеджиев А.С. Исследование обнаружения аномалий с использованием Isolation Forest в машинном обучении / А.С. Кечеджиев, О.Л. Цветкова // Вестник ДГТУ. Технические науки. – 2024. – №1. – С. 106-112.

5. Попова И.А. Обнаружение аномалий в наборе данных с помощью алгоритмов машинного обучения без учителя Isolation forest и Local Outliner Factor / И.А. Попова // StudNet. – 2020. – №12. – С. 1460-1470.

СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ С ЛОКАЛЬНЫМ ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

А.А. Маслова, В.А. Кондрашов
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Рассматривается система обнаружения и идентификации источников несанкционированных или аварийных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Предлагается совместно использовать данные постов мониторинга, метеорологическую информацию, сведения об источниках выбросов, расчетные методы и локальный искусственный интеллект. Система предназначена для выявления аномального загрязнения, формирования перечня вероятных источников и уведомления ответственных специалистов.*

На промышленно развитой территории одного факта превышения концентрации загрязняющего вещества недостаточно для определения причины загрязнения. На результаты измерений одновременно влияют несколько предприятий и источников, фоновое состояние атмосферы, скорость и направление ветра, расстояние между источниками и постами наблюдения. Поэтому задача экологического мониторинга должна включать не только регистрацию загрязнения, но и анализ его возможного происхождения.

Основы контроля атмосферного воздуха и источников выбросов рассмотрены в отечественной научной литературе. В работе [1] описывается организация аэроаналитических измерений и контроль загрязняющих веществ как в атмосферном воздухе, так и непосредственно на источниках выбросов. Современные автоматизированные системы развивают данный подход за счет непрерывного получения и обработки информации.

В работе [2] представлена информационно-измерительная система прогнозирования и предупреждения аварийных выбросов газа в атмосферу. В другой работе предложена автоматизированная система контроля выбросов загрязняющих веществ на источниках промышленных предприятий, обеспечивающая непрерывный контроль состава и объемов выбросов [3]. Эти исследования показывают возможность создания технической основы непрерывного мониторинга, однако для установления конкретного источника загрязнения требуется дополнительный пространственно-временной анализ.

Предлагаемая система строится как последовательный программно-аналитический контур. В единую базу поступают данные стационарных постов мониторинга, автоматизированных систем контроля выбросов, локальных сенсорных сетей и метеостанций. Перед анализом выполняются проверка качества, удаление некорректных значений, контроль пропусков, приведение единиц измерения и временная синхронизация. Затем для каждого поста определяется характерный фоновый уровень. Устойчивое отклонение от фонового состояния рассматривается как событие, требующее дальнейшего анализа.

После обнаружения события система определяет возможные источники-кандидаты. Учитываются координаты постов и источников, вид загрязняющего вещества, направление и скорость ветра, расстояние и ориентировочное время переноса воздушной массы. Источники, которые не соответствуют зарегистрированному веществу или находятся вне возможного направления переноса, исключаются. Такой подход позволяет сократить число вариантов и не выполнять интеллектуальный анализ заведомо невозможных источников.

Необходимость совместного учета измерений и метеорологических условий подтверждается российскими исследованиями промышленных регионов. В работе [4] предложена модель оценки неблагополучной экологической ситуации, объединяющая текущие концентрации загрязняющих веществ, метеорологические параметры, прогнозные значения и сведения о состоянии измерительных средств. В разрабатываемой системе этот принцип используется для перехода от общей оценки экологической ситуации к поиску наиболее вероятного источника конкретного события загрязнения.

Для оставшихся источников выполняется расчетное сопоставление наблюдаемой картины загрязнения с возможным распространением примеси от каждого кандидата. Основой остается физическое представление о переносе загрязняющего вещества в атмосфере. Если расчетная картина согласуется с последовательностью и величиной измерений на постах, источник получает более высокую оценку. Таким образом, исходный перечень источников последовательно сужается на основании измерительных, метеорологических и пространственных данных.

Дополнительным компонентом является локальный искусственный интеллект (ИИ). Он предназначен для анализа накопленных данных: характера изменения концентраций, сочетаний показателей нескольких постов, метеорологических параметров и результатов расчета для источников-

кандидатов. Перспективность применения машинного обучения в задачах промышленного мониторинга показана в российских исследованиях. Часто применяются интеллектуальные методы для автоматизированной обработки данных контроля воздушной среды, прогнозирования опасных изменений и визуализации результатов.

В предлагаемой системе модель ИИ размещается на локальном сервере и работает в закрытом вычислительном контуре. Измерительные данные, результаты анализа и журнал работы сохраняются внутри информационной инфраструктуры организации. Штатная работа не требует обращения к внешним облачным сервисам. Для модели должны храниться версия и контрольная сумма. Если модель недоступна, повреждена или ее оценка имеет недостаточную достоверность, система продолжает работу без ИИ на основе измерений, метеорологических данных и расчетной модели.

Результатом является ранжированный перечень вероятных источников. Оператор получает сведения о соответствии направлению ветра, расстоянии до постов, связи источника с обнаруженным загрязняющим веществом и общей достоверности оценки. Если исходных данных недостаточно, система должна отображать неопределенность, а не автоматически назначать конкретный источник.

Для оперативной работы предусматривается модуль контроля состояния и уведомлений. Он отслеживает поступление данных с постов, длительные пропуски, актуальность метеорологической информации, состояние локальной модели ИИ и активные события загрязнения. При существенном изменении состояния ответственному специалисту передается уведомление с временем события, видом загрязняющего вещества, перечнем задействованных постов и первыми позициями рейтинга источников.

Научная составляющая решения заключается в объединении обнаружения аномального загрязнения и идентификации его источника в едином последовательном алгоритме. Локальный ИИ применяется только после контроля качества данных и физического ограничения списка источников-кандидатов, поэтому он дополняет, а не заменяет измерения и моделирование. Для подтверждения эффективности системы планируется оценить вероятность правильного обнаружения, число ложных срабатываний, точность ранжирования источников, время идентификации и устойчивость к пропускам и ошибкам метеорологических данных.

Таким образом, предложенный подход позволяет перейти от простого контроля концентраций к анализу причин загрязнения. Совместное использование измерительных данных, метеоусловий, пространственной информации, расчетных методов и локального искусственного интеллекта формирует основу системы поддержки принятия решений при несанкционированных и аварийных выбросах на промышленных территориях.

Список литературы

1. Горелик Д.О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов. Аэроаналитические измерения / Д.О. Горелик, Л.А. Конопелько. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 432 с.

2. Панарин В.М. Информационно-измерительная система прогнозирования и предупреждения аварийных выбросов газа в атмосферу / В.М. Панарин, Л.Э. Шейнкман, А.А. Маслова, Г.Ю. Царьков, К.В. Гришаков, Н.А. Рыбка // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 5. – С. 9-13.

3. Панарин В.М. Автоматизированная система контроля выбросов загрязняющих веществ на источниках промышленных предприятий / В.М. Панарин, А.А. Маслова, С.А. Савинкова, В.М. Панарин // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 6. – С. 44-48.

4. Панарин В.М. Разработка модели оценки неблагополучной экологической ситуации промышленных регионов / В.М. Панарин, А.А. Маслова, Д.В. Трещев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 12. – С. 265-270.

ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БИОСЕНСОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД

Е.М. Рылеева, А.А. Гусак
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация**. Рассмотрены химические механизмы функционирования биосенсоров для контроля природных и сточных вод. Проанализированы реакции, лежащие в основе тирозиназных, уреазных и холинэстеразных систем, бактериальной биолюминесценции, а также особенности химической иммобилизации ферментов и медиаторного переноса электронов. На основе опубликованных исследований сопоставлены механизмы формирования аналитического сигнала и ограничения применения биосенсоров в водных средах различного состава.*

Контроль качества природных и сточных вод предусматривает определение загрязняющих веществ и оценку их возможного воздействия на биологические системы. Для решения отдельных аналитических задач применяются биосенсоры, в которых биохимические реакции преобразуются в измеряемый сигнал. Его формирование зависит от свойств биологического компонента, механизма реакции и условий измерения.

В ферментативных биосенсорах аналитический отклик может быть связан с образованием продуктов реакции, потреблением кислорода, изменением кислотно-основных свойств среды или ингибированием фермента. В электрохимических системах для переноса электронов между биологическим компонентом и электродом могут применяться медиаторы [1]. При этом состав исследуемой воды способен влиять на протекание биохимических реакций и достоверность получаемых результатов.

Цель работы – провести анализ химических механизмов функционирования биосенсоров для контроля природных и сточных вод, особенностей формирования аналитического сигнала и ограничений их применения.

Для определения фенольных соединений в сточных водах применяются биосенсоры на основе тирозиназы (КФ 1.14.18.1) – фермента, содержащего два иона меди в активном центре. Тирозиназа катализирует орто-гидроксилирование монофенолов до орто-дифенолов и их последующее окисление до орто-хинонов. Ионы меди участвуют в связывании молекулярного кислорода и обеспечении каталитического процесса [2].

Для фенола соответствующие суммарные реакции можно представить следующим образом:

$$C_6H_5OH + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_6H_4(OH)_2$$

$$C_6H_4(OH)_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow C_6H_4O_2 + H_2O.$$

Образующийся пирокатехин окисляется до орто-бензохинона, который при соответствующем потенциале может электрохимически восстанавливаться на поверхности электрода:

$$C_6H_4O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow C_6H_4(OH)_2.$$

Повторное ферментативное окисление восстановленного продукта создаёт условия для электрохимического циклирования. Величина регистрируемого катодного тока зависит от концентрации фенольного соединения, активности тирозиназы, содержания растворённого кислорода и массопереноса.

Практическая возможность применения данного механизма продемонстрирована при разработке амперометрического биосенсора с тирозиназой, иммобилизованной на электроде, модифицированном углеродными нанотрубками, наноалмазами и растворимым крахмалом. Диапазон определения фенола составлял 0,01-50 мкмоль/л. При анализе четырёх проб производственных сточных вод, pH которых перед измерениями устанавливали на уровне 7,0, результаты сопоставлялись с 4-аминоантипириновым фотометрическим методом определения фенольного индекса в пересчёте на фенол. Для сточной воды коксохимического производства получены значения 0,2121 и 0,2229 мкмоль/л соответственно [3].

Однако тирозиназа взаимодействует с различными фенольными соединениями, поэтому сигнал многокомпонентной пробы не всегда соответствует концентрации одного вещества. Кроме того, на аналитический отклик влияют pH, растворённый кислород и сопутствующие компоненты воды, что необходимо учитывать при калибровке биосенсора.

Наряду с окислительными ферментами в биосенсорном анализе применяются гидролазы, в частности уреаза (КФ 3.5.1.5), катализирующая гидролиз мочевины. В её активном центре находятся два иона Ni^{2+}, координированные аминокислотными остатками, включая гистидин, аспартат и карбамилированный лизин. Каталитический механизм связан с нуклеофильной атакой гидроксид-иона, координированного никелевым центром, на карбониль-

ный атом углерода мочевины [4].

В результате ферментативного гидролиза образуются аммиак и карбамат. С учётом протонирования аммиака и последующего гидролиза карбамата превращения в водной среде можно представить следующими уравнениями:

$$CO(NH_2)_2 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + NH_2COO^-;$$
$$NH_2COO^- + H_2O \rightarrow NH_3 + HCO_3^-;$$
$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-.$$

Ионы никеля при этом сохраняются в составе фермента и не расходуются в реакции. Образующиеся продукты изменяют кислотно-основные характеристики среды, что позволяет регистрировать гидролиз мочевины по изменению pH или потенциометрическому отклику электрода, чувствительного к ионам NH_3^+. В первом случае существенное влияние оказывает буферная ёмкость раствора, во втором – исходное содержание аммония и присутствие мешающих катионов.

Практическая возможность применения такого механизма продемонстрирована при разработке проточной системы с уреазой, иммобилизованной на аминофункционализированных стеклянных гранулах. При калибровке в фосфатном буфере концентрацией 10 ммоль/л предел обнаружения мочевины составлял 8,9 × 10^{-6} моль/л. При анализе четырёх предварительно профильтрованных и разбавленных проб сточных вод с добавками мочевины средняя степень извлечения достигала 102 ± 5 % [5].

Полученные результаты подтверждают работоспособность уреазной системы в исследованных условиях. Однако при контроле сточных вод необходимо учитывать влияние буферной ёмкости, исходного содержания аммония и других компонентов пробы на формирование аналитического сигнала.

Другим подходом к обнаружению загрязняющих веществ является использование биосенсоров, основанных на ингибировании ферментативной активности. Такой принцип применяется для определения фосфорорганических и карбаматных пестицидов, способных подавлять активность ацетилхолинэстеразы (КФ 3.1.1.7). Для электрохимической регистрации активности ацетилхолинэстеразы может использоваться ацетилтиохолин, при гидролизе которого образуется электроактивный тиохолин:

$$CH_3CO - S - CH_2 - CH_2 - N^+(CH_3)_3 + H_2O$$
$$\rightarrow HS - CH_2 - CH_2 - N^+(CH_3)_3 + CH_3COOH.$$

Образующийся тиохолин способен окисляться на поверхности электрода с образованием дисульфидного соединения:

$$2R - SH \rightarrow R - S - S - R + 2H^+ + 2e^-.$$

При ингибировании фермента скорость образования тиохолина снижается, что приводит к уменьшению регистрируемого тока. Для многих фосфорорганических ингибиторов характерно ковалентное фосфорилирование остатка серина в каталитическом центре ацетилхолинэстеразы. Карбаматы вызывают карбамилирование того же остатка, однако карбамилированный

фермент, как правило, подвергается более быстрой спонтанной реактивации по сравнению с фосфорилированным. Скорость восстановления активности при этом зависит от химической структуры ингибитора.

Практическая реализация ингибиторного принципа продемонстрирована при разработке биосенсоров на основе ацетилхолинэстеразы и бутирилхолинэстеразы с различными способами электрохимической регистрации сигнала. Для отдельных конструкций получены пределы обнаружения 2×10^{-8} моль/л для хлорпирифос-метила, 5×10^{-8} моль/л для кумафоса и 8×10^{-9} моль/л для карбофурана. Испытания проводились в водных растворах и образцах виноградного сока с добавками пестицидов. При этом хлорпирифос-метил и кумафос предварительно окисляли хлором, образующимся при электролизе, с превращением фрагмента P=S в P=O и образованием соответствующих оксонов, обладающих более выраженным ингибирующим действием на холинэстеразы [6].

Количественное определение основано на сравнении активности фермента до и после контакта с ингибитором. Однако различные вещества могут вызывать сходное снижение аналитического сигнала, поэтому применение холинэстеразных биосенсоров для анализа природных и сточных вод требует проверки селективности и влияния сопутствующих компонентов.

Наряду с ферментативными биосенсорами для оценки воздействия химических веществ применяются бактериальные биолюминесцентные системы. В основе их функционирования лежит реакция, катализируемая люциферазой с участием восстановленного флавинмононуклеотида ($FMNH_2$), длинноцепочечного алифатического альдегида и молекулярного кислорода:

$$FMNH_2 + R - CHO + O_2 \rightarrow FMN + R - COOH + H_2O + h\nu,$$

где R–CHO – алифатический альдегид; FMN – окисленный флавинмононуклеотид; hν – энергия испускаемого фотона.

В ходе реакции образуется пероксидное промежуточное соединение флавина, дальнейшие превращения которого сопровождаются испусканием света. В отличие от люциферазы светляков, бактериальная люцифераза не требует непосредственного участия АТФ в светоизлучающей реакции [7].

Формирование биолюминесцентного сигнала связано с работой lux-генов: luxA и luxB кодируют субъединицы люциферазы, а luxC, luxD и luxE участвуют в образовании и регенерации альдегидного субстрата. При создании клеточных биосенсоров lux-гены могут использоваться в качестве репортёрной системы, экспрессия которой регулируется стресс-индуцируемыми промоторами.

Такой принцип реализован в биосенсорах на основе *Bacillus subtilis*, содержащих гены luxABCDE бактерии *Photorhabdus luminescens*. Промоторы PdinC, PalkA и PmrgA обеспечивали регистрацию клеточных реакций на повреждение ДНК, алкилирующее воздействие и окислительный стресс соответственно. При воздействии митомицина С, метилметансульфоната и перекиси водорода наблюдалось увеличение интенсивности биолюминесценции. Начало активации регистрировалось приблизительно через 1-2 часа в зависимости от конструкции биосенсора [8].

Изменение интенсивности свечения характеризует определённый клеточный ответ, но не позволяет однозначно установить химическую природу токсиканта. Кроме того, при выраженном токсическом воздействии угнетение метаболической активности микроорганизмов может приводить к снижению сигнала. Поэтому при анализе природных и сточных вод необходимо учитывать физиологическое состояние клеток, содержание кислорода и влияние компонентов пробы на регистрацию биолюминесценции.

Эффективность функционирования биосенсоров зависит не только от механизма биохимической реакции, но и от способа закрепления биологического компонента. Одним из методов иммобилизации ферментов является ковалентное сшивание с использованием глутарового альдегида OHC–$(CH_2)_3$–CHO, способного взаимодействовать с первичными аминогруппами белков, в частности с аминогруппами остатков лизина. Одним из возможных путей реакции является образование иминной связи (основания Шиффа):

$$R - NH_2 + OHC - (CH_2)_3 - CHO \rightleftharpoons R - N = CH - (CH_2)_3 - CHO + H_2O,$$

где R–NH_2 – фрагмент белковой молекулы, содержащий первичную аминогруппу.

Приведённое уравнение отражает упрощённый механизм взаимодействия, поскольку в водном растворе глутаровый альдегид существует также в гидратированных и полимерных формах. Связывание белков может включать реакции с участием продуктов альдольной конденсации и присоединение по Михаэлю [9].

Образование ковалентных сшивок способствует удержанию фермента в чувствительном слое и уменьшает его вымывание. Однако чрезмерное сшивание может ограничивать конформационную подвижность белковой молекулы, затруднять доступ субстрата к активному центру и снижать каталитическую активность [10]. Поэтому условия иммобилизации необходимо подбирать с учётом сохранения активности фермента и устойчивости биорецепторного слоя в анализируемой водной среде.

На характеристики электрохимических биосенсоров влияет механизм переноса электронов между биологическим компонентом и электродом. Поскольку окислительно-восстановительные центры некоторых ферментов расположены внутри белковой молекулы, для передачи электронов применяются медиаторы – соединения, способные обратимо окисляться и восстанавливаться [1].

Одним из таких соединений является ферроцен, переходящий между восстановленной формой Fc и окисленной формой Fc^+ (ферроцением). На примере глюкозооксидазы, содержащей флавинадениндинуклеотид (FAD), медиаторный перенос электронов можно представить следующими реакциями:

$$GOx(FADH_2) + 2Fc^+ \rightarrow GOx(FAD) + 2Fc + 2H^+;$$
$$2Fc \rightarrow 2Fc^+ + 2e^-.$$

Окисленная форма медиатора принимает электроны от восстановленного фермента, после чего ферроцен окисляется на электроде с образованием

регистрируемого тока. При этом медиатор регенерируется и повторно участвует в переносе электронов. В отдельных ферментативных системах такой механизм позволяет уменьшить зависимость аналитического сигнала от содержания растворённого кислорода [1].

Медиаторы применяются также в микробных биосенсорах для экспресс-оценки биохимического потребления кислорода (БПК). В этих системах сигнал формируется при участии совокупности метаболических реакций микроорганизмов, а медиатор обеспечивает перенос электронов от клеточных окислительно-восстановительных систем к электроду.

Практическое применение данного подхода продемонстрировано при разработке БПК-биосенсора на основе клеток *Paracoccus yeei SPB1*, выделенных из активного ила. Среди девяти исследованных медиаторов наиболее эффективным оказался ферроцен. Нижняя граница определения $БПК_5$ составляла 1,3 мг O_2/дм^3. При анализе десяти проб сточных и речных вод Тульской области коэффициент корреляции результатов биосенсорного определения со стандартным методом определения $БПК_5$ составил R = 0,9934 [11].

Регистрируемый ток представляет собой косвенную характеристику метаболической активности микроорганизмов, а не непосредственное измерение потребления кислорода. Поэтому применение медиаторных БПК-биосенсоров требует калибровки и сопоставления со стандартным методом, поскольку высокая корреляция не исключает систематических расхождений между результатами измерений.

При анализе природных и сточных вод характеристики биосенсоров зависят от физико-химического состава исследуемой среды. Изменение pH, буферной ёмкости, ионного состава и содержания растворённого кислорода может влиять на активность ферментов, скорость биохимических реакций и формирование аналитического сигнала. Присутствие сопутствующих субстратов и электроактивных соединений способно снижать селективность определения и вызывать дополнительные электрохимические отклики.

Для клеточных биосенсоров существенное значение имеет влияние компонентов пробы на метаболическую активность микроорганизмов. В биолюминесцентных системах дополнительным источником погрешности могут становиться окрашенные и взвешенные вещества, поглощающие и рассеивающие свет. Поэтому изменение интенсивности свечения не всегда связано исключительно с биологическим действием исследуемых соединений.

При оценке применимости биосенсоров к экологическому контролю необходимо разграничивать испытания в модельных растворах, реальных пробах с внесёнными добавками и водах с исходным содержанием загрязняющих веществ. Метод стандартных добавок позволяет оценивать степень извлечения определяемого компонента, однако не заменяет проверки селективности и стабильности биорецептора. Для подтверждения достоверности результатов необходимо учитывать влияние водной матрицы и проводить сопоставление с независимыми аналитическими методами.

Для обобщения рассмотренных механизмов проведено сопоставление

способов формирования аналитического сигнала и ограничений применения биосенсоров при контроле природных и сточных вод (таблица).

Химические механизмы формирования аналитического сигнала и ограничения применения биосенсоров

Биосенсорная система	Механизм формирования аналитического сигнала	Основные ограничения
Тирозиназная	Ферментативное окисление фенольных соединений с последующим электрохимическим восстановлением образующихся хинонов	Влияние pH и растворённого кислорода, взаимодействие с различными фенольными субстратами
Уреазная	Гидролиз мочевины с регистрацией изменения pH или активности ионов NH_4^+	Буферная ёмкость среды, исходное содержание аммония, мешающие ионы
Холинэстеразная	Снижение ферментативной активности под действием ингибиторов и изменение электрохимического сигнала	Недостаточная селективность к отдельным ингибиторам, зависимость от условий инкубации
Бактериальная lux-система со стресс-индуцируемым промотором	Изменение интенсивности свечения при активации клеточных стрессовых реакций	Влияние физиологического состояния клеток, содержания кислорода и оптических свойств пробы
Медиаторная микробная БПК-система	Перенос электронов от клеточных окислительно-восстановительных систем к электроду	Зависимость от состава органических веществ, метаболической активности микроорганизмов и электрохимических помех

Проведённый анализ показал, что химические механизмы функционирования биосенсоров определяют особенности формирования аналитического сигнала и ограничения его регистрации. Сопоставление опубликованных исследований подтвердило возможность применения отдельных тирозиназных и микробных систем для анализа производственных сточных и речных вод. Работоспособность уреазного биосенсора продемонстрирована на пробах сточных вод с внесёнными добавками мочевины. Вместе с тем часть экспериментальных характеристик получена в модельных растворах и других средах, отличающихся по составу от природных и сточных вод, что ограничивает возможность непосредственного переноса результатов на анализ реальных водных проб.

Таким образом, при выборе биосенсора для экологического контроля необходимо учитывать механизм формирования сигнала, условия иммобилизации биологического компонента и влияние физико-химического состава воды. Дальнейшее развитие таких систем целесообразно связывать с повышением устойчивости биорецепторных элементов и проверкой аналитических характеристик на реальных водных пробах с сопоставлением результатов со стандартными методами анализа.

Список литературы

1. Bollella P. Enzyme-Based Biosensors: Tackling Electron Transfer Issues / P. Bollella, E. Katz // Sensors. – 2020. – Vol. 20, № 12. – Art. 3517. – DOI: 10.3390/s20123517.

2. Tarasov A. Biosensors Based on Phenol Oxidases (Laccase, Tyrosinase, and Their Mixture) for Estimating the Total Phenolic Index in Food-Related Samples / A. Tarasov, N. Stozhko, M. Bukharinova, E. Khamzina // Life. – 2023. – Vol. 13, № 2. – Art. 291. – DOI: 10.3390/life13020291.

3. Liu Y. Development of a Tyrosinase Amperometric Biosensor Based on Carbon Nanomaterials for the Detection of Phenolic Pollutants in Diverse Environments / Y. Liu, Y. Chen, Y. Fan [et al.] // ChemElectroChem. – 2022. – Vol. 9, № 24. – Art. e202200861. – DOI: 10.1002/celc.202200861.

4. Mazzei L. The Structure-Based Reaction Mechanism of Urease, a Nickel Dependent Enzyme: Tale of a Long Debate / L. Mazzei, F. Musiani, S. Ciurli // Journal of Biological Inorganic Chemistry. – 2020. – Vol. 25, № 6. – P. 829-845. – DOI: 10.1007/s00775-020-01808-w.

5. Quadrini L. Development of a Flow Biocatalytic-Based Platform for Electrochemical Monitoring of Urea in Wastewater / L. Quadrini, S. Orlandini, S. Laschi [et al.] // Talanta. – 2025. – Vol. 289. – Art. 127755. – DOI: 10.1016/ j.talanta.2025.127755.

6. Ivanov A. Cholinesterase Sensors Based on Screen-Printed Electrodes for Detection of Organophosphorus and Carbamic Pesticides / A. Ivanov, G. Evtugyn, H. Budnikov [et al.] // Analytical and Bioanalytical Chemistry. – 2003. – Vol. 377, № 4. – P. 624-631. – DOI: 10.1007/s00216-003-2174-9.

7. Syed A.J. Applications of Bioluminescence in Biotechnology and Beyond / A.J. Syed, J.C. Anderson // Chemical Society Reviews. – 2021. – Vol. 50, № 9. – P. 5668-5705. – DOI: 10.1039/D0CS01492C.

8. Kessenikh A. G. Constructing of Bacillus subtilis-Based Lux-Biosensors with the Use of Stress-Inducible Promoters / A.G. Kessenikh, U.S. Novoyatlova, S.V. Bazhenov [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Vol. 22, № 17. – Art. 9571. – DOI: 10.3390/ijms22179571.

9. Migneault I. Glutaraldehyde: Behavior in Aqueous Solution, Reaction with Proteins, and Application to Enzyme Crosslinking / I. Migneault, C. Dartiguenave, M.J. Bertrand, K.C. Waldron // BioTechniques. – 2004. – Vol. 37, № 5. – P. 790-802. – DOI: 10.2144/04375RV01.

10. Barbosa O. Glutaraldehyde in Bio-Catalysts Design: A Useful Crosslinker and a Versatile Tool in Enzyme Immobilization / O. Barbosa, C. Ortiz, Á. Berenguer-Murcia [et al.] // RSC Advances. – 2014. – Vol. 4, № 4. – P. 1583-1600. – DOI: 10.1039/C3RA45991H.

11. Харькова А.С. Медиаторный БПК-биосенсор на основе клеток микроорганизмов, выделенных из активного ила / А.С. Харькова, В.А. Арляпов, А. Д. Туровская [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2019. – Т. 55, № 2. – С. 199-208. – DOI: 10.1134/S0555109919010082.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОН ХИМИЧЕСКОГО ЗАРАЖЕНИЯ ПРИ АВАРИЙНОМ РАЗРУШЕНИИ ХРАНИЛИЩ СЖИЖЕННОГО ХЛОРА И АММИАКА БПЛА

А.А. Маслова, К.Д. Егоров
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Рассматривается разработка и применение информационно-измерительной системы (ИИС) на базе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга и прогнозирования зон химического заражения при аварийном разрушении хранилищ сжиженного хлора и аммиака. Обоснована актуальность темы, связанная с ограничениями традиционных стационарных систем мониторинга, которые не обеспечивают необходимой оперативности и пространственного охвата в динамике развития чрезвычайной ситуации.*

Аварийное разрушение хранилищ сжиженного хлора и аммиака несёт серьёзную угрозу из-за быстрого формирования зон химического заражения. Традиционные системы мониторинга (стационарные датчики) имеют ограничения: они не всегда оперативно охватывают большие или труднодоступные территории, а их данные могут запаздывать в динамике развивающейся аварии. Интеграция БПЛА в систему мониторинга и прогнозирования позволяет существенно повысить оперативность получения пространственных данных о распространении опасного облака, снизить риски для личного состава при разведке и обеспечить более точную основу для принятия управленческих решений [1].

Концептуальная модель системы.

Предлагаемая информационно-измерительная система представляет собой комплекс, объединяющий три ключевых блока:

- Блок сбора данных (БПЛА).

Беспилотный летательный аппарат оснащается специализированными сенсорами: газоанализаторами для оперативного измерения концентрации хлора (Cl_2) и аммиака (NH_3) в воздухе, датчиками метеопараметров (скорость и направление ветра, температура, степень вертикальной устойчивости атмосферы). БПЛА осуществляет маршрутный или точечный мониторинг, формируя пространственно-временную «карту» распределения опасных концентраций.

- Блок обработки и интеграции.

Полученные с БПЛА данные агрегируются и сопоставляются с оперативными входными параметрами: объёмом вещества в хранилище, характером разрушения (полное/частичное), особенностями рельефа и застройки, а также с данными от стационарных систем мониторинга объекта. Здесь же происходит фильтрация шумов и коррекция ошибок измерений.

- Блок прогнозирования.

На основе интегрированных данных запускается математическое модели-

рование распространения зоны заражения. В основе могут лежать адаптированные сертифицированные методики (например, РД 52.04.253-90), учитывающие специфику поведения сжиженных газов (формирование первичного и вторичного облаков). Система визуализирует результаты (зоны поражения на карте), оценивает время подхода облака к критическим объектам и формирует рекомендации для экстренных служб.

Ключевые преимущества и вызовы.

- Преимущества: повышенная оперативность разведки, возможность работы в сложных условиях (задымление, запыление, ограниченная видимость), снижение рисков для людей, интеграция с системами оповещения и управления ликвидацией ЧС.
- Вызовы: необходимость обеспечения надёжной связи и передачи данных в реальном времени, устойчивость БПЛА к неблагоприятным метеоусловиям, точность калибровки сенсоров, сложность моделирования турбулентности и локальных эффектов (например, стекания тяжёлого пара по рельефу), вопросы интеграции с существующими АСУ ТП и системами оповещения на объекте.

Перспективные направления развития.

- Разработка адаптивных алгоритмов машинного обучения для уточнения прогнозов на основе накапливаемой статистики реальных аварий. Конкретные модели и методы:

- регрессионные модели (линейные/нелинейные) для коррекции коэффициентов методики;

- градиентный бустинг (XGBoost, LightGBM) для уточнения параметров испарения и переноса;

- рекуррентные сети (LSTM/GRU) для прогнозирования динамики концентрации во времени;

- графовые нейронные сети (GNN) для учёта влияния застройки и рельефа на распространение облака.

- Создание модульных комплексов с возможностью быстрой смены полезной нагрузки под конкретную задачу.

Типовые конфигурации модулей [2]:

- модуль химической разведки: газоанализаторы на Cl_2 и NH_3 (электрохимические и оптические сенсоры), датчики температуры/влажности/ давления, gps/gnss;

- модуль ситуационной разведки: камера видимого диапазона + тепловизор для поиска людей и очагов возгорания, lidar для построения 3d-карты препятствий (актуально в задымлении).

- модуль связи и ретрансляции: антенна и радиомодуль для организации локальной сети в зоне аварии, когда базовая связь недоступна.

- специализированные модули: спектрометр для идентификации неизвестных веществ, пылемер для оценки влияния взвесей на работу сенсоров.

- Интеграция с цифровыми двойниками объектов для превентивного моделирования сценариев и отработки алгоритмов реагирования.

Технологии и инструменты: CFD-моделирование (Ansys Fluent, OpenFOAM) для детальных расчётов распространения облака в застройке;

ГИС-платформы (QGIS, ArcGIS) для интеграции карт, метеоданных и результатов моделирования;

платформы цифровых двойников (Siemens Xcelerator, Bentley iTwin) для объединения 3D-моделей и данных мониторинга.

Список литературы

1. Охрана труда. РД 52.04.253-90. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте.

2. Положение о системах оповещения (Приказ МЧС России № 578, Минкомсвязи России № 365 от 31.07.2020).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОЛИГОНОВ ТКО: ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ЭКРАНЫ, СИСТЕМЫ СБОРА ФИЛЬТРАТА И БИОГАЗА

А.А. Маслова, Е.В. Пахомов
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Рассматривается задача обеспечения экологической безопасности полигонов твёрдых коммунальных отходов на этапах проектирования и эксплуатации. Полигон представлен как совокупность трёх взаимосвязанных инженерных подсистем: противофильтрационного экрана, системы сбора и очистки фильтрата, системы дегазации. Показано, что эффективность каждой подсистемы определяется не проектным решением как таковым, а непрерывностью эксплуатационного контроля и готовностью к обслуживанию на протяжении жизненного цикла объекта.*

Полигон твёрдых коммунальных отходов остаётся основным способом размещения отходов в России, несмотря на курс на снижение захоронения. Экологическая опасность полигона реализуется через два основных канала: проникновение фильтрата в грунтовые воды и эмиссию биогаза в атмосферу [1]. Оба канала не прекращаются после закрытия объекта – фильтрация и газогенерация продолжаются десятилетиями, что делает качество инженерных систем определяющим фактором долгосрочной безопасности.

Нормативной основой проектирования, эксплуатации и рекультивации полигонов выступает СП 320.1325800.2017 «Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация». Санитарные требования к эксплуатации объектов размещения отходов устанавливает СанПиН 2.1.3684-21, предусматривающий обязательную разработку программы производственного контроля, включающей наблюдения за состоянием грунтовых и поверхностных вод, атмосферного воздуха и почв в зоне возможного влияния полигона [2]. Однако нормативная регламентация задаёт рамку, тогда как фактическая эффективность полигона определяется

качеством исполнения каждой инженерной подсистемы и организацией мониторинга.

Противофильтрационный экран выполняет функцию гидравлического барьера между телом отходов и геологической средой. Типовая конструкция включает выравнивающий слой, гидроизоляционный слой из бентонитового мата, песчаную подушку и рекультивационные слои. Ключевое требование к основанию – отсутствие деформаций, способных нарушить целостность экрана. Экран, уложенный без верификации, не может считаться барьером: контроль целостности системы герметизации должен осуществляться как перед вводом в эксплуатацию, так и после укладки первых слоёв отходов [3]. Подтверждением эффективности изоляции служит мониторинг грунтовых вод через систему наблюдательных скважин. Согласно СанПиН 2.1.3684-21, одна контрольная скважина закладывается выше полигона по потоку грунтовых вод, характеризуя их исходное состояние, и не менее двух скважин – ниже по потоку, для выявления влияния фильтрата. Если в пробах из нижней скважины обнаруживается увеличение концентраций загрязняющих веществ по сравнению с фоновой, должны приниматься меры по ограничению поступления загрязнителей до уровня ПДК [4].

Система сбора и очистки фильтрата является вторым обязательным контуром. Фильтрат формируется при проникновении атмосферных осадков через тело отходов и представляет собой высококонцентрированный раствор органических и неорганических загрязнителей. Его состав варьирует в зависимости от возраста отходов и стадии разложения, что исключает универсальные решения очистки. Обзор российских исследований показывает, что наиболее распространёнными технологиями остаются физико-химические методы, обратный осмос и их комбинации с биологической очисткой [5]. При этом проблема утилизации концентрата обратного осмоса остаётся одним из узких мест: снижение его расхода при обработке фильтратов является самостоятельной инженерной задачей. Многостадийные технологии, сочетающие реагентную обработку, мембранные методы и биологическую доочистку, рассматриваются как перспективное направление повышения эффективности очистки. Практика российских полигонов показывает, что при реконструкции объектов системы сбора фильтрата и очистные сооружения проектируются как единый технологический комплекс. Без работающей системы сбора и очистки противофильтрационный экран лишь перераспределяет потоки загрязнителей, но не устраняет их образования.

Система дегазации предотвращает опасные скопления биогаза в теле полигона и его эмиссию в атмосферу. Биогаз состоит преимущественно из метана (40–70%) и диоксида углерода (30-45 %). Накопление метана создаёт риск возгорания и разрушения экрана под давлением газа. Пассивная дегазация через вертикальные перфорированные трубы предотвращает опасные скопления, но не обеспечивает утилизацию газа. Активная дегазация с извлечением биогаза за счёт разрежения позволяет снизить выбросы метана на 80-95 %. Собранный биогаз после очистки от сероводорода и влаги может использоваться в газовых

турбинах или когенерационных установках. Для российских условий экономическая целесообразность утилизации зависит от объёма захороненных отходов и содержания органики: на крупных полигонах активная дегазация с выработкой энергии окупается, на малых объектах оправдана преимущественно пассивная система или факельное сжигание [6].

Три рассмотренные подсистемы не функционируют изолированно. Разгерметизация экрана приводит к росту объёма фильтрата, перегружающему очистные мощности. Неэффективная дегазация создаёт давление в теле свалки, способное повредить экран изнутри. Отсюда следует эксплуатационное требование: проектирование полигона должно предусматривать интегрированный контур, в котором дренаж фильтрата, дегазация и мониторинг экрана связаны единой схемой наблюдений. Программа производственного экологического контроля, предусмотренная СанПиН 2.1.3684-21, должна охватывать все три подсистемы, а не ограничиваться формальной отчётностью [7].

Предлагается различать проектное и эксплуатационное состояние полигона. Проектное состояние характеризует соответствие инженерных решений нормативным требованиям на момент ввода объекта. Эксплуатационное состояние отражает фактическую работоспособность подсистем в текущий момент: целостность экрана, пропускную способность дренажа, эффективность дегазации. Полигон, спроектированный с совершенным экраном, но без обслуживания дренажа и дегазации, через несколько лет возвращается к состоянию неконтролируемого источника загрязнения. Поэтому критерием безопасности выступает не акт приёмки, а непрерывность мониторинга и готовность к обслуживанию на протяжении всего жизненного цикла объекта [7].

Предложена структура рассмотрения полигона ТКО как совокупности трёх взаимосвязанных подсистем. Её особенность состоит в раздельной оценке проектного соответствия и эксплуатационной работоспособности. Такой подход позволяет не приравнивать наличие проекта к фактической безопасности объекта и не рассматривать отдельные инженерные решения в отрыве от их обслуживания. Для подтверждения эффективности необходимы данные мониторинга действующих полигонов, сопоставление проектных и фактических показателей работы экранов, дренажных систем и установок дегазации.

Список литературы

1. Дьяков В.П. Управление отходами производства и потребления: практикум / В.П. Дьяков. – Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 128 с. – ISBN 978-5-4499-1310-4.

2. Герасимова Т.А. Технологии утилизации биогаза / Т.А. Герасимова, Г.А. Лазарева, И.В. Быкова, О.А. Савватеева // Вестник Международного университета природы, общества и человека «Дубна». – 2018. – № 3 (40). – С. 9-18.

3. Ширкова Т.Н. Снижение расхода концентрата установок обратного осмоса при обработке фильтратов полигонов ТКО / Т.Н. Ширкова //

Водоснабжение и санитарная техника. – 2025. – № 3. – С. 51-60. – DOI: 10.35776/VST.2025.03.06 .

4. Милютина Н.О. Анализ методов очистки фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов / Н.О. Милютина, Н.А. Политаева, П.С. Зеленковский, И.И. Подлипский, Е.С. Великосельская // Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 21.

5. Гонопольский А.М. Многостадийная технология очистки фильтрата полигонов твердых бытовых отходов / А.М. Гонопольский, Н.Е. Николайкина, Н.И. Миташова [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 2. – С. 25-30.

6. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.

7. СП 320.1325800.2017. Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация.

ВОЗМОЖНОСТИ И СИСТЕМНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ БИОСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ В МАЛЫЕ БЕСПИЛОТНЫЕ МИНИ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

В.М. Панарин, Е.М. Рылеева, А.Д. Дехтяр, А.Д. Филимонов
Тульский государственный университет,
г. Тула

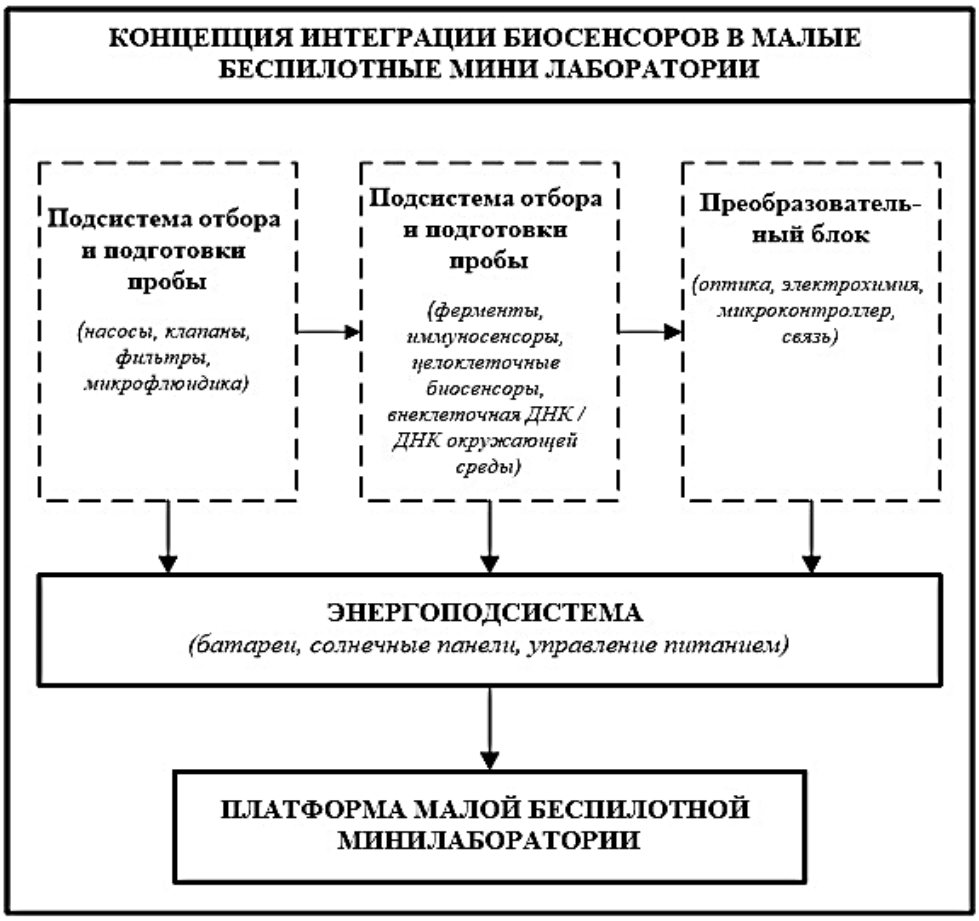
Аннотация. *В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты применения биосенсорных систем для непрерывного информационно измерительного контроля водных объектов, анализируются современные типы биосенсоров, обсуждаются архитектурные предпосылки интеграции биосенсоров в малые беспилотные суда и системные ограничения, возникающие при такой интеграции.*

Ключевые слова: *биосенсоры, беспилотные суда, экологический мониторинг, качество воды, биобезопасность.*

Непрерывный контроль качества водных объектов (рек и озёр) остаётся одной из наиболее сложных задач современной гидроэкологии. Традиционные методы, основанные на отборе проб и лабораторном анализе, обладают высокой точностью, но принципиально не способны обеспечить охват обширных территорий и оперативное обнаружение пиковых краткосрочных загрязнений таких как аварийные сбросы, ливневые стоки, цветение цианобактерий. Стационарные буи и информационно измерительные станции хорошо фиксируют долговременные показания в определенной конкретной точке, но не могут выявить пространственно-распределённые или мобильные источники

загрязнения. В этом случае малые беспилотные мини лаборатории представляют собой перспективное решение этой задачи. Они обеспечивают мобильность, воспроизводимость маршрутов, возможность работы в мелководных и труднодоступных акваториях, а также экономическую эффективность по сравнению с пилотируемыми судами. Однако подавляющее большинство существующих подобных устройств оснащены физико-химическими сенсорами (pH, температура, электропроводность, растворённый кислород, мутность), которые, будучи надёжными и хорошо интегрированными, не позволяют оценивать биологическую доступность загрязнителей и возможную токсичность среды.

Биосенсоры – аналитические устройства, использующие биологический компонент (фермент, антитело, целую клетку, нуклеиновую кислоту) для обнаружения, идентификации и количественного определения конкретных веществ, – способны восполнить этот пробел. Они обеспечивают селективность, чувствительность, сопоставимую с лабораторными методами, и, что критически важно, позволяют оценивать биологические эффекты загрязнения, а не только концентрации отдельных веществ. Интеграция биосенсоров в малые беспилотные мини лаборатории открывает возможность создания автономных систем непрерывного биологического контроля водной среды. Рассмотрим общую концепцию интеграции биосенсоров в малые беспилотные суда, схематично изображенную на рисунке.



Структурно-функциональная схема интеграции биосенсорного блока
в малую беспилотную мини-лабораторию информационно измерительного контроля

Как видно из схемы, представленной на рисунке, центральным элементом малой беспилотной мини-лаборатории является биосенсорный блок. Именно от того, какие типы биосенсоров в него включены, зависят аналитические возможности всей системы, её энергопотребление, масса и продолжительность автономной работы. Поэтому для обоснованного проектирования такой мини-лаборатории необходимо прежде всего детально проанализировать существующие виды биосенсоров, их принципы действия и пригодность для решения задач непрерывного экологического контроля в составе малых беспилотных судов. Рассмотрим основные типы биосенсоров:

1. Ферментативные биосенсоры используют иммобилизованные ферменты для катализа реакций с конкретными веществами или компонентами, которые необходимо обнаружить и измерить в пробе воды. Наиболее распространены амперометрические ферментативные сенсоры для определения нитратов, фенольных соединений и пестицидов. Основным преимуществом является высокая специфичность; ограничение – нестабильность ферментов при хранении и в полевых условиях.

2. Целоклеточные биосенсоры представляют живые клетки (чаще всего бактерии), в которые специально встроены гены, заставляющие их светиться при появлении в воде загрязняющих веществ или при общем токсичном воздействии. Это свечение улавливается прибором и служит сигналом о загрязнении [2].

3. Иммуносенсоры позволяют обнаруживать органические загрязнители (антибиотики, галогенорганические соединения, альготоксины) без использования меток. Работают они на основе антител, закреплённых на оптических или электрохимических преобразователях, по чувствительности не уступают иммуноферментному анализу, однако рецепторный слой со временем теряет активность и требует восстановления.

4. ДНК-сенсоры дают возможность находить следы ДНК опасных организмов (болезнетворных микробов, чужеродных видов, ядовитых цианобактерий) непосредственно в водоёме, не отправляя пробы в лабораторию. Для этого разработаны автономные устройства, которые сами берут пробу, выделяют из неё ДНК, размножают нужные фрагменты и определяют результат. Всё работает автоматически на бортовых реагентах и батареях. Такие сенсоры особенно полезны для раннего предупреждения биологических угроз.

Однако, на сегодняшний день, интеграция биосенсоров в беспилотные надводные аппараты небольшого размера сталкивается с рядом системных ограничений, таких как:

1. Энергопотребление. Биосенсорные системы, особенно требующие поддержания стабильной температуры в заданных пределах для проведения исследований (для поддержания жизнеспособности клеток или активности ферментов), потребляют значительно больше энергии, чем физико-химические сенсоры. Это создаёт жёсткие рамки в продолжительности работы.

2. Стабильность биологического рецепторного слоя. Ферменты и живые клетки деградируют со временем, особенно при колебаниях температуры, pH и солевого состава. Это ограничивает срок автономной работы без обслуживания

и требует либо регулярной замены картриджей, либо разработки стабилизированных биорецепторов.

3. Автоматизация пробоподготовки. Большинство биосенсоров требуют определённой подготовки пробы (фильтрация, разбавление, добавление буферов, термостатирование). Микрофлюидные системы решают эту задачу, но увеличивают сложность и стоимость модуля.

4. Биобезопасность и биоэтические аспекты. Использование генетически модифицированных микроорганизмов в открытых экосистемах поднимает вопросы биобезопасности, включая потенциальный горизонтальный перенос генов и нарушение природных экосистем. Кроме того, сбор данных о состоянии окружающей среды с помощью автономных платформ порождает вопросы о конфиденциальности и этике использования получаемой информации.

5. Правовое регулирование. Эксплуатация безэкипажных судов в России требует наличия свидетельства, подтверждающего полномочия организации в области автономного судовождения, а также обеспечения непрерывной работы средств связи [3, 4]. Развитие регуляторной среды для интеграции автономных систем в общее водное пространство России требует предварительного обсуждения правовых рисков и ограничений.

Рассмотренные типы биосенсоров и сформулированные системные ограничения задают лишь начальный этап анализа. Чтобы оценить, насколько биосенсорный контроль вообще оправдан в составе малого беспилотного судна, необходимо понимание: какую новую информацию биосенсоры дают по сравнению с уже установленными физико-химическими датчиками и в каких практических ситуациях эта информация оказывается решающей.

Физико-химические датчики, составляющие базовое оснащение большинства малых беспилотных мини лабораторий, обеспечивают количественное определение компонентов водной среды, однако не позволяют судить о биологической составляющей, т.е. они отвечают на вопрос о составе и концентрации, но не о том, представляет ли обнаруженное соединение опасность для живых организмов. Биосенсоры устраняют этот разрыв: регистрируемый ими аналитический сигнал формируется как отклик биологической системы, а не как физико-химическая характеристика пробы. Тем самым биосенсорный контроль переводит измерения с уровня концентраций на уровень биологических эффектов, что принципиально изменяет информационную ценность получаемых данных.

Во-первых, биосенсоры позволяют оценивать биодоступность загрязнителей. Металл в связанной форме может присутствовать в воде в высокой концентрации, но не проникать в клетку. Сенсоры реагируют именно на биодоступную фракцию, что делает их ближе к реальной токсикологической оценке, чем химический анализ валовой концентрации.

Во-вторых, биосенсоры дают интегральный отклик на смесь веществ. В реальной воде загрязнители действуют совместно, и эффект смеси не равен сумме эффектов компонентов. Сенсоры, реагирующие на общий стресс, фиксируют именно этот синергетический или антагонистический эффект, который не

выявляется покомпонентным химическим анализом.

В-третьих, биосенсоры обеспечивают селективность к конкретным классам соединений при относительно простой аппаратной реализации: иммуносенсоры и ферментативные сенсоры позволяют определять пестициды, альготоксины, антибиотики без сложной пробоподготовки и без дорогостоящего лабораторного оборудования.

Наконец, для ряда задач (раннее предупреждение цветения цианобактерий, обнаружение аварийного сброса) важна не точность до десятых долей, а оперативность. Биосенсоры, особенно ферментативные и иммуносенсорные, способны давать результат за минуты, тогда как лабораторный анализ занимает часы и дни.

Изложенное выше показывает, что биосенсорный контроль обладает самостоятельной аналитической ценностью: он даёт сведения о биодоступности, интегральной токсичности и селективном присутствии загрязнителей, которые физико-химические датчики в принципе не предоставляют. Однако ценность эта не универсальна – она реализуется лишь в тех задачах, где биологический отклик оказывается решающим для принятия решений, а ограничения по энергопотреблению и сроку службы рецепторов не являются блокирующими, т.е. переход от анализа возможностей к их практической реализации требует ответа на вопрос: в каких именно сценариях измерения загрязнений есть выигрыш, оправдывающий его сложность по сравнению с обычной системой, оснащённой только физико-химическими сенсорами. Рассмотрим некоторые из них:

1. Первый сценарий: мониторинг эвтрофикации и цветения цианобактерий. Цианобактерии выделяют токсины (микроцистины, анатоксины), опасные для человека и животных. Физико-химические датчики фиксируют лишь косвенные признаки (мутность, хлорофилл), тогда как иммуносенсоры позволяют обнаруживать именно токсин или генетические маркеры токсигенных штаммов. Малая беспилотная мини лаборатория способна обходить акваторию по заданному маршруту и картировать распределение токсина в пространстве и времени.

2. Второй сценарий: контроль аварийных сбросов и ливневых стоков. Такие загрязнения краткосрочны и локализованы, и стационарные станции часто их пропускают. Физико-химические датчики малой беспилотной мини лаборатории фиксируют аномалию, а биосенсоры активируются для углублённого анализа, что позволяет оперативно подтвердить или опровергнуть токсичность в точке аномалии.

3. Третий сценарий: биологическая безопасность. Сенсоры дают возможность обнаруживать следы патогенов и чужеродных видов непосредственно в водоёме, без транспортировки проб в лабораторию. Для удалённых и труднодоступных акваторий это существенно сокращает время реакции.

4. Четвёртый сценарий: долговременный мониторинг. Даже при ограниченном сроке службы биорецепторов малая беспилотная мини

лаборатория с регулярной заменой картриджей на промежуточных станциях способна формировать ряды наблюдений, сопоставимые по информативности с лабораторным мониторингом, но при существенно меньших затратах на логистику. Российские разработки беспилотных катеров для экологического патрулирования, в том числе планируемые к серийному производству на «Московской верфи», демонстрируют движение в этом направлении [1].

Однако возможности, перечисленные выше, не отменяют системных ограничений. Более того, анализ показывает, что часть из них носит принципиальный, а не инженерный характер:

1. Ограничение, связанное с деградацией биорецепторов, принципиально в той мере, в какой биологический компонент по определению не может быть стабильнее самой биологической системы. Инженерные решения (лиофилизация, иммобилизация в нанопористых матрицах, наноалмазные композиты, термостабильные экстремофилы) продлевают срок службы, но не устраняют необходимость периодической замены картриджей. Это означает, что архитектура малой беспилотной мини лаборатории с биосенсорами должна изначально проектироваться под обслуживание, а не под постоянную автономность.

2. Ограничение, связанное с энергопотреблением, принципиально для сенсоров (поддержание жизнеспособности клеток требует термостатирования, а это всегда компромисс между точностью и продолжительностью поставленной измерительной задачи). Для ферментативных и иммуносенсоров это ограничение мягче, но полностью не снимается.

3. Ограничение, связанное с биобезопасностью, принципиально для сенсоров на основе генетически модифицированных микроорганизмов. Даже при использовании стратегий генетического сдерживания остаётся вопрос о допустимости выпуска генетически модифицированных микроорганизмов в открытые экосистемы, и он не решается техническими средствами – это вопрос нормативного регулирования и общественного согласия.

4. Ограничение, связанное с правовым регулированием, принципиально в том смысле, что оно не зависит от уровня техники. Пока регулирующая среда не сформирована, даже технически совершенная платформа не может быть легитимно применена в общем водном пространстве.

5. Ограничение, связанное с интерпретацией данных, принципиально потому, что биосенсорный сигнал многопараметричен и зависит от матрицы. Без развитой системы контроля качества и алгоритмов коррекции матричных эффектов данные биосенсоров могут давать ложные срабатывания или, наоборот, пропускать значимые события.

Проведённый анализ показывает, что возможности и ограничения биосенсорного контроля не распределены равномерно по типам сенсоров: сильная сторона одного типа оборачивается слабостью другого, а принципиальные ограничения, сформулированные выше, проявляются в разной степени в зависимости от природы биорецептора. Из этого можно сделать вывод, что оценка пригодности биосенсора для малой беспилотной мини лаборатории

требует совместного рассмотрения всех факторов. Для наглядного представления такого сопоставления сведем результаты анализа в единую таблицу 1, отражающую одновременно ключевое преимущество, ключевое ограничение и итоговую пригодность каждого типа биосенсора для интеграции в малую беспилотную платформу.

Возможности и системные ограничения различных типов сенсоров

Тип биосенсора	Ключевая возможность	Системное ограничение	Пригодность для малой беспилотной мини лаборатории
Ферментативный	Высокая специфичность, минуты до результата	Нестабильность ферментов при хранении и в поле	Высокая при сменных картриджах
Целоклеточные	Интегральная токсичность, биодоступность	Энергопотребление на термостатирование, биобезопасность генетически модифицированных микроорганизмов	Средняя, ограничена длительностью миссии
Иммуносенсор	Селективность к органическим загрязнителям без меток	Деградация рецепторного слоя, матричные эффекты	Высокая
ДНК-сенсоры	Обнаружение патогенов и чужеродных видов	Сложная автоматическая пробоподготовка (выделение, амплификация)	Средняя, зависит от микрофлюидики

Сопоставление, приведённое в таблице, показывает, что ни один тип биосенсора не свободен от системных ограничений, а часть этих ограничений – деградация рецепторов, энергопотребление целоклеточных сенсоров, сложность автоматической пробоподготовки – носит принципиальный характер и не может быть устранена совершенствованием отдельного элемента. Из этого следует, что практическая реализуемость определяется не наличием идеального сенсора, а способностью архитектуры в целом компенсировать слабые стороны отдельных компонентов. Это подтверждает вывод о том, что реалистичная архитектура – гибридная, а не моносенсорная и ключевые направления лежат на стыке дисциплин, поэтому дальнейшие исследования должны быть направлены на:

- разработку стабилизированных биорецепторных материалов с увеличенным сроком службы, включая наноалмазные композиты, лиофилизированные целоклеточные сенсоры и иммобилизацию в нанопористых матрицах;
- создание микрофлюидных систем пробоподготовки, совместимых с малыми беспилотными мини лабораториями по массе, энергопотреблению и требованию сменности картриджей;
- развитие бортовых алгоритмов машинного обучения для автоматической

интерпретации биосенсорных сигналов с учётом матричных эффектов;

- формирование стандартов выбора и обмена данными для биосенсорных измерений;

- совершенствование нормативно-правовой базы эксплуатации безэкипажных судов в России.

Список литературы

1. На «Московской верфи» в 2026 году планируется организовать серийное производство безэкипажных катеров/ Морская коллегия. – 2026. – 20 янв. – URL: https://marine.org.ru (дата обращения: 11.09.2026).

2. Volkov G.V. Trials of lux-Biosensors in Expeditions to the Northern Seas: Barents, Kara, and Laptev / G.V. Volkov, U.S. Novoyatlova, A.A. Utkina [et al.] // Biochemistry (Moscow). Supplement Series A: Membrane and Cell Biology. – 2025. – Vol. 19, № 1. – P. 139-144. – DOI: 10.1134/S1990747824700582.

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 мая 2024 г. № 660 «Об утверждении требований к компетентным в области автономного судоходства организациям, предусмотренным статьёй 41.1 Кодекса внутреннего водного транспорта Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://pravo.gov.ru

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 24 мая 2024 г. № 672 «Об утверждении требований к компетентным в области автономного судоходства организациям, предусмотренным статьёй 106.1 Кодекса торгового мореплавания Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: http://pravo.gov.ru

К ВОПРОСУ О ЗАГРЯЗНЕНИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ВЫБРОСАМИ АВТОТРАНСПОРТА

М.П. Конов
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье исследуется тема защиты городской экологии, и методы достижения, поставленной задачи архитекторами и градостроителями. Анализируются типы озеленения, их эффективность и функции.*

Загрязнение городской экологии выбросами автотранспорта является одной из самых актуальных проблем в градостроительстве и экологии. Основываясь на данные «Статгорода» (с 2010 по 2025) динамика роста городов превышает динамику вымирания и опираясь на 20 самых растущих городов составляет около 35 %. В то время как количество автомобилей по данным «Автостата» на момент начала 2010 года было зарегистрировано порядка 43,9 млн единиц (легковые и грузовые автомобили, мотоциклы, автобусы, прицепы и полуприцепы), а на момент июля 2026 года уже 55,62 млн единиц, что

составляет 26,7 %. Таким образом можно сделать вывод, что количество населения и автотранспорта будет расти, что приведет и к росту загрязнения экологии городов.

Загрязнение городской среды выбросами плохо сказывается на здоровье человека. Так оксид углерода (угарный газ) нарушает транспортировку кислорода в крови и вызывает кислородное голодание, оксиды азота участвуют в образовании смога и опасного приземного озона, углеводороды вызывают раздражение слизистых оболочек, сажа проникает в легкие и провоцирует воспаления, аллергию, хронические и онкологические заболевания, а соединения серы способствуют выпадению кислотных дождей. Поэтому задача человека минимизировать или вовсе ликвидировать возможные последствия.

Перед архитекторами и градостроителями ставится задача разработать методы борьбы с такого рода загрязнением, чтобы сделать проживание в городе безопасным и комфортным. И на сегодняшний день разработаны и используется следующие архитектурно-планировочные решения по защите пешеходных зон и общественных пространств: организация парков, скверов и садов, озеленение (травяной покров и зеленые насаждения), в том числе: «пейзажно-средовые группы», вертикальное озеленение внешних фасадов и линейно-полосное озеленение, организация зеленых кровлей, расчет ширины улицы и разрывов между зданиями, для исключения образования «карманов» с застойным воздухом, управление аэрационным режимом с помощью этажности застройки.

При изучении методов борьбы с загрязнением был сделан упор именно на озеленение, так как оно наиболее экономично, многофункционально и влияет не только на безопасность, но и на комфортно-эстетические потребности человека, так как еще защищают человека от шума, снижают скорость ветра и защищают здания от излишней инсоляции и осаждения пыли.

Значительную роль в выведении из городской среды древесно-кустарниковые растения, расположенные на дорогах и улицах, где выброс вредоносных газов автомобилей происходит в зоне дыхания пешеходов.

Пейзажно-средовая группа или «малая» группа как самостоятельная типологическая единица способны оказывать лишь незначительное воздействие на гигиенические факторы городской среды и используются в основном в паркостроении, для заполнения разрыва между зданиями. В сочетании с линейно-полосными группами «малые» группы вносят разнообразие и повышают декоративные качества основного элемента и немного снижают уровень загазованности.

Вертикальное озеленение широко применяется в городских центрах и на улицах малой ширины, где отсутствуют возможности формирования зеленых полос нужной плотности для снижения загрязнения. Для устройство такого озеленения используют вьющиеся и висячие растения, выращиваемых в специальных лотках. Зеленые стены работают как биофильтры, препятствуют распространению в помещениях отработанных газов автотранспорта, они также повышают эстетические качества. Например папоротники, плющ и лотос больше всего подходят для вертикального озеленения, так как отличаются высокой

адаптивностью и устойчивостью к загрязнениям воздуха. Основным минусов зеленых стен являются: износ поверхности стен, тщательного технического обслуживания лотков, уход за растениями и недостаточно равномерное размещение растений по фасаду.

Самыми эффективным видом озеленения при рациональной планировке является линейно-полосное. Если площади сквозных просветов полосы до 5 %, то набегающий поток полностью переваливает через такое практически непроницаемое пространство. Поэтому важно сочетать конструктивные особенности зеленых насаждений, их аэродинамических качеств и способность рассеивать токсичные вещества. Основываясь на исследовании «Защита пешеходных зон и общественных пространств на городских улицах от выбросов автомобильного транспорта средствами озеленения», например один ряд деревьев высотой 8м и шириной полосы 3-4 м имеют газовую эффективность при свободной застройке 12-25 %, при фронтальной 20-40 %, а пять-шесть рядов деревьев такой высоты с шириной полосы 20-25м уже имеют газовую эффективность при свободной застройке 38-50 %, при фронтальной застройке 85-95 %, практически ликвидируя токсичные выбросы.

Таким образом грамотное озеленение способно защитить экологию города, создать комфортные и безопасные для здоровья условия для проживания в нем, повысить декоративные качества улиц. В долгосрочной перспективе такие решения окажут положительное влияние не только на экологию конкретного города, но и на экологию всего мира.

Список литературы

1. Денисов В.Н. Благоустройство территорий жилой застройки / В.Н. Денисов, Ю.Х. Лукманов. – СПб.: Изд. МАНЭБ, 2006. – 224 с.

2. Денисов В.Н. Проблемы экологизации автомобильного транспорта / В.Н. Денисов, В.А. Рогалѐв. – СПб.: Изд. МАНЭБ, 2005. – 312 с.

3. Музалевский А.А. Комплексная оценка геоэкологической обстановки в крупных городах и промышленных зонах / А.А. Музалевский, Е.А. Яйли // Уч. зап. РГГМУ, 2006, № 3. – С. 98-109.

4. Сергеев О.Е. Транспортный шум как экологическая проблема Санкт-Петербурга / О.Е. Сергеев, И.М. Ахметзянов, С.А. Лопатин // Экологическая безопасность автотранспортного комплекса: Передовой опыт России и стран Европейского Союза: Тр. III международной практической конференции / Под ред. В.Н. Денисов. – СПб.: МАНЭБ, 2005. – С. 98-99.

5 Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2008 г.: Ежегодник / Под ред. Э.Ю. Безуглой; ГУ «ГГО». – СПб.: АСТЕРИОН, 2009 – 222 с.

6. Morrison J. Sustainable development. – UK: Profile Books, 2002 – 370 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОИНДИКАТОРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЁМА НА ПРИМЕРЕ КАРЬЕРА «БАРСУКИ» ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Я.А. Семичастнова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Биоиндикация рассмотрена как метод оценки экологического состояния обводнённых карьеров в составе рекреационных территорий города. Описаны группы организмов-индикаторов, особенности водных экосистем выработок и подход к оценке карьера «Барсуки» по сапробности. Показано применение результатов биомониторинга в градостроительных решениях: назначении функциональных зон и водоохранных полос.*

Ключевые слова: *биоиндикация, обводнённый карьер, фитопланктон, индекс сапробности, качество воды, градостроительное проектирование.*

Водные объекты техногенного происхождения всё чаще становятся частью городской и пригородной среды. Обводнённые карьеры, которые остаются после прекращения добычи нерудных полезных ископаемых, нередко превращаются в озёра и используются для отдыха, рыбной ловли, а иногда рассматриваются как основа будущих парковых территорий. Для градостроительного проектирования такие водоёмы привлекательны: они формируют благоприятный микроклимат, повышают ценность соседних участков и позволяют создать компактную систему «голубой» инфраструктуры. Вместе с тем экологическое состояние подобных водоёмов, как правило, не изучено, а размещение рекреационной или жилой застройки без оценки качества воды создаёт риски для здоровья людей и устойчивости самой экосистемы.

Традиционный контроль качества воды опирается на гидрохимические показатели, которые сравнивают с нормативами. Метод даёт точные результаты, но отражает ситуацию только в момент взятия пробы. Биоиндикация, использующая реакцию живых организмов, напротив, показывает, как факторы влияли на среду в течение долгого времени [1]. Цель работы – рассмотреть возможности применения биоиндикаторов для оценки состояния водоёма и обосновать методический подход к такой оценке на примере карьера «Барсуки».

Прежде всего необходимо определить, какие организмы пригодны для индикации. Подходящим считается вид или сообщество, присутствие, обилие или состояние которых закономерно связаны с условиями среды. В гидробиологии используют представителей почти всех трофических уровней, и у каждой группы есть свои преимущества и ограничения (табл. 1).

Особое место среди индикаторов занимает фитопланктон. Водоросли находятся в основании пищевой цепи и первыми реагируют на поступление биогенных элементов и загрязняющих веществ, поэтому показатели их развития широко применяют для оценки качества воды. При обследовании озера Барское осенью в пробе обнаружили 76 таксонов водорослей (семь отделов). Значение индекса сапробности – 1,93, что позволяет отнести водоём к β-мезосапробной

зоне и присвоить ему III класс качества воды. [3]. Методика отбора и обработки проб фитопланктона подробно изложена в гидробиологических руководствах [4].

Таблица 1

Основные группы биоиндикаторов пресных водоёмов

Группа	**Что оценивают**	**Особенности применения**
Фитопланктон	Видовой состав, численность, доли индикаторных видов, индексы разнообразия	Быстрый отклик на биогенную нагрузку; требует микроскопии
Зоопланктон	Структура сообщества, соотношение крупных и мелких форм	Отражает трофический статус и пресс рыб
Зообентос	Личинки хирономид, олигохеты, моллюски, пиявки	Интегрирует состояние за длительный срок, показывает загрязнение донных отложений
Макрофиты	Состав и степень зарастания прибрежной зоны	Информативны для мелководий; зависят от крутизны берегов

Планктонные организмы отражают актуальное состояние водоёма – их реакция формируется в короткие сроки и фиксирует текущие условия среды. В то же время донные сообщества, включающие, например, личинки насекомых и малощетинковых червей, характеризуются более длительными жизненными циклами: эти организмы обитают в грунте на протяжении месяцев и даже лет, аккумулируя сведения о многофакторном воздействии на экосистему. В связи с этим для повышения достоверности оценки целесообразно применять комплексный подход – использовать не менее двух групп биоиндикаторов и сопоставлять полученные данные. При этом выбор индикаторных организмов должен учитывать специфику водного объекта: так, личинки кровососущих мошек зарекомендовали себя как эффективные индикаторы для текучих вод, однако в условиях стоячего карьерного озера их репрезентативность существенно снижается.

Набор индикаторов нельзя выбирать и без учёта особенностей самого объекта. Экосистема затопленной выработки формируется иначе, чем у естественного озера. Для карьера характерны крутые склоны и узкая литоральная зона, поэтому макрофиты развиваются слабо, а площадь мелководий, где обычно живёт основная часть бентоса, невелика. Водоём питается преимущественно грунтовыми и поверхностными стоками небольшой водосборной площади, обмен воды замедлен, а в глубоких частях возможна температурная стратификация. В первые годы вода обычно чистая и бедна питательными веществами, однако со временем на неё начинают влиять окружающие территории: смыв удобрений, ливневые стоки, стихийные свалки, рекреационная нагрузка.

Практика показывает, что состояние таких объектов неодинаково даже в пределах одного региона. Так, при изучении нескольких обводнённых карьеров по добыче песка и гравия в Калининградской области по гидрохимическим и гидробиологическим показателям были выявлены различия между водоёмами,

причём один из них оказался заметно чище остальных [5]. Следовательно, каждый карьер необходимо обследовать отдельно и не переносить выводы с одного объекта на другой.

Карьер «Барсуки» (Барсуковский карьер) расположен в городе Тула в посёлке Барсуки. Его история как горнодобывающего объекта берёт начало в 1930-х годах – тогда здесь вели добычу известняка для нужд металлургического комбината [6]. Статус водоёма карьер приобрёл в 1960-х годах: благодаря близости к городу, чистой воде и выразительному рельефу берегов он стал востребованным местом отдыха; кроме того, крутые склоны карьера нашли применение у любителей альпинизма [7].

В 2015 году было зафиксировано существенное снижение уровня воды в водоёме. По результатам проверки прокуратуры и обследования, проведённого в 2022 году специалистами городской администрации и МЧС, карьер официально признали непригодным для купания. При этом правовой статус участка остаётся неопределённым: земельный участок не поставлен на кадастровый учёт, а права собственности не разграничены [8].

Сведения о гидробиологическом состоянии карьера в доступных источниках отсутствуют. В связи с этим исследование его экологического состояния с применением биоиндикаторов представляется особенно важным – такие данные могут стать основой для обоснованных решений о перспективах дальнейшего использования территории. С учётом изложенного, для полноценного обследования карьерного водоёма рекомендуется организовать не менее трёх станций отбора проб. Первую стоит разместить в прибрежной зоне в месте, наиболее востребованном для отдыха – это позволит оценить антропогенную нагрузку. Вторую – также в прибрежье, но со стороны вероятного источника поверхностного стока: такая локация поможет выявить потенциальные пути поступления загрязняющих веществ. Третью станцию целесообразно заложить в центральной части водоёма – она будет отражать фоновое состояние акватории. Отбор проб оптимально проводить в вегетационный период минимум дважды: первый раз – в начале лета, второй – в конце августа или сентябре. Такой временной охват даёт возможность проследить динамику показателей в течение сезона. Регламент по выбору створов, срокам и методикам отбора закреплён в нормативном документе [9] и гидробиологическом руководстве [4].Основным показателем предлагается принять индекс сапробности, который рассчитывают по методу Пантле и Букка в модификации Сладечека (1):

$$S = \Sigma(s_i \cdot h_i) / \Sigma h_i, \quad (1)$$

где S – сапробная валентность вида-индикатора; h – показатель его относительного обилия; n – число видов-индикаторов в пробе. Значения сапробности видов берут из специальных таблиц и атласов [10]. Полученный индекс сопоставляют со шкалой качества воды (табл. 2).

Для объективной оценки состояния водоёма одного индекса сапробности недостаточно: его необходимо дополнять комплексом показателей. В качестве таких дополнительных критериев используют индекс Шеннона (как меру

видового разнообразия), долю цианопрокариот в общей численности организмов, а также данные о составе бентосных сообществ. Особую диагностическую ценность имеет рост доли сине-зелёных водорослей: он служит ранним индикатором эвтрофирования и потенциального «цветения» воды. Это особенно значимо для водоёмов, планируемых к использованию в рекреационных целях. Параллельно определяют гидрохимические параметры – прозрачность воды, концентрацию растворённого кислорода, содержание соединений азота и фосфора. Эти данные позволяют верифицировать выводы, полученные методами биоиндикации.

Таблица 2

Оценка качества воды по индексу сапробности

Класс	**Зона сапробности**	**Индекс S**	**Качество воды**
I – II	Олигосапробная	до 1,5	Очень чистая и чистая
III	β-мезосапробная	1,5 – 2,5	Умеренно загрязнённая
IV	α-мезосапробная	2,5 – 3,5	Загрязнённая
V	Полисапробная	3,5 – 4,0	Грязная

Практическая значимость полученных данных состоит в том, что они служат обоснованием для конкретных проектных решений по освоению территории карьера.

При индексе сапробности не более 2,5 и отсутствии устойчивого доминирования цианопрокариот водоём можно рассматривать как пригодный для рекреационного использования. В таком случае допустимо планировать обустройство прибрежных зон отдыха и благоустройство набережной – с учётом требований к безопасности и комфорту посетителей.

Если индекс сапробности превышает 2,5, рекреационное использование акватории нужно ограничить. Оптимальная стратегия – сохранить прибрежные территории в режиме природного озеленения и не предусматривать организацию купания. Прежде чем приступать к любому освоению участка, важно устранить действующие источники загрязнения – это базовое условие для стабилизации состояния водоёма.

Независимо от текущего состояния водоёма, проект застройки прилегающей территории обязан включать комплекс природоохранных мер:

- сформировать водоохранную зону и прибрежную защитную полосу с посадкой древесно-кустарниковой растительности – она будет выполнять функцию естественного фильтра и снижать эрозию берегов;
- предусмотреть систему сбора и очистки ливневых стоков до их попадания в карьер (например, с применением локальных очистных сооружений или биофильтров);
- исключить размещение парковок, складов и мест хранения химических реагентов в непосредственной близости от уреза воды;
- размещать площадки массового отдыха на безопасном удалении от берега – с учётом гидрологических и санитарных нормативов.

Для оценки результативности этих мероприятий целесообразно организовать регулярный контроль: повторную оценку по биоиндикаторам рекомендуется проводить ежегодно. Такой подход трансформирует разовое обследование в систему биомониторинга – это позволяет отслеживать динамику состояния водоёма и при необходимости своевременно корректировать проектные решения.

Таким образом, биоиндикация даёт комплексную картину состояния обводнённого карьера и служит важным дополнением к гидрохимическому контролю. В случае карьера «Барсуки» оптимальным признан комплексный подход: в качестве основного показателя используют индекс сапробности по фитопланктону, а в качестве дополнительных – индексы разнообразия, данные по структуре бентоса и гидрохимические параметры. Полученные результаты позволяют обоснованно определять допустимые функции территории и перечень водоохранных мероприятий, поэтому биомониторинг – существенная часть экологического обоснования градостроительных решений.

Список литературы

1. Захаров В.М. Мониторинг здоровья среды на охраняемых природных территориях / В.М. Захаров, А.Т. Чубинишвили. – М.: Центр экологической политики России, 2001. – 148 с.

2. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. – М.: Наука, 2005. – Кн. 1. – 281 с.

3. Дрозденко Т.В. Фитопланктон как индикатор экологического состояния водоема (на примере озера Барское, Псковская область) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2018. – Т. 18, Вып. 2. – С. 225–231.

4. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В.А. Абакумова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 240 с.

5. Моисеенко В.В. Экологическая оценка некоторых обводненных карьеров Калининградской области по гидрохимическим и гидробиологическим показателям / В.В. Моисеенко, А.С. Семенова // Учен. зап. Ереван. гос. ун-та. Геология и география. – 2025. – Т. 59, № 2. – С. 427-433.

6. Заречье. Краткая историческая справка [Электронный ресурс] // Администрация города Тулы. – URL: https://www.tula.ru/administration/territorial-control/zarechenskiy-district/district_brief_background/Kratkaya_spravka.php (дата обращения: 25.10.2026).

7. Лекция «Барсуковский карьер – маленькая жемчужина Тулы и окрестностей, которую мы рискуем потерять» [Электронный ресурс] // Культура.РФ. – URL: https://www.culture.ru/events/135617/lekciya-barsukovskii-karer-malenkaya-zhemchuzhina-tuly-i-okrestnostei-kotoruyu-my-riskuem-poteryat (дата обращения: 25.10.2026).

8. В Туле Барсуковский карьер признан непригодным для купания [Электронный ресурс] // Тулапресса. – 2022. – URL: https://tulapressa.ru/ 2022/08/

v-tule-barsukovskij-karer-priznali-neprigodnym-dlya-kupaniya/ (дата обращения: 25.10.2026).

9. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. – М.: Изд-во стандартов, 1982.

10. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. Атлас сапробных организмов. – М.: Изд. дом секретариата СЭВ, 1977. – 227 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОГО РАССОЛА ПРИРОДНОГО БИШОФИТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ/МЕЛИОРАНТА

Н.С. Верховецкий, М.В. Киселёв
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Санкт-Петербург

Аннотация. *В статье рассматривается влияние применения природного рассола бишофита в качестве удобрения/мелиоранта на развитие и качество урожая. Установлено, что применение бишофита дает улучшение на рост и развития растений без негативного влияния на агроэкосистемы.*

Ключевые слова: *природный рассол бишофита, хлористый магний, рост и развитие растений, вторичное сырье, экологическая эффективность, биоэкономика.*

Введение. В интенсивном сельском хозяйстве происходит большая нагрузка на окружаю среду, потому фактор экологической эффективности учитывается при планировании урожайности на текущий год. Все больше прибыли уходит на закупку минеральных удобрений в связи с ежегодным повышением цен них. Помимо их стоимости, нужно учитывать отрицательное воздействия на окружающую среду: эвтрофикация водоемов, ухудшение структуры почвы, негативное влияние на почвенную микрофлору и т.д. Фермеры вынуждены искать другие решения для получения высоких урожаев для получения сверхприбыли с нагрузкой на окружаю среду в рамках законодательства РФ. Правительство РФ приказом №2777-р от 5 октября 2026 года утвердила стратегию развития биоэкономики и разделила на 3 этапа, а именно для введения сельского хозяйства первый этап развития «Биоэкономика 1.0». В данном этапе рассматривается процесс переработки возобновляемых биологических ресурсов, а также экологических принципах, оптимизирующих использование энергии и питательных веществ, способствующих сохранению биологического разнообразия и предотвращающих деградацию почвы [1].

Предлагается рассмотреть применение природного рассола бишофита в качестве удобрения/мелиоранта на опыте раннее проведенных исследований и оценить его положительное влияние на растениеводческую продукцию, а также оценить возможность его использования в стандартных сельскохозяйственных мероприятиях. Рассол бишофита представляет водный раствор хлорида магния из очищенной соли, добываемой при бурении скважин Волгоградского

месторождения. В природном рассоле его содержание может достигать 400-450 г/л и более $MgCl_2*6H_2O$, получают методом подземного выщелачивания [2].

В Нижнем Поволожье зарегистрированы патенты на использование природного рассола бишофита в качестве мелиоранта и как средство для защиты растений.

Патент РФ № RU2268569C2. Способ заключается в увлажнении семян водным раствором бишофита с концентрацией 0,25-6,0 об.%. В него добавлен карбонат кальция в виде тонко измельченного порошка мела (для лучшей сыпучести семян) из расчета 1,5-2 кг на 1 тонну семян [3]. Цель разработки приема замачивания направлена на повышение всхожести семян. Из-за перехода с зональной на ландшафтную систему земледелия, которая приводит к расширению площади под многолетние кормовые травы с учетом того, что стоимость на семенной материал в пересчете на одну тонну высокая, поэтому поставлена задача увеличения к максимальной всхожести. Исследования проводились на семенах люцерны посевной, эспарцет песчаный, кострец безостый и житняк. Исследователи замечают, что опыты с семенами многолетних трав разработаны для каждого видов семян индивидуально, т.к. они по-разному реагируют на концентрацию солей в растворе.

Патент РФ №RU2527306C1. Бишофитцеолитовое удобрение пролонгированного действия. Задача исследования состояла в получении эффективного, экономически выгодного и экологически безопасного минерального удобрения природного происхождения [4]. При применении растения не имели заболевания грибными и бактериальными болезнями, визуально плоды выделялись критерием товарного вида, вегетационный период был продлен на 7 дней, урожайность повысилась на 18 %, а также содержание сахара в плодах томата увечилось на 2 %. При смешивании природного цеолита, измельченного до 3-5 мм, насыщенный 3%-ным природным раствором рассола бишофита образовывается бишофитцеолитовое удобрение пролонгированного действия за счет особенности цеолита. Свойство природных цеолитов выражается в поглощении раствора природного раствора бишофита за счет микрокристаллической структуры, где объем пор составляет 50 % объема каркаса минерала. В следствии микрокристаллическая «губка» является сорбентом и происходит молекулярная сорбция молекул [5]. Таким образом внесенная смесь цеолитов обеспечивает запас действующего вещества на посевной срок и за счет медленного выделения химических элементов в почву предотвращает от вымывания [6].

Патент РФ№RU2243659C1. Способ повышения устойчивости к болезням и вредителям сельскохозяйственных растений [7]. Описывается способ обработки посевного материала для повышения устойчивости растений к болезням и вредителям. При обработке посевного материала образовывается защитная пленка семенного материала, которая повышает устойчивость к карантинным возбудителям болезней и вредителям, а также улучшения свойств семенного материала за счет насыщения микроэлементами из раствора рассола бишофита. В данном изобретении описываются полученные результаты

положительного влияния на различные культуры, у которых получилось добиться повышения урожайности и качество конечной продукции.

Исходя из уже накопленного данного научно-прикладного материала на базе Санкт-Петербургского государственного агарного университета нами планируется закладка многолетнего полевого агрохимического опыта по следующей тематике: «Рецептуры и регламента применения рассола природного бишофита в сельском хозяйстве в качестве удобрения/мелиоранта». Данный опыт будет проводится в 2027-2029 годах с главной целью изучения не только прямого действия бишофита на конкретные сельскохозяйственные культуры, но и его последействия в звене севооборота. Данные исследования будут проведены впервые.

Заключение. Природный рассол бишофита является вторичным сырьем и как видно по аналитическим данным широко применяется в регионе Нижнего Поволожья. Его применение оценивается положительно и наблюдаются результаты его эффективного применения в виде удобрения и как средств для защиты растений. Минеральные удобрения помимо необходимых элементов питания содержат балластные вещества и примеси тяжелых металлов. При совместном применении можно добиться снижения доз природных минеральных удобрений, тем самым появляется возможность повысить экономическую и экологическую эффективность. Применение природного рассола бишофита как средство для защиты растений может позволить снизить, либо вообще исключить применение концентрированных органических средств, которые уничтожают не только вредную микрофлору или вредителей, но и полезную их часть.

Список литературы

1. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 5 октября 2026 г. №2777-р. Электронный ресурс. URL: http://government.ru/docs/60094/

2. Волгоградский магниевый завод. Электронный ресурс URL: http://vmz-vlg.ru/rassol-prirodnogo-bishofita/

3. Патент РФ №RU2268569C2. Способ предпосевной обработки семян многолетних растений. Захаров П.Я., Пшонко Л.Н., Гольман Н.А., Устименко А.Н. Нижне-Волжский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. 27.01.2006. Бюл.№03

4. Патент РФ №RU2527306C1. Бишофитцеолитовое удобрение пролонгированного действия. Овчинников А.С., Мещеряков М.П., Бочарников В.С., Бочарникова О.В., Якубов В.В., Долгова А.И. ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ. 27.08.2014. Бюл.№24.

5. Лобода Б.П. Применение цеолитсодержащего минерального сырья в растениеводстве / Б.П. Лобода // Агрохимия. – 2000. – № 6. – С. 78-91.

6. Переломов Л.В. Взаимодействие редкоземельных элементов с биотическими и абиотическими компонентами почв / Л.В. Переломов // Агрохимия. – 2007. – № 11. – С. 85-96.

7. Патент РФ№RU2243659C1. Способ повышения устойчивости к болезням и вредителям сельскохозяйственных растений. Кружилин И.Л., Ломтев А.В., Астахов А.А., Маслов А.В., Салдаев А.М. 10.01.2005. Бюл.№1

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ КОФЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СОЛОМЫ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ СОРТА ХАРЬКОВСКАЯ 46

Ю.С. Манакова, М.В. Киселёв
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин

Аннотация. *В десятивариантном вегетационном опыте было изучено влияние отходов кофейного производства (Decanter, Tricanter, Theo) на накопление общего азота, фосфора, калия и сырого протеина в соломе пшеницы яровой сорта Харьковская 46. В ходе изучения установлено, что применение кофейных отходов и органического удобрения Оргавит в смеси с минеральным удобрением способствует накоплению NPK и сырого протеина в соломе пшеницы. Наибольшее накопление изучаемых показателей отмечается в варианте с Оргавитом, среди кофейных отходов отмечаются варианты с кофейной шелухой Theo по накоплению общего азота и сырого протеина, и вариант с кофейным жмыхом Decanter по накоплению общего фосфора и калия. В данных вариантах применение кофейных отходов было совместно с минеральными удобрениями.*

Ключевые слова*: яровая пшеница, отходы кофейного производства, органическое удобрение, отход, decanter, tricanter, theo.*

Мировое потребление кофе постоянно растет, это приводит к образованию миллионов тонн отходов кофейного производства [1]. За 2025 год в России образовалось около 6 миллионов тонн кофейных жмыхов и различной дробленой шелухи от обмолота кофе. Кофейные отходы тяжело поддаются утилизации из-за их высокой влажности и быстро протекающих процессов гниения.

Кофейные отходы обладают высоким содержанием органического вещества [2], а также наличием в своем составе биофильных элементов, поэтому данные отходы могут стать малой альтернативой органическим удобрениям для почв [3].

Цель исследования – изучить влияние применения кофейных отходов на химический состав соломы пшеницы яровой сорта Харьковская 46.

Для проведения исследования был заложен вегетационный опыт, в сосудах Кирсанова. Масса почвы в сосуде 5 кг. Характеристика используемой в эксперименте почвы: почва дерново-подзолистая, среднесуглинистая, со среднекислой реакцией среды (pH_{KCl} – 5,3 ед. pH), с очень высоким содержанием органического вещества (6,3 %) и подвижного фосфора (350,0 млн$^{-1}$), и со средним содержанием подвижного калия (114,4 млн$^{-1}$).

Схема опыта состояла из 10 вариантов: 1. Контроль (без удобрений); 2. К + Оргавит; 3. К + Theo; 4. К + Decanter; 5. К + Tricanter; 6. Фон (NPK 16:16:16); 7. Ф + Оргавит; 8. Ф + Theo; 9. Ф + Decanter; 10. Ф + Tricanter.

Повторность опыта четырехкратная.

Схема опыта позволяет изучить действие отдельных форм кофейных отходов, а также сравнить их с традиционным органическим удобрением и комбинированным применением с минеральным удобрением.

Математическая обработка данных проводилась с помощью Microsoft Exel.

В опыте использовались 3 вида отхода кофе: кофейный жмых после двойной центрифуги (DECANTER), кофейная жмых после тройной центрифуги (TRICANTER) и дробленая кофейная шелуха (THEO). В качестве варианта сравнения использовали органическое удобрение «Оргавит».

Кофейные отходы и органическое удобрение вносили в одинаковой дозе 32 г на сосуд, что соответствует 10 т/га. В фоновом варианте применяли минеральное удобрение азофоска (N:P:K по 16) в дозе 3 г на сосуд (100 кг д.в.).

Яровую пшеницу в сосуд высевали в количестве 15 штук. Затем количество всходов уравнивали до 10.

По проведенному вегетационному опыту проводились исследования на содержание в соломе общего азота, фосфора, калия и сырого протеина. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав соломы пшеницы яровой сорта Харьковская 46

Вариант	Азот общий, %	Фосфор общий, %	Калий общий, %	Сырой протеин, %
1. Контроль	0,73	1,07	1,01	4,53
2. К+Оргавит	1,04	1,59	1,83	6,49
3. К+Theo	0,96	1,36	1,41	5,98
4. К+ Decanter	0,65	1,03	1,15	4,10
5. К+Tricanter	0,99	0,81	1,40	6,20
6. Фон	0,99	1,04	2,53	6,16
7. Ф+Оргавит	1,59	1,96	2,08	9,95
8. Ф+Theo	1,40	0,98	1,15	8,72
9. Ф+ Decanter	1,22	1,35	2,01	7,66
10.Ф+Tricanter	1,15	1,15	1,91	7,19
$НСР_{05}$	0,06	0,07	0,09	0,37

Наибольшее содержание общего азота в соломе пшеницы отмечается в вариантах 7 (Ф+Оргавит) – 1,59 % и 8 (Ф+Theo) – 1,40 %, что значительно выше контрольного варианта на 0,86 % и 0,67 % соответственно. Наименьшее содержание общего азота было в варианте 4 (К+ Decanter), что ниже контроля на 0,08%.

Применение Оргавита и Theo в смеси с минеральным удобрением положительно влияет на накопление азота.

Содержание сырого протеина напрямую связано с содержанием азота. Поэтому результаты аналогичны содержанию общего азота.

По накоплению общего фосфора в соломе яровой пшеницы с наиболее высоким значением отмечаются варианты с Оргавитом с применением минеральных удобрений (1,96 %) и без них (1,59 %). Самое низкое содержание фосфора отмечалось в варианте 5 (К+Tricanter) – 0,81 % что ниже контроля на 0,26 %.

Применение Оргавита как с минеральными удобрениями, так и без них способствовало накоплению фосфора в соломе пшеницы. Из вариантов с

кофейными отходами вариант 3 К+Theo и вариант 9 Ф+ Decanter превышали контрольный вариант на 0,29 %.

По содержанию общего калия наибольшее его содержание отмечается в варианте 6 (фон) – 2,53 %, в варианте 7 (Ф+Оргавит) – 2,08 % и в варианте 9 (Ф+ Decanter) – 2,01 %. Наименьшее содержание калия было в контрольном варианте (1,01 %) [4].

Применение кофейных жмыхов кроме варианта с кофейной шелухой Theo дают хорошую прибавку калия по сравнению с контролем.

По проведенному вегетационному опыту было установлено, что внесение кофейных отходов, а именно Decanter и Theo, а также органического удобрения Оргавит в смеси с минеральным удобрением способствует накоплению NPK и сырого протеина в соломе пшеницы яровой сорта Харьковская 46. Таким образом, кофейные отходы являются перспективным сырьем для использования в качестве органического удобрения.

Список литературы

1. Вирабян Д.Г. Кофейный жмых как источник биологически активных веществ и биоэнергии / Д.Г. Вирабян, В.И. Войтик // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: материалы XLIX научной и учебно-методической конференции (Санкт-Петербург, 29 января 2020 г.), Том 1. – Санкт-Петербург: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2020. – С. 30-34.

2. Черевко А.И. Оптимизация технологии использования кофейного сырья / А.И. Черевко, Г.И. Максименко, А.В. Мячиков, С.А. Мячикова // Научный результат. Серия: Технология бизнеса и сервиса. – 2015. – Т. 1, № 1(3). – С. 45-48.

3. Манакова Ю.С. Оценка возможности использования кофейного жмыха в качестве субстрата для выращивания сельскохозяйственных культур / Ю.С. Манакова // Агрохимический вестник. – 2025. – № 2. – С. 98-102.

4. da Silva C.C.G. Coffee waste as an eco-friendly and low-cost alternative for biochar production impacts on sandy soil chemical attributes and microbial gene abundance / da Silva C.C.G., de Medeiros E.V., Fracetto G.G.M. [et al.] // Bragantia. – 2021. – Vol. 80.

МЕЛИОРАТИВНЫЕ СВОЙСТВА И УДОБРИТЕЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ ОТСЕВОВ ДОЛОМИТА РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Я.Д. Белых, П.С. Манаков
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин

Аннотация. *В двухлетнем вегетационном опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, произвесткованной доломитовой мукой, приготовленной из отходной части отсевов разных месторождений Ленинградской области изучена урожайность и качество растений семейства гороха и горчицы.*

Ключевые слова: *дерново-подзолистая почва, химическая мелиорация, известкование, горох, горчица, отсев доломита.*

В агрофизическом институте и на кафедре почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой ФГБОУ ВО СПбГАУ длительное время ведутся исследования, посвященные изучению удобрительной ценности разных фракций известковых материалов, [1-4]. Начиная с 2011 года проводилось активное изучения мелиоративных свойств и удобрительной ценности отсева доломитовой крошки месторождения «Елизаветино», применяемой для в качестве мелиоранта для кислых почв. На данный момент на территории Ленинградской области накопилось уже более 70 млн. тонн доломитового отсева, более того проблема продолжает увеличиваться за счет разработки других месторождений [5]. Использование данных отходов позволит решить острую проблему с известкованием почв в регионе и высвободить площади, занятые данным отсевом.

Цель исследования – установить влияние отсевов доломита разных месторождений Ленинградской области на урожай растений гороха и горчицы.

Для проведения исследования был заложен 6-ти вариантный вегетационный опыт, в сосудах Кирсанова. Масса почвы в сосуде 5 кг. Физико-химическая характеристика почвы, используемой в эксперименте: pH_{KCl} 4,0 ед. pH; Нг – 4,32 ммоль(экв)/100 г; гумус – 4,36 %, подвижный фосфор (46,0 млн$^{-1}$ ГОСТ Р 54650-11) подвижный калий (60,1 млн$^{-1}$ ГОСТ Р 54650-11). Содержание частиц <0,01 мм – 21,4 %. Почва дерново-подзолистая легкосуглинистая, очень сильнокислая, с высоким содержанием гумуса и низким содержанием фосфора и калия.

При закладке опыта почву перемешивали с известковыми материалами и удобрениями. В качестве удобрений вносили азофоску по 16% N:P:K. Дозу известковых материалов корректировали по нейтрализующей способности. Известковые материалы предварительно анализировали на нейтрализующую способность по ГОСТ 14050-93. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Нейтрализующая способность доломитов

Месторождение	Σ действ. в-ва, %	$CaCO_3$, %	$MgCO_3$, %
Кикерино	86,70	44,54	42,16
Большие Борницы	83,59	46,54	40,05
Елизаветино	84,50	46,10	38,40

В опыте последовательно выращивали культуры отзывчивые на известкование: горох посевной (*Pisum sativum*) сорта Мадонна и горчица белая (*Sinapis alba)* сорта Елена. Уборку растений проводили в фазу цветения.

Схема опыта: 1. Контроль (NPK); 2. Конверсионный мел (КМ); 3. $CaCO_3$(х.ч.); 4. отсев Кикерино; 5. отсев Елизаветино; 6. отсев Большие Борницы. Повторность опыта трехкратная.

Схема опыта позволяет изучить закономерности действия доломитовой муки, приготовленной из отсева различных месторождений с другими

мелиорантами карбонатной природы (Конверсионным мелом и химически чистым $CaCO_3$).

Математическая обработка данных проводилась с помощью программы Microsoft Excel.

По проведенному вегетационному опыту 1 года исследования фиксировались урожайные данные гороха посевного сорта Мадонна представленные в таблице 2.

Таблица 2

Зеленая и сухая масса гороха посевного сорта Мадонна

Вариант	Зеленая масса, г	Сухая масса, г
1. Контроль	40,64	8,36
2. Конверсионный мел	55,86	10,31
3. $CaCO_3$(х.ч.)	56,80	10,22
4. Кикерино	58,15	10,66
5. Елизаветино	53,56	9,68
6. Большие Борницы	58,12	9,47
$НСР_{05}$	2,96	0,54

Анализ полученных данных показал, что наибольшее накопление зеленой массы растений гороха посевного отмечается в вариантах 4 и 6 (58,15 г и 58,12 г) соответственно, что выше контроля примерно в 1,4 раза. Наименьшую прибавку среди известковых материалов дал вариант 5 (53,56 г), однако зеленая масса превышала контрольный вариант на 12,92 г.

По содержанию сухого вещества контрольный вариант имел наименьшее значение 8,36 г. Стоит отметить, что все варианты по накоплению сухого вещества превышали контрольный вариант. Максимальное накопление сухой массы отмечается в варианте 4 (10,66 г), что на 2,3 г превышает контроль. Наименьшую прибавку среди известковых материалов дал вариант 6 (9,47 г).

Все изученные известковые материалы оказывают положительное влияние на накопление зеленой и сухой массы гороха посевного сорта Мадонна.

По проведенному вегетационному опыту 2 года исследования фиксировались урожайные данные горчицы белой сорта Елена представленные в таблице 3.

Таблица 3

Зеленая и сухая масса горчицы белой сорта Елена

Вариант	Зеленая масса, г	Сухая масса, г
1. Контроль	12,14	1,85
2. Конверсионный мел	54,94	5,50
3. $CaCO_3$(х.ч.)	62,93	6,02
4. Кикерино	67,64	6,78
5. Елизаветино	62,42	6,20
6. Большие Борницы	63,11	6,39
$НСР_{05}$	2,96	0,30

По полученным данным наибольшее накопление зеленой массы горчицы белой отмечается в варианте 4 (67,64 г). Все варианты превышали по содержанию зеленой массы контрольный вариант. наименьшее накопление зеленой массы в произвесткованных вариантах было в варианте 2 (54,94 г), что существенно примерно на 12 г ниже вариантов произвесткованных вариантов.

Анализ сухой массы растений гороха показал аналогичные результаты. Наибольшее накопление сухой массы отмечается в варианте 4 (6,78 г) что превышает контрольный вариант в 3,7 раза. Наименьшее накопление сухой массы также отмечается в варианте 2 (5,50 г).

Следовательно, применение известковых материалов оказывают положительное влияние на урожайные данные горчицы белой сорта Елена.

Таким образом, применение мелиорантов карбонатной природы, способствует накоплению зеленой и сухой массы растений гороха и горчицы. Более того применение доломитов разных месторождений по своей эффективности не уступает химически чистому карбонату кальция и конверсионному мелу.

Список литературы

1. Литвинович А.В. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства / А.В. Литвинович, О.Ю. Павлова, А.В. Лаврищев [и др.] // Агрохимия. – 2016. – № 2. – С. 31-41.

2. Небольсина З.П. Влияние отхода щебеночного производства на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и урожайность сельскохозяйственных культур / З.П. Небольсина, Л.В. Яковлева, А.В. Литвинович, А.В. Лаврищев // Нетрадиционные источники и приемы организации питания растений: материалы научн.-практ. конф., посвященной 90-летию кафедры агрохимии Нижегородской ГСХА. – Н. Новгород, 2011. – С. 52-53.

3. Манаков П.С. Влияние различных по размеру фракций отсева доломита на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, урожай и химический состав растений: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / П.С. Манаков. – Санкт-Петербург, 2024. – 142 с.

4. Салаев И.В. Экономическая эффективность использования отсева сыромолотого доломита в качестве мелиоранта на дерново-подзолистых почвах Северо-Запада РФ / И.В. Салаев, В.П. Царенко // Известия СанктПетербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 84-91.

5. Литвинович А.В. Динамика pH_{KCl} произвесткованной дерново-подзолистой супесчаной почвы мелиорантами различной химической природы / А.В. Литвинович, П.С. Манаков, А.В. Лаврищев [и др.] // Агрохимия. – 2024. – № 2. – С. 29-35.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ПОЧВОГРУНТА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

И.В. Салаев, А.Д. Бобова
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин

Аннотация. *В статье описаны результаты лабораторного опыта по оценке влияния различных соотношений компонентов отходов грунта, образующихся в ходе проведения земляных работ на продуктивность райграса пастбищного. Установлено, что как по количеству всходов, высоте растений, так и по биомассе наибольшей эффективностью обладает смесь с соотношением минерального грунта, песка и торфа 1:1:1 на фоне добавления азофоски.*

Ключевые слова*: отходы грунта, реутилизация, минеральный грунт, песок, торф, райграс пастбищный.*

Строительная индустрия – это стремительно развивающаяся экономическая отрасль, которая является основным материальным базисом формирования всех остальных отраслей экономики. Проблема утилизации строительных отходов с каждым годом набирает все большие масштабы [1,2].

Отходы грунтов образуются в ходе проведения земляных работ при раскопке котлованов, дорожностроительных работ, траншей и т.д. В Федеральном классификационном каталоге отходов (ФККО) такие грунты фигурируют как «отходы грунта при проведении земляных работ» [3]. В зависимости от места проведения земляных работ грунты обладают разными характеристиками.

При озеленении и благоустройстве территорий большое значение имеет грунт. Он должен обладать свойствами, обеспечивающими растения благоприятными условиями для роста и развития (чаще всего при озеленении используются газонные травы), бюджетность сырья так же является важной характеристикой.

Актуальным является использование отходов грунтов при проведении земляных работ для благоустройства территорий.

Наиболее важными характеристиками грунта при выращивании газонных трав являются: механический состав, содержание органического вещества, кислотность [4].

В настоящей работе исследуется влияние грунтовых смесей, полученных из отходов грунтов при проведении земляных работ **(**«минеральный грунт» – М, «песок» - П, «торф» - Т), на рост газонной культуры.

Цель исследования – изучить влияние различных составов грунтов, полученных на основе отходов при проведении земляных работ, на продуктивность райграса пастбищного.

Для проведения исследования был заложен лабораторный опыт.

Схема опыта представлена четырьмя вариантами:

Вариант 1. Контроль (Terra Vita);

Вариант 2. Смесь 1 (МПТ 1:1:1 + азофоска)

Вариант 3. Смесь 2 (МПТ 1:1:1 + азофоска+известняковая мука);

Вариант 4. Смесь 3 (МПТ 1:2:1 + азофоска).

Схема опыта составлена таким образом, чтобы можно было оценить влияние двух видов соотношений компонентов в смеси на рост и развитие растений. В схему добавлен вариант с дополнительным внесением известняковой муки для выявления эффекта от известкования.

Повторность опыта трехкратная. Масса грунтов в сосуде составляет 400 г. В опыте применялась азофоска 16:16:16 в дозе по 0,2г действующего вещества NPK на 1 кг грунта, и известняковая мука (88 %) в дозе 2,5г/кг (10т/га). Выращиваемая культура – райграс пастбищный (Lolium perenne). В контрольном варианте опыта использовали грунт универсальный марки Terra Vita.

В исследуемых компонентах предварительно были определены два показателя – содержание органического вещества и кислотность (таблица 1).

Таблица 1

Содержание органического вещества (С,%) и pH_{KCl} в исследуемых компонентах

№	Компоненты	С, %	pH_{KCl}
1	Минеральный грунт (тяжелая глина)	3,4	6,81
2	Песок	1,0	6,31
3	Торф	86,0	3,46
4	Terra Vita	55,0	6,30

На основании полученных данных был определён план проведения эксперимента. Ориентиром для создания смесей компонентов из отходов служил суглинистый и супесчаный грунт с содержанием органического вещества до 30 %.

Посев семян осуществлялся вручную в опытные сосуды.

Через три дня после закладки эксперимента появились всходы растений. Данные по количеству всходов сведены в таблице 2.

Таблица 2

Количество всходов растений

№ варианта	Наименование	Число всходов, шт
1	Контроль (Terra Vita)	60
2	Смесь1 (МПТ 1:1:1 + азофоска)	13
3	Смесь2 (МПТ 1:1:1 + азофоска+известняковая мука)	17
4	Смесь3 (МПТ 1:2:1 + азофоска)	7

Согласно данным таблицы 2 наибольшее количество всходов зафиксировано в контрольном варианте. В вариантах со смесями 1 и 2 количество всходов было меньше в 4,6 и 3,5 раза соответственно. Наименьшее количество всходов оказалось в варианте со смесью 3.

В таблице 3 представлены данные по количеству растений через неделю после закладки опыта.

Наибольшим количеством растений в сосуде характеризуется контрольный вариант.

Таблица 3

Количество растений на седьмой день опыта

№ варианта	Наименование	Число растений, шт.
1	Контроль (Terra Vita)	110
2	Смесь1 (МПТ 1:1:1 + азофоска)	66
3	Смесь2 (МПТ 1:1:1 + азофоска+известняковая мука)	75
4	Смесь3 (МПТ 1:2:1 + азофоска)	49

В вариантах с исследуемым грунтом количество растений меньше в 1,5-2,2 раза. При этом, если разница между вторым и третьим вариантом составляет только 9 растений, то в четвёртом варианте растений значительно меньше. Более песчаный грунт оказался менее эффективен (рис. 1).

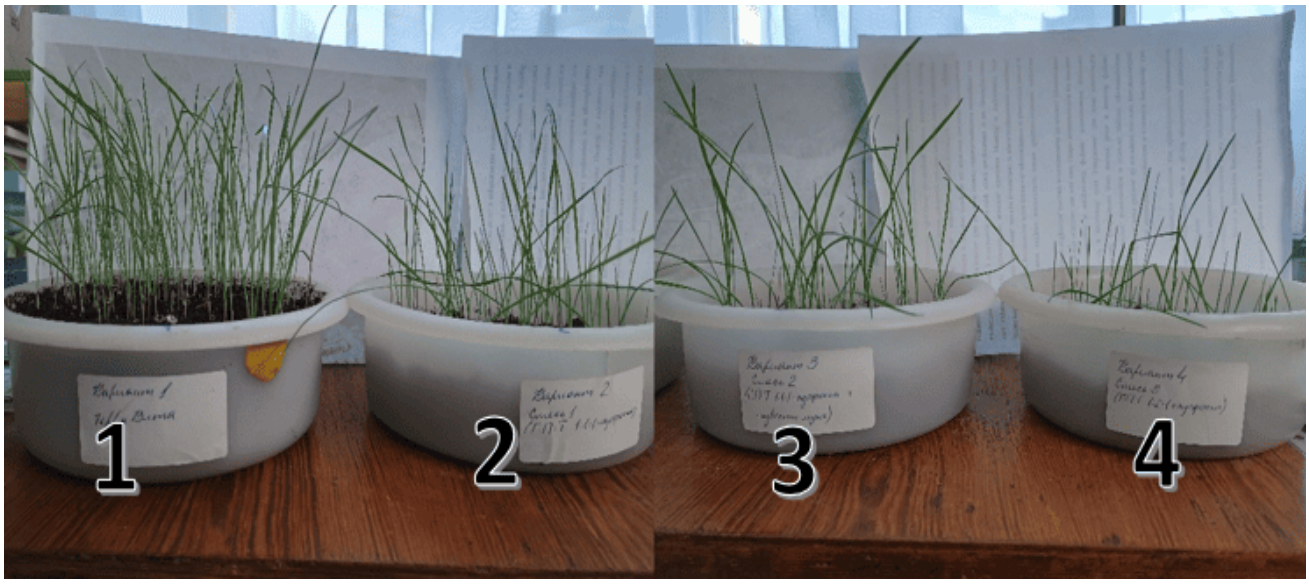


Рис. 1. Развитие растений на 7 день опыта (№1-4 – вариант опыта)

Уборку растений проводили спустя 18 дней после закладки эксперимента, предварительно измерив высоту растений. Данные по высоте растений спустя 18 дней занесены в таблицу 4.

Наибольшая высота зафиксирована в контрольном варианте. В вариантах опыта со Смесями 1 и 2 высота райграса не отличалась друг от друга и составляла 15 см. В варианте со Смесью 3 высота растений наименьшая – 12 см.

Таблица 4

Высота растений

№	Наименование	Высота, см
1	Контроль (Terra Vita)	18
2	Смесь1 (МПТ 1:1:1 + азофоска)	15
3	Смесь2 (МПТ 1:1:1 + азофоска+известняковая мука)	15
4	Смесь3 (МПТ 1:2:1 + азофоска)	12
		$НСР_{05}$=2

На рисунке 2 показаны растения всех вариантов перед уборкой опыта.



Рис. 2. Развитие растений на 18 день опыта (№1-4 – вариант опыта)

В таблице 5 сведены данные по биомассе растений райграса.

Согласно данным наибольшая биомасса растений получена в контрольном варианте опыта – 7,05г. В остальных вариантах масса значительно меньше. В вариантах со Смесями 1 и 2 масса растений не отличалась друг от друга – 5,16 г и 5,14 соответственно. Следовательно, известкование не повлияло на биомассу райграса. Существенное снижение по отношению к этим двум вариантам опыта произошло в варианте со Смесью 3 – 3,51г. Таким образом, более песчаный грунт оказался менее эффективным.

Таблица 5

Биомасса райграса

№	Наименование	Масса, г
1	Контроль (Terra Vita)	7,05
2	Смесь1 (МПТ 1:1:1 + азофоска)	5,16
3	Смесь2 (МПТ 1:1:1 + азофоска+известняковая мука)	5,14
4	Смесь3 (МПТ 1:2:1 + азофоска)	3,51
		$НСР_{05}$=0,31

На рисунке 3 заметно проективное покрытие площади сосуда растениями. Наименьшее покрытие площади характерно для варианта 4, что согласуется с полученными ранее результатами эксперимента.



Рис. 3. Проективное покрытие площади сосуда растениями
(№1-4 – вариант опыта)

По результатам проведенного лабораторного опыта было установлено, что смесь минерального грунта, песка, торфа в соотношении 1:1:1 с добавлением азофоски оказалась более эффективной при выращивании райграса пастбищного, чем соотношение 1:2:1. Известкование не оказало существенного влияния на рост и развитие растений.

Список литературы

1. Бахтиева И.Р. Управление строительными отходами. Утилизация строительных грунтов / И.Р. Бахтиева // Обращение с отходами: современное состояние и перспективы: Сборник статей II Международной научно-практической конференции, Уфа, 10 ноября 2020 года. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2020. – С. 80-83.

2. Маликова Т.Ш. Оценка жизненного цикла систем управления отходами / Т.Ш. Маликова, А.Х. Агадуллина, И.О. Туктарова // Уральский экологический вестник. – 2014. – № 2. – С. 16

3. Федеральный классификационный каталог отходов 2020 http://kod-fkko.ru/kod-81110000000-othody-grunta-pri/

4. Степанов А.В. Экологическая оценка влияния разного состава почвогрунта и травосмеси на состояние модельных газонов в условиях Москвы / А.В. Степанов, В.А. Потапова, Д.В. Морев, И.И. Васенев // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 6 – (54).

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ ОСВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

В.С. Гантимуров, Л.Г. Степаненко
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Санкт-Петербург

Аннотация. *В статье рассматривается биологическая эффективность разных марок органоминерального удобрения, изготовленного на основе обработанного осадка сточных вод, полученных с его использованием. Приведены результаты лабораторных экспериментов по выращиванию многолетних газонных трав. Оценивалось влияние исследуемых составов на высоту растений, отдельные биометрические показатели и накопление зелёной и сухой биомассы. Установлено, что применение удобрений на основе Марка 2 ОСВ в большинстве вариантов обеспечивало увеличение продуктивности по сравнению с поливом водопроводной водой. При этом характер реакции зависел от состава удобрения: наилучшие показатели получены на многолетних травах – при применении Марок 2 и 3, приготовленных на воде.*

Ключевые слова: *органоминеральное удобрение, осадок сточных вод, биологическая эффективность, многолетние травы, биомасса, минеральное питание.*

Введение. В современном растениеводстве возрастает интерес к удобрениям, которые сочетают элементы минерального питания с органическими компонентами и позволяют более рационально использовать вторичные ресурсы. Наряду с традиционными минеральными удобрениями применяются составы, содержащие органические вещества, гуминовые соединения и другие компоненты, способные оказывать влияние на систему «почва – растение – удобрение». Их практическая ценность связана не только с непосредственным обеспечением растений питательными элементами, но и с возможным стимулирующим и мелиоративным действием [1].

Одним из направлений такого подхода является переработка промышленных и коммунальных побочных продуктов с последующим использованием в сельском хозяйстве. В исследуемом материале в качестве основы органоминерального удобрения используется осадок сточных вод, прошедший обеззараживание и дополненный элементами минерального питания. Такая технология позволяет рассматривать вторичный ресурс как сырьё для получения агрохимической продукции. Вместе с тем, эффективность готового состава должна подтверждаться экспериментально, поскольку результат зависит от культуры, состава удобрения, концентрации и условий применения [2].

В исходном исследовании были разработаны три марки органоминерального удобрения, отличающиеся набором минеральных компонентов при близком суммарном содержании основных элементов питания. Это позволило сопоставить влияние самой основы и различных способов её обогащения. Целью работы являлась оценка биологической эффективности трёх марок органоминерального удобрения при выращивании многолетних газонных трав [3].

Объекты и методика исследований. Исследования проводились в 2025 году в лаборатории светокультуры и сити-фарминга Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Объектами являлись органоминеральное удобрение на базе очищенного ОСВ (база), а также три марки удобрения – Марка 1, Марка 2 и Марка 3, приготовленные с использованием данной основы. В качестве растительных объектов смесь многолетних газонных трав.

Основой удобрения Марка 2 ОСВ служил осадок сточных вод после обработки и обеззараживания. Поскольку исходная база характеризовалась низким содержанием основных элементов питания, при разработке марок в неё вводили минеральные соли азота, фосфора и калия. Для обеспечения сопоставимости вариантов суммарное содержание NPK в марках поддерживали на уровне около 15 %. Марка 1 получена с добавлением аммиачной селитры и диаммофоски; Марка 2 - с использованием водорастворимого комплексного удобрения «Акварин»; Марка 3 - на основе жидкого комплексного удобрения, хлористого калия и карбамида.

Был заложен лабораторный опыт по восьми вариантам. В качестве абсолютного контроля использовали полив водопроводной водой, отдельным контрольным вариантом являлось очищенное ОСВ (База). Остальные варианты включали три марки, приготовленные либо на дистиллированной воде, либо на базе. В опыте многолетние травы при трёхкратной повторности.

Семена высевали в сосуды с универсальным торфяным субстратом TerraVita. Растения выращивали при температуре воздуха около 22-23 °С, относительной влажности 65-75 % и фотопериоде 16 часов. Высоту растений учитывали дважды – 12 и 29 декабря 2025 года. При уборке учитывали зелёную и сухую массу. Результаты обрабатывали методами математической статистики с использованием Microsoft Excel; для оценки существенности различий применяли дисперсионный анализ.

Результаты исследований.

Влияние удобрений на многолетние газонные травы

В опыте изучали многолетнюю травосмесь, включавшую райграс многолетний, овсяницу луговую, тимофеевку луговую и овсяницу красную. При первом измерении высота растений находилась в пределах 9,2-12,4 см. Наибольшая высота была отмечена в варианте с Маркой 1 на базе Марка 2 ОСВ – 12,4 см. К окончанию опыта максимальное значение зафиксировано в варианте с Маркой 1, приготовленной на воде, – 30,7 см. В остальных вариантах высота составляла 24,7-26,8 см.

Различия по накоплению биомассы показали, что все удобренные варианты превосходили абсолютный контроль. Масса зелёной травяной массы в контроле составила 16,10 г, тогда как при применении удобрений она достигала 20,07-30,52 г. Наибольшая зелёная масса получена при использовании Марки 3 на воде – 30,52 г, практически аналогичный результат обеспечила Марка 2 на воде – 30,44 г. Наибольшая сухая масса отмечена в варианте с Маркой 1 на базе Марка 2 ОСВ - 3,84 г; в абсолютном контроле этот показатель составлял 2,09 г.

Таблица 1

Урожайность многолетних трав, г/сосуд

№	Вариант опыта	Зелёная масса	Сухая масса
1.	Контроль 1 вода	16,10	2,09
2.	Контроль 2 база	20,12	2,40
3.	Марка 1 вода	27,79	2,89
4.	Марка 2 вода	30,44	3,37
5.	Марка 3 вода	30,52	3,06
6.	Марка 1 база	26,81	3,84
7.	Марка 2 база	22,79	2,69
8.	Марка 3 база	20,07	2,62
	$НСР_{05}$	3,80	0,46

Для многолетних трав варианты марок, приготовленных на воде, по показателю зелёной массы в целом превосходили соответствующие варианты на базе. Вместе с тем по сухой массе наилучший результат был получен при использовании Марки 1 на базе

Заключение

Результаты лабораторных исследований свидетельствуют о положительном влиянии органоминерального удобрения и полученных на его основе марок на рост и продуктивность многолетних газонных трав. В большинстве вариантов применение удобрений обеспечивало увеличение высоты растений и накопления биомассы по сравнению с абсолютным контролем, в котором использовали водопроводную воду.

Для многолетних трав наибольшая зелёная масса получена при использовании Марок 2 и 3 на воде – 30,44 и 30,52 г соответственно, а максимальная сухая масса – при применении Марки 1 на базе – 3,84 г.

Полученные данные показывают, что эффективность исследуемых составов зависит от выбранной рецептуры. Исходная база ОСВ также обеспечивала положительный эффект относительно абсолютного контроля. Для уточнения регламентов применения удобрения на многолетних травах необходимы более продолжительные исследования в течение полного вегетационного периода с проведением нескольких укосов. В дальнейшем целесообразно продолжить сравнительную оценку марок, уделив внимание не только ростовым показателям и урожайности, но и качеству получаемой продукции.

Список литературы

1. Брындина Л.В. Исследование осадков сточных вод для получения органоминерального удобрения / Л.В. Брындина, А.Ю. Корчагина // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27, № 4. – С. 17-21.

2. Гантимуров В.С. Оценка биологической эффективности разных марок удобрения на основе фугата ОСВ при выращивании салата листового в условиях светокультуры / В.С. Гантимуров, М.В. Киселев // Актуальные вопросы

биологии, экологии и охраны природы: тезисы материалов международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов), проводимой в рамках празднования «Дня Земли», Санкт-Петербург, 21-22 апреля 2026 года. Сборник научных статей № 18. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2026. – С. 9-11. – EDN CRVOZC.

3. Патент № 2704292 C2 Российская Федерация, МПК C05G 1/00, C05F 7/00, C05C 1/00. минеральное удобрение: № 2018110870: заявл. 27.03.2018: опубл. 25.10.2019 / А.Д. Анисимов, Б.А. Дмитревский, Н.Е. Ермоленко [и др.] ; заявитель Государственное унитарное предприятие «Водоканал Санкт-Петербурга», Общество с ограниченной ответственностью «Центр масштабирования технологий переработки отходов». – EDN ZPSCPQ.

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

П.В. Агапова, А.С. Пинаева
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Пушкин

Аннотация. *Проведена комплексная оценка токсичности трех форм отходов деревообрабатывающей промышленности (мелкой фракции коры, осадка бассейна гидротермической обработки и древесной золы) методами биотестирования на тест-объектах различных трофических уровней: бактериальной тест-системе «Эколюм», культуре микроводоросли Chlorella vulgaris и проростках пшеницы (Triticum durum). Установлено, что неразбавленные водные вытяжки всех исследуемых форм обладают выраженной токсичностью, причем древесная зола демонстрирует наиболее устойчивый токсический эффект, сохраняя высокую токсичность для бактерий даже при разведении 1:10 и вызывая полное угнетение всхожести и роста корней высших растений в чистом виде (I класс опасности); полная детоксикация достигается при пропорции смешивания с почвой не менее 1:100 для золы и 1:10 для коры и осадка бассейна, что подтверждает принципиальную возможность их рециклинга в качестве компонентов компостных смесей при условии соблюдения дифференцированных пропорций внесения.*

Ключевые слова: *отходы деревообрабатывающей промышленности, древесно-корные отходы, биотестирование, фитотоксичность.*

Актуальность вовлечения кородревесных отходов и золы в хозяйственный оборот подтверждается масштабными промышленными инициативами по созданию рекультивационных грунтов из осадка бассейнов гидротермической обработки и золы. Современные тенденции рециклинга отходов деревообработки направлены на их биотехнологическую трансформацию в ценные компоненты органических удобрений и компостных смесей [1, 2]. Однако прямое внесение необработанных древесно-корных остатков и золы в почву недопустимо из-за высокого риска фитотоксичности, обусловленного накоплением фенольных соединений, ингибирующих рост растений, и дисбалансом физико-химических свойств отходов [1,2]. В связи с этим

обязательным этапом разработки любых удобрительных субстратов является комплексная оценка их биологической безопасности методами биотестирования на модельных объектах различных трофических уровней (бактерии, водоросли, высшие растения) [3,6]. Научные исследования подтверждают, что процессы компостирования эффективно нейтрализуют токсичные вещества, обогащая отходы биогенными элементами и повышает их агрономическую ценность [1,4].

Цель исследования – комплексная оценка токсичности трех форм отходов деревообрабатывающей промышленности (мелкая фракция коры, осадок бассейна гидротермической обработки, древесная зола) методами биотестирования на тест-объектах различных трофических уровней для обоснования возможности их безопасного рециклинга в качестве компонентов органических удобрений и компостов.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования выступили три формы отходов деревообрабатывающей промышленности: мелкая фракция – фрагменты коры различных пород деревьев размером 5-15 см; осадок бассейна – полуперепревшая кора древесных растений, сформированная в результате накопления в бассейнах гидротермической обработки; зола – смесь полностью и частично сгоревшей древесины.

Агрохимический анализ включал определение pH, зольности, электропроводности, содержания общего азота, фосфора, калия и фенолов в соответствии с ГОСТ 27979-88, ГОСТ 26714-85, ГОСТ 26423-85, ГОСТ 26717-85, ГОСТ 26718-85, ГОСТ 26715-85 и ПНДФ 14.1:2:4.182-02.

Оценка токсичности проводилась методами биотестирования на тест-объектах трех трофических уровней: бактериальное биотестирование – тест-система «Эколюм» по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04); альгологическое биотестирование – по изменению оптической плотности культуры микроводоросли *Chlorella vulgaris* (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04); фитотестирование – по всхожести семян и длине корней проростков высших растений (пшеница твердая). [3]

Математическая обработка данных включала расчет средних арифметических значений, оценку погрешности измерений, вычисление индекса токсичности (Т) и процентного отклонения от контроля с последующей классификацией степени опасности.

Результаты исследований. Агрохимический анализ выявил существенные различия в физико-химических свойствах исследуемых объектов: мелкая фракция коры и осадок бассейна характеризуются слабокислой реакцией среды (pH 5,00-5,13) и умеренной зольностью (14,3-21,5 %), тогда как древесная зола отличается резко щелочной средой (pH 10,25), высокой зольностью (73,5 %) и высокой электропроводностью (13,0 мСм/см). Максимальное содержание биогенных элементов установлено в золе (фосфор 4,4 %, калий 2,11 %, азот 0,73 %), в то время как осадок бассейна выделяется наибольшим содержанием общего азота (0,81 %) среди органических форм, при этом фосфор не обнаружен ни в мелкой фракции, ни в осадке бассейна, а калий отсутствует в мелкой

фракции. Фенольные соединения, обладающие выраженной фитотоксичностью, не выявлены ни в одном из исследованных образцов.

Результаты бактериального биотестирования тест-системой «Эколюм» показали, что неразбавленные водные вытяжки всех трех исследуемых форм древесно-корных отходов обладают выраженной токсичностью для биолюминесцентных бактерий: индекс токсичности (Т) составил 91,85 ± 1,4 % для мелкой фракции, 41,44 ± 4,82 % для осадка бассейна и 91,51 ± 3,19 % для древесной золы. При разведении вытяжек в соотношении 1:10 токсичность мелкой фракции и осадка бассейна полностью снижается (Т = 0 %), тогда как зола сохраняет высокий уровень токсичности (80,68 ± 7,40 %), классифицируемый как «сильно токсичен». Полная детоксикация водных вытяжек древесной золы достигается только при разведении 1:100 (Т = 0 %), что свидетельствует о наиболее устойчивом и выраженном токсическом эффекте именно этой формы отходов по отношению к бактериальным тест-объектам.

Результаты альгологического биотестирования с использованием культуры *Chlorella vulgaris* показали, что водные вытяжки мелкой фракции и осадка бассейна при разведении 1:10 проявляют выраженную токсичность, вызывая ингибирование (26,6 %) в первом оъекте и аномальную стимуляцию (41,7 %) – во втором, тогда как при разведении 1:100 токсический эффект полностью снимается. Древесная зола не проявляет токсичности для микроводорослей ни в одном из исследованных разведений (отклонение от контроля составило 1,4 % и 12,2 % при стимуляции роста).

При фитотестировании наблюдался дифференцированный характер токсического воздействия исследуемых форм древесно-корных отходов на тест-объект *Triticum durum*. (Таблица) Мелкая фракция коры и осадок бассейна в чистом виде (разведение 1:0) демонстрируют идентичный характер фитотоксичности: при сохранении всхожести семян на уровне контроля (100 %) наблюдается умеренное угнетение роста корневой системы на 22 % (длина корня 29 мм при контрольных 37 мм), что соответствует IV классу опасности (малоопасные субстраты). Вероятно, установленный эффект обусловлен присутствием в свежей и полуперепревшей коре фитотоксичных веществ терпеноидной природы, ингибирующих клеточное деление в меристематических тканях корня. [5]

Древесная зола характеризуется принципиально иным проявлением токсичности: в чистом виде она полностью блокирует как прорастание семян, так и рост корней (индекс угнетения 100 %, I класс опасности – чрезвычайно опасный субстрат), что коррелирует с экстремальными значениями pH солевой вытяжки (10,25) и электропроводности (13,0 мСм/см), создающими условия осмотического и щелочного стресса для проростков.

Введение исследуемых отходов в почвенный субстрат обеспечивает выраженную детоксикацию, однако требует различных пропорций разбавления в зависимости от химической природы материала. Для мелкой фракции и осадка бассейна пропорция 1:10 достаточна для полного нивелирования токсического эффекта (индекс угнетения снижается до 3-8 %, V класс опасности). Для

древесной золы восстановление длины корней до контрольных значений требует более высокого разведения (1:100), тогда как всхожесть семян восстанавливается уже при пропорции 1:10. При промежуточном разведении золы 1:10 наблюдается селективная токсичность: всхожесть семян восстанавливается до 100 %, однако длина корней остается угнетенной на 84 % (II класс опасности – опасный грунт), что свидетельствует о преимущественном воздействии минеральных компонентов золы на корневую меристему.

Результаты оценки фитотоксичности исследуемых форм отходов и почвенных субстратов

Вариант	**Разведение**	**Всхожесть семян, % (от контроля)**	**Длина корня, мм (% от контроля)**	**Индекс угнетения, %**	**Класс опасности**
Контроль	-	100	37 (100)	0	-
Мелкая фракция	1:0	100	29 (78)	22	IV (малоопасен)
Мелкая фракция+ почва	1:10	100	36 (97)	3	V (неопасен)
Мелкая фракция+ почва	1:100	100	36 (97)	3	V (неопасен)
Осадок бассейна	1:0	100	29 (78)	22	IV (малоопасен)
Осадок бассейна+ почва	1:10	100	35 (95)	5	V (неопасен)
Осадок бассейна+ почва	1:100	100	34 (92)	8	V (неопасен)
Зола	1:0	0 (0)	0 (0)	100	I (чрезвычайно опасен)
Зола+почва	1:10	100	6 (16)	84	II (опасен)
Зола+почва	1:100	100	36 (97)	3	V (неопасен)

Выводы. 1.Установлена выраженная токсичность неразбавленных водных вытяжек всех трех форм древесно-корных отходов (мелкой фракции коры, осадка бассейна и древесной золы) для тест-объектов различных трофических уровней, причем древесная зола демонстрирует наиболее устойчивый токсический эффект, сохраняя высокую токсичность для бактерий даже при разведении 1:10.

2. Выявлена критическая фитотоксичность древесной золы в чистом виде (I класс опасности), обусловленная экстремальными значениями pH (10,25) и электропроводности (13,0 мСм/см), тогда как мелкая фракция коры и осадок бассейна классифицируются как малоопасные (IV класс); при этом доказана эффективность почвенной буферной системы, обеспечивающей полную детоксикацию коры и осадка бассейна уже при пропорции 1:10, тогда как для древесной золы требуется разведение не менее 1:100.

3.Подтверждена принципиальная возможность рециклинга исследованных форм древесно-корных отходов в качестве компонентов компостных смесей при условии соблюдения дифференцированных пропорций их внесения в почвенный

субстрат, что требует дальнейших комплексных исследований для разработки регламентированных рецептур и оценки долгосрочного влияния на почвенный микробиоценоз.

Список литературы

1. Абузов А.В. Возможный потенциал использования различных отходов для создания биоудобрений / А.В. Абузов, Е.В. Дахова, А.С. Шевчук, К.А. Бархатов // Инженерный вестник Дона. – 2023. URL: https://ivdon.ru/ru/ magazine/ archive/ n7y2023/8564.

2. Володин В.В. Тенденции в развитии методов утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения (обзор) / В.В. Володин, А.А. Шубаков, С.О. Володина, Н.Н. Шергина, Р.Г. Василов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – Т. 23, № 5. – С. 611–632. – DOI: https://doi.org/ 10.30766/ 2072-9081.2022.23.5.611-632.

3. Капелькина Л.П. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв / Л.П. Капелькина [и др.]. – СПб: Фора-принт. – 2009. – Т. 19.

4. Пинаева А.С. Влияние осадка сточных вод на накопление Pb, Cd в системе почва-растение / А.С. Пинаева, И.В. Ельшаева // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4(69). – С. 113-121. – DOI 10.24412/2078-1318-2022-4-113-121.

5. Райс Э. Аллелопатия / Пер. с англ.; под ред. А. М. Гродзинского. – М.: Мир, 1978. – 392 с

6. Романов В.Н. Свойства гранулированных азотсодержащих удобрений на основе сосновых опилок и исследование их эффективности при выращивании пшеницы в земледельческой зоне Красноярского края / В.Н. Романов, Н.С. Козулина, Т.А. Снытkова, А.В. Василенко, М.А. Михайлец, А.Г. Липшин, М.Ю. Белаш, Е.В. Веприкова, А.А. Соболев, О.П. Таран // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 570-581. – DOI: 10.17516/1998-2836-0264.

ТЕХНОЛОГИИ ЗДОРОВЬЯ. ВЛИЯНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПРОБЛЕМЫ ГОРОДСКОГО ШУМА: ИСТОЧНИКИ, ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЗДОРОВЬЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ И СТРАТЕГИИ СНИЖЕНИЯ

В.М. Панарин, Е.М. Рылеева, В.В. Голикова, А.П. Селиверстова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье анализируются проблемы шумового загрязнения городов Российской Федерации, его влияние на здоровье и стратегии снижения шума. Обобщены данные исследований, медицинские и экономические последствия, российские разработки в области шумозащиты. Приведены таблицы и графики; все формулировки оригинальны.*

Ключевые слова: *шумовое загрязнение, городской шум, транспортный шум, здоровье населения, шумозащитные экраны, акустическое планирование, урбанизация.*

Шумовое загрязнение представляет собой одну из наиболее значимых экологических угроз современной урбанистической среды. В отличие от химического или радиационного загрязнения, шум невидим, не имеет запаха и не оставляет следов после прекращения воздействия, однако его негативное влияние на здоровье населения и качество городской жизни носит масштабный и устойчивый характер. Согласно данным российских исследователей, шумовое загрязнение является важнейшим экологическим показателем городской среды и одним из наиболее агрессивных видов загрязнения городских территорий.

Проблема городского шума имеет выраженные социальные и экономические измерения: она снижает стоимость недвижимости, уменьшает производительность труда, способствует росту расходов на здравоохранение. В условиях продолжающейся урбанизации и роста транспортных потоков актуальность исследования данной проблемы неуклонно возрастает.

Актуальность темы подтверждается и нормативной базой: действующие санитарные нормы (СанПиН 1.2.3685-21) устанавливают жёсткие пределы допустимого шума, однако на практике они регулярно превышаются [1, 2]. Это делает необходимым не только констатацию фактов, но и поиск решений, сочетающих технические, градостроительные и управленческие инструменты.

В российских городах доминирующим источником шума остаётся автотранспорт, однако его влияние нельзя рассматривать изолированно: шум усиливается за счёт особенностей городской среды – высокой плотности застройки, узких улиц, отражающих поверхностей фасадов и отсутствия зелёных буферных зон. В результате даже умеренные транспортные потоки создают значительные превышения нормативов на примагистральных территориях.

Натурные измерения, проведённые в Воронеже в мае 2023 года, показали, что эквивалентный уровень шума вдоль автомагистрали в дневное время превышает допустимые уровни на 17,8-19,7 дБА, а в ночное время – на 22,6-25,7 дБА. Превышение шумового лимита зафиксировано также во внутреннем дворе – на детской площадке и в зоне отдыха. Значительная часть исследуемой территории практически полностью подвержена воздействию транспортного шума на расстояниях до 100 м в дневное время и до 200 м в ночное время.

Помимо автотранспорта, существенный вклад в суммарный акустический фон вносят железнодорожный транспорт, строительные работы, промышленные объекты и низкочастотные компоненты от крупных транспортных узлов (МКАД, метро, крупные развязки). Особенность низкочастотного шума – его способность распространяться на большие расстояния и проникать в помещения даже при наличии остекления, что делает его особенно проблемным для жилых зон. Исследование низкочастотного шумового загрязнения в посёлке Мосрентген (Москва) выявило превышение предельно допустимых значений вибрационного и акустического фона до 28 дБ. Источниками низкочастотного шумового загрязнения являются МКАД и строящаяся станция метро. Распределение источников городского шума и их вклад в акустическую нагрузку представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные источники городского шума и их характеристика

Источник шума	**Характер воздействия**	**Особенности распространения и контроля**
Автомобильный транспорт	Постоянный, круглосуточный	Зависит от интенсивности потока; усиливается в «бутылочных горлышках» и на перекрёстках
Железнодорожный транспорт	Периодический, интенсивный	Локализован вдоль путей; хорошо поддаётся экранированию
Строительные работы	Временный, локальный	Высокие пиковые уровни; контролируется временными ограничениями
Промышленные предприятия	Постоянный, локализованный	Подлежит санитарно-защитным зонам; уровни зависят от технологии
Низкочастотный шум (МКАД, метро)	Постоянный, кумулятивный	Трудно гасится традиционными методами; требует специальных решений

Данные натурных измерений в разных городах показывают устойчивую картину превышения предельно допустимых уровней (ПДУ). В Воронеже замеры в новых жилых комплексах у автомагистралей показали, что днём уровни шума достигают 72,8-74,7 дБА (при ПДУ 55 дБА), а ночью – 67,6-70,7 дБА (ПДУ 45 дБА). Сравнительные данные о фактических уровнях шума в различных российских городах, полученные в ходе натурных измерений, систематизированы в таблице 2.

Таблица 2

Фактические уровни шума в городах Российской Федерации на основе анализа российских исследований [3, 5]

Город	Место измерения	Время суток	Фактический уровень, дБА	Превышение ПДУ, дБА
Воронеж	Примагистральная территория (новые жилые комплексы)	День	72,8–74,7	17,8–19,7 (ПДУ = 55 дБА)
Воронеж	Примагистральная территория (новые жилые комплексы)	Ночь	67,6–70,7	22,6–25,7 (ПДУ = 45 дБА)
Воронеж	Удаление 50 м от магистрали	День	Выше норматива	3,8–10,5
Воронеж	Удаление 50 м от магистрали	Ночь	Выше норматива	8,3–10,5
Москва (пос. Мосрентген)	Зона влияния МКАД и метро	Круглосуточно	До 28 (низкочастотный компонент)	До 28
Волгоград	Городская среда (различные точки)	Круглосуточно	Зафиксированы превышения	Зафиксированы превышения
Красноярск	Жилая застройка	Ночь	Выше норматива	Зафиксировано превышение

Данные измерений подтверждают, что превышение ПДУ наблюдается не только на примагистральных территориях, но и в жилых дворах, на детских площадках и в зонах отдыха. Значительная часть исследуемой территории подвержена воздействию транспортного шума на расстояниях до 100 м в дневное время и до 200 м – в ночное.

Рассмотрим механизмы и стадии воздействия городского шума на здоровье. Российские исследования подтверждают данные международных организаций о негативном влиянии шума на здоровье. Установлено, что шум в больших городах снижает продолжительность активной жизни на 8-12 лет. Транспортный шум существенно влияет на функциональное состояние слухового анализатора: через проводящие пути он воздействует на различные центры головного мозга, запуская каскад нейроэндокринных и сосудистых реакций.

Влияние шума на здоровье нельзя сводить к «раздражению» или «плохому сну»: это системный фактор, запускающий каскад физиологических реакций. Ключевым звеном считается активация стресс-систем организма, которая при длительном воздействии приводит к устойчивым нарушениям.

Один из важнейших механизмов – эндотелиальная дисфункция. Под действием хронического шума развивается окислительный стресс, снижается выработка оксида азота (NO), ответственного за расслабление сосудов, и повышается продукция эндотелина-1 – мощного сосудосуживающего агента. В

результате формируется состояние, способствующее развитию артериальной гипертензии и прогрессированию атеросклероза. Этот путь объясняет, почему даже умеренное, но постоянное шумовое воздействие связано с ростом сердечно-сосудистых заболеваний [4].

Другой значимый путь – нейроэндокринный. Постоянный шум активирует симпатоадреналовую систему, повышая уровень кортизола и катехоламинов. Это приводит к учащению пульса, росту артериального давления, нарушению засыпания и снижению доли глубокого сна. Со временем такие реакции закрепляются, формируя устойчивый паттерн стресса даже в отсутствие непосредственного шума.

Даже при отсутствии экстремальных воздействий шумовая экспозиция оказывает негативное влияние на физиологическое и психоэмоциональное состояние человека. Это подтверждает необходимость учёта шумового фактора при планировании городской среды. Систематизированные данные о воздействии шума на здоровье населения представлены в таблице 3.

Таблица 3

Медицинские эффекты воздействия городского шума [4]

Эффект	Механизм
Нарушения сна	Прямое пробуждение, нарушение архитектуры сна, снижение доли глубокого сна
Болезни системы кровообращения	Стресс-реакции, активация симпатоадреналовой системы, повышение артериального давления, эндотелиальная дисфункция
Инфаркт миокарда	Хронический стресс, системное воспаление, прогрессирование атеросклероза
Снижение слуха	Повреждение волосковых клеток внутреннего уха, нейросенсорная тугоухость
Психоэмоциональные нарушения	Хроническое раздражение, повышение уровня кортизола, тревожность, раздражительность
Сокращение активных лет жизни	Кумулятивное воздействие, накопление повреждений на клеточном и органном уровнях

Реакция организма на шум развивается поэтапно, от адаптации к дезадаптации и формированию клинически значимых заболеваний. Стадийность развития патологических реакций организма на шумовое воздействие представлена в таблице 4.

Такая стадийность подчёркивает важность раннего вмешательства: меры, эффективные на стадии компенсации, могут быть недостаточными на стадии дезадаптации. Отсюда следует необходимость не только технических решений, но и мониторинга акустической среды для своевременного выявления проблемных зон.

Экономические издержки шума часто недооценивают, потому что они носят скрытый характер. Однако их можно структурировать и оценить количественно.

Таблица 4

Стадии развития реакций организма на шумовое воздействие

Стадия	**Характеристика**	**Клинические проявления**
I. Адаптационная	Привыкание к шуму, кратковременная активация защитных механизмов	Временное повышение порога слуха, субъективное ощущение «привыкания»
II. Компенсаторная	Мобилизация защитных сил, активация стресс-систем	Повышение АД, учащение пульса, нарушение засыпания
III. Дезадаптационная	Истощение резервов адаптации, формирование устойчивых нарушений	Хроническая усталость, стойкие нарушения сна, тревожность
IV. Патологическая	Развитие клинически значимых заболеваний	Гипертония, ишемическая болезнь сердца, неврозы, снижение слуха

Прямые затраты связаны с системой здравоохранения: рост числа обращений по поводу сердечно-сосудистых и психоневрологических расстройств, увеличение потребности в диагностике и лечении. Косвенные потери проявляются в снижении производительности труда из-за ухудшения концентрации, повышенной утомляемости и роста числа ошибок. Ещё один значимый канал – обесценивание недвижимости в шумных районах: по данным региональных рынков, снижение стоимости жилья может достигать 10-20 %, что напрямую влияет на налоговую базу муниципалитетов и инвестиционную привлекательность территорий.

Социальные издержки труднее измерить, но они не менее важны: ухудшение качества жизни, рост социальной напряжённости, снижение привлекательности города для квалифицированных специалистов и семей с детьми. Структура экономических издержек от городского шума представлена в таблице 5.

Таблица 5

Структура экономических издержек от городского шума

Категория издержек	Составляющие	Оценка последствий
Прямые затраты на здравоохранение	Лечение сердечно-сосудистых патологий, нарушений сна, психических расстройств, увеличение числа обращений за медицинской помощью	Рост нагрузки на поликлиники и стационары
Потери производительности труда	Снижение концентрации, утомляемость, рост числа ошибок и несчастных случаев на производстве	Снижение ВВП на уровне города/региона
Обесценивание недвижимости	Снижение стоимости жилья в шумных районах	Снижение налоговых поступлений, ухудшение инвестиционного климата
Социальные издержки	Ухудшение качества жизни, социальная напряжённость, снижение привлекательности территории для инвестиций	Долгосрочное снижение человеческого капитала

Современные технологии и решения, применяемые при строительстве новых жилых комплексов, не всегда способны устранить зону акустического дискомфорта. Для снижения площади зоны акустического дискомфорта рекомендуется принимать меры по снижению интенсивности движения на исследуемой территории путём развития дорожной сети и системы общественного транспорта, запрета мотоциклетного и грузового движения на данной улице, особенно в ночное время, улучшения озеленения прилегающей территории и установки прозрачных шумозащитных экранов [6].

С учётом всех вышеизложенных издержек становится очевидным, что борьба с шумом – это не «дополнительные расходы», а экономически оправданная инвестиция.

Эффективные меры должны действовать на всех этапах: в источнике шума, на пути распространения и в точке воздействия. Наиболее применимые в российских городах подходы.

- Шумозащитные экраны и насыпи. Позволяют снизить уровень шума на 8-24 дБА в зависимости от высоты, конструкции и расположения. Особенно эффективны вдоль автомагистралей и железных дорог.
- Акустическое зонирование. Выделение «тихих» зон (школы, больницы, парки) и ограничение шумных видов деятельности в этих районах. Это не требует больших затрат, но даёт быстрый эффект за счёт перераспределения потоков.
- Оптимизация транспортных потоков. Развитие дорожной сети, перераспределение грузового транспорта, запрет мотоциклетного и грузового движения в ночное время. Такие меры снижают пиковые уровни шума и улучшают ночной акустический комфорт.
- Развитие «тихих» видов транспорта. Внедрение электромобилей, расширение сети велосипедных дорожек, развитие общественного электротранспорта. Это долгосрочные меры, но их эффект накапливается.
- Использование звукопоглощающих материалов. Применение пористых покрытий, акустических панелей, зелёных фасадов и кровель. Такие решения особенно уместны в плотной застройке, где установка экранов затруднена.
- Озеленение и ландшафтное проектирование. Высадка полос деревьев и кустарников, создание буферных зон между источниками шума и жилыми массивами. Важно, что эффект зависит от плотности и высоты насаждений.
- Мониторинг шума в реальном времени. Развёртывание сетей датчиков для оперативного выявления проблемных участков и оценки эффективности мер. Это позволяет принимать решения на основе данных, а не предположений.

В новых жилых комплексах целесообразно применять комплексный подход: сочетание экранов, озеленения и ограничений движения на прилегающей территории. Такой подход не только снижает уровень шума, но и повышает привлекательность жилья, компенсируя часть затрат за счёт рыночной стоимости.

Шумовое загрязнение городов – это системная проблема, требующая междисциплинарного подхода. Натурные измерения подтверждают, что

превышения ПДУ носят устойчивый характер и затрагивают не только примагистральные территории, но и жилые дворы и зоны отдыха. Патогенное действие шума реализуется через каскад физиологических реакций, ключевым звеном которых является эндотелиальная дисфункция и хронический стресс. Экономические потери включают как прямые затраты на здравоохранение, так и косвенные – в виде снижения производительности и обесценивания недвижимости. Эффективное решение требует сочетания технических мер (экраны, материалы), градостроительных решений (зонирование, планировка) и управленческих инструментов (мониторинг, нормирование). При таком подходе снижение шума становится не только экологической, но и экономической задачей с измеримым эффектом.

Список литературы

1. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 (ред. от 24.12.2025).

2. МР 2.2.4.0013-23. Оценка профессионального риска для здоровья работников от воздействия шума. – Текст: электронный // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

3. Котов А.Н. Низкочастотное шумовое загрязнение северо-восточной части пос. Мосрентген (г. Москва) / А.Н. Котов, А.О. Агибалов, А.А. Сенцов // Геофизические процессы и биосфера. – 2023. – Т. 22, № 2. – С. 109-121.

4. Бельская Е.Н. Относительный риск здоровью населения города от шумового загрязнения / Е.Н. Бельская, О.В. Тасейко, У.С. Постникова // Безопасность жизнедеятельности. – 2025. – № 2. – С. 27-32.

5. Карижский Д.И. Шум как фактор экологического благополучия городской среды на примере г. Волгограда / Д.И. Карижский // Природные системы и ресурсы. – 2026. – Т. 16, № 2. – С. 30-37.

6. Комкин А.И. Особенности уменьшения уровня звука экранами Т-образного профиля / А.И. Комкин, Р.Н. Мусаева // Акустический журнал. – 2023. – Т. 69, № 6. – С. 756-764.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОПОР МОСТОВ В ЗАБАЙКАЛЬЕ

В.И. Коннов, В.А. Кирюхина
Забайкальский институт железнодорожного транспорта –
филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет
путей сообщения» в г. Чите

Аннотация. *Наледный и мерзлотный пояса применяются для устранения давления на фундаменты сооружений и опоры железнодорожных мостов. Рассмотрена методика определения ширины пояса С поверху и задаваясь коэффициентом заложения откосов, вычисляется его ширина по дну b. Методика позволяет упростить процесс расчетов за счет построенных графиков для определения глубины промерзания пояса как функции k_r для*

различных значений параметра b. Мерзлотная перемычка пояса будет прочной, если ее ширина по дну превышает 0,5 м.

Ключевые слова: *мерзлотный пояс, размеры канавы, зимний период, развитие наледей, водоносный слой, зоны вечной мерзлоты.*

Мерзлотные и наледные пояса в настоящее время широко применяются в практике противоналедной борьбы в холодный период года. Практикой подтверждается, что перехват подземных вод перед насыпями, фундаментами сооружений вполне возможен устройством мерзлотных и наледных поясов в зимний период [1-5]. Надежные методы их расчета отсутствуют. Ниже предлагаются рекомендации по расчету параметров мерзлотных и наледных поясов, которые дают удовлетворительные результаты. Основным условием при проектировании мерзлотного пояса, исходя из принципа его работы, будет верный расчет его геометрических размеров. Исследования проводились на перегоне Забайкальской железной дороги (рисунок).



Наледный участок исследований на перегоне Забайкальской железной дороги

В зимний период на участке образуется бугор наледи высотой до 3,5 м и длиной до 150 м. Бугор наледи прилегает к железнодорожной насыпи и гидродинамическое давление воды приводит к подъемке и просадке пути, тем самым влияя на пропускную способность участка. Для исключения роста бугра наледи вдоль насыпи выполнена канава мерзлотного пояса.

Ниже приведены расчеты ее параметров. Определим геометрические характеристики мерзлотного пояса на участке, используя следующие исходные данные: песчаные грунты основания; многолетнемерзлые грунты; температура грунтов на глубине 10 м равна -3℃; объемный вес грунтов $\gamma_{\text{ск}}$ = 1700 $^{\text{кг}}/_{\text{м}^3}$; влажность грунтов w = 25 %; водоупор – многолетнемерзлый грунт, глубина залегания 2,2 м; продолжительность минусовых температур r = 2400 ч; средняя температура воздуха (°С) за период r равна $t_{\text{ВОЗ}}$ = -20°С.

1. Расчетным путем устанавливаем коэффициенты δ и $k_{\text{Г}}$, которые характеризуют, соответственно, климатические характеристики района перегона

и категории грунтов мерзлотного пояса. Эти характеристики принимаются как среднее по геологическому разрезу водонасыщенного слоя:

$$k_{\Gamma} = \frac{4 \bullet 2 \bullet 20 \bullet 2400}{80 \bullet 900} = 5{,}3; \; \delta = \frac{2}{0{,}0042 \bullet 80 \bullet 900} = 0{,}00044.$$

2. При условии, если многолетнемерзлые грунты – водоупор, определяем их толщину h_{BM} (м): $h_{BM} = 1{,}13 \bullet 0{,}00044 \bullet 3 \bullet 2400$ м

3. Определяем опытным путем глубину залегания водоупора на участке:

$$h_1 = 2{,}2 - 0{,}6 - 0{,}07 = 1{,}53 \text{ м}$$

4. На основании вычисленных значений коэффициента δ и величины h_1 по графикам устанавливается параметр b, затем по формуле $C = \sqrt{8h_{\text{К}}b - 4h_K^2}$ определяется ширина канавы *С* поверху и, наконец, задаваясь заложением откосов, можно вычислить ширину ее по дну. Для обеспечения необходимой прочности и устойчивости мерзлотной перемычки под канавой ширина ее по дну должна быть не менее 0,5 м. Используя $k_{\Gamma} = 5{,}3$ м и h_1 = 1,53 м графически находим b = 4 м. Тогда, с учетом вышеприведенных величин, можем вычислить ширину канавы поверху, С:

$$\text{С} = \sqrt{8 \bullet 0{,}6 \bullet 4 - 4 \bullet 0{,}36} = 4{,}2 \text{ м}.$$

Зададимся заложением откосов канавы 1:2 и определим ширину канавы по дну, которая будет равна 2,0 м.

Таким образом, приведенная методика может быть использована для определения параметров канавы мерзлотного пояса.

Список литературы

1. Экологическая и техносферная безопасность. Научно-прикладные задачи и решения: монография / под общ. ред. Научного совета ГНИИ «Нацразвитие». – СПб: ГНИИ «Нацразвитие», 2024. – 80 с. ISBN 978-5-00213-407-6 DOI 10.37539/240704.2024.56.58.001

2. Данильченко С.Л. Развитие российской социально-экономической системы: вызовы и перспективы: монография / С.Л. Данильченко, А.Н. Фомичев, В.Н. Круглов [и др.]; гл. ред. Э.В. Фомин; Чувашский государственный институт культуры и искусств. – Чебоксары: Среда, 2024. – 200 с. ISBN 978-5-907830-14-1. DOI 10.31483/a-10584

3. Качество жизни населения и экология: монография / Под общ. ред. Л.Н. Семерковой. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – 140 с. – Текст: непосредственный.

4. Алексеев В.Р. Основные итоги изучения наледей на территории Сибири и Дальнего Востока / В.Р. Алексеев, Н.Ф. Савко, А.И. Сизиков – Текст : непосредственный // Зап. Забайкальского филиала Геогр. Об-ва СССР. – Чита, вып. 92, 1973. – С. 7-98.

5. Ельчанинов Е.А. Мероприятия по снижению пучения и осадки грунтов оснований горных и природоохранных сооружений в Забайкалье / Е.А. Ельчанинов [и др.] – Текст: непосредственный // Горный информационно–аналитический бюллетень. – 2014. – № 4. – С. 86-91.

ШУМ КАК НЕБЛАГОПРИЯТНЫЙ ФАКТОР ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ: ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

В.М. Панарин, А.А. Плющёв
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В работе рассмотрено шумовое загрязнение городских территорий как фактор, способный ухудшать условия проживания и здоровье населения. Сопоставлены особенности транспортных, стационарных и строительных источников. Отмечено значение ночного шума для сна и стрессовых реакций. На основе опубликованных исследований и нормативных документов предложен порядок комплексной оценки акустической нагрузки с учётом фонового шума, максимальных уровней звука и режимов строительных работ. Работа носит аналитический характер; собственные натурные измерения не проводились.*

Рост транспортных потоков, уплотнение застройки и развитие инфраструктуры изменяют акустическую среду крупных городов. Шум не накапливается подобно химическим загрязнителям, но при регулярном воздействии способен нарушать отдых и вызывать неблагоприятные физиологические реакции. Особенно сложна ситуация в жилых кварталах, где транспортный фон сочетается с работой инженерного оборудования и строительной техники.

По данным Европейского агентства по окружающей среде, в 2025 г. около 112 млн жителей Европы испытывали длительное воздействие транспортного шума выше пороговых значений, принятых в европейской системе оценки [1]. Эти сведения не следует непосредственно переносить на российские города, однако они показывают масштаб проблемы.

Цель исследования – определить основные составляющие городской шумовой нагрузки и предложить подход к оценке её потенциального влияния на здоровье населения с отдельным учётом строительных работ.

Автомобильный транспорт создаёт продолжительный шумовой фон, зависящий от интенсивности и состава потока, скорости движения, дорожного покрытия и расстояния до жилых зданий. На него накладываются кратковременные события – разгон, торможение, проезд тяжёлых автомобилей и звуковые сигналы. Для железнодорожного и наземного рельсового транспорта характерны интервалы относительной тишины между отдельными интенсивными событиями. В обоих случаях важны как средние, так и максимальные уровни звука.

Вентиляционные установки, насосы, кондиционеры и другое стационарное оборудование могут действовать продолжительное время, в том числе ночью. Их воздействие усиливается в замкнутых дворовых пространствах и при малом расстоянии до окон квартир.

Строительные площадки отличаются переменным составом источников: при земляных работах, разгрузке материалов, устройстве фундаментов и монтаже конструкций применяются разные машины и механизмы.

Продолжительность и интенсивность шума меняются по этапам строительства. Поэтому один усреднённый показатель не всегда отражает характер акустического воздействия, особенно при кратковременных шумных работах [2].

В рекомендациях Всемирной организации здравоохранения длительное воздействие шума окружающей среды рассматривается в связи с нарушениями сна, выраженным раздражением и сердечно-сосудистыми последствиями [3]. Реакция человека зависит не только от уровня звука, но и от повторяемости событий, времени суток и возможности восстановления в периоды тишины.

Ночной шум способен увеличивать время засыпания, вызывать пробуждения и снижать качество отдыха. При этом невысокий эквивалентный уровень за ночь не исключает отдельных громких событий. Повторяющееся нарушение сна и эмоциональное напряжение могут сопровождаться стрессовыми реакциями. В исследовании Е.А. Давыдовой и соавторов рассмотрены риски заболеваний системы кровообращения при шумовом воздействии на урбанизированных территориях [4].

К уязвимым группам относятся дети, пожилые люди и лица с хроническими заболеваниями. Шум затрудняет концентрацию внимания, общение и восстановительный отдых. Российские исследования также подчёркивают значимость гигиенической оценки шумовой нагрузки и мер по её снижению [9]. При этом доказательная база долгосрочного воздействия наиболее развита для транспортных источников.

Для практической оценки воздействия следует разграничивать показатели физической экспозиции и последствия для населения. Данные шумового контроля необходимо рассматривать вместе с суточным режимом источников, а жалобы жителей – как дополнительный источник, указывающий на проблему.

В России действует СанПиН 1.2.3685-21, который предусматривает нормирование эквивалентных и максимальных уровней звука [5]. Эквивалентный уровень характеризует звуковую энергию за интервал наблюдения, а максимальный – отдельные наиболее интенсивные события. Для жилых комнат квартир установлены эквивалентные уровни 40 дБА днём и 30 дБА ночью, максимальные – соответственно 55 и 45 дБА. Нормативы для помещений и прилегающих территорий различаются и применяются с учётом установленных условий и поправок.

При оценке жилой территории целесообразно выбирать контрольные точки около фасадов, магистралей, стройплощадок и внутри кварталов. Необходимо фиксировать время наблюдения, погодные условия, интенсивность движения и режимы работы техники. Измерения должны выполняться по применимым требованиям ГОСТ 23337-2014 [10]. Отдельная задача – выделение вклада строительства на фоне других источников; необходимость учёта фоновой составляющей отмечена Д.Н. Кошурниковым и соавторами [6-8].

Если два независимых источника действуют одновременно в одном расчётном интервале, их уровни суммируются энергетически:

$$L\Sigma = 10 \lg (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10}), \text{ дБА}, \quad (1)$$

где L_1 и L_2 – сопоставимые по времени эквивалентные уровни звука отдельных источников.

При интерпретации результатов важно сопоставлять акустические показатели, полученные за одинаковые интервалы и при сопоставимых режимах работы источников. Если транспортный поток или строительные операции заметно менялись между наблюдениями, то в подобных случаях полезны повторные наблюдения по сходным временным сценариям и независимая регистрация периодов работы оборудования. Такой подход позволяет отделить закономерные изменения фоновой обстановки от воздействия конкретной технологической операции.

Наиболее проблемны участки, где строительная площадка расположена непосредственно у жилой застройки. В узких дворах и между высокими зданиями звуковое поле зависит не только от расстояния, но и от многократных отражений от фасадов.

Для анализа целесообразно разделять работы по характеру работ: земляные работы, погрузку и разгрузку, монтаж и движение строительного транспорта. По каждому сценарию следует учитывать типы оборудования, продолжительность и время выполнения работ. Особого внимания требуют ночные работы, поскольку даже временный источник может нарушить сон жителей.

Если оборудование невозможно отключить для определения фонового шума, можно сопоставлять временные ряды акустических измерений с журналом строительных операций и данными опорных точек вне зоны преимущественного влияния площадки. Практические меры включают перенос наиболее шумных процессов на день, размещение техники дальше от жилых фасадов, временные акустические экраны и изменение маршрутов строительного транспорта. Их эффективность необходимо проверять для конкретной геометрии застройки.

Шумозащитные меры целесообразно выбирать по характеру воздействия. У источника это снижение шумности оборудования и изменение режима его работы; на пути распространения – экранирование и использование существующих преград; у защищаемого объекта – повышение звукоизоляции ограждающих конструкций. Для кратковременных строительных операций первоочередное значение часто имеет организационное ограничение времени их выполнения. Выбор решения требует сопоставления ожидаемого акустического эффекта с продолжительностью работ и условиями проживания.

Предлагаемый подход включает четыре последовательных этапа: выявление источников и периодов их работы; оценку эквивалентных и максимальных уровней; анализ условий воздействия на жителей, прежде всего ночью; обоснование и последующую проверку защитных мероприятий.

Результат комплексной оценки предлагается оформлять как характеристику территории, содержащую сведения об основных источниках, дневных и ночных интервалах, измеренных либо расчётных уровнях, периодах максимального воздействия и рекомендуемых мерах. Принципиально важно

отдельно обозначать исходные измерения, данные из литературы и условные расчёты. Это позволит избежать необоснованного переноса общих эпидемиологических оценок риска на конкретный строительный объект и повысит прозрачность экологического обоснования.

Городской шум – комплексный фактор экологического неблагополучия, определяемый сочетанием интенсивности, длительности и времени воздействия. Наибольшее значение для сохранения здоровья имеют предупреждение нарушений сна и ограничение длительных стрессовых реакций. Помимо транспортного и стационарного шума необходимо учитывать строительные работы, особенно в условиях плотной застройки и в ночные часы.

Предложенный методический порядок объединяет характеристику источников, учёт фонового шума, оценку отдельных акустических событий и выбор мер защиты. Он может использоваться при планировании наблюдений и разработке мероприятий по снижению шумовой нагрузки на жилых территориях мегаполисов.

Список литературы

1. European Environment Agency. Environmental Noise in Europe 2025. EEA Report No. 05/2025. Copenhagen, 2025.

2. Буторина М.В. Обзор методов оценки и снижения шума строительных площадок / М.В. Буторина, С.А. Донцов // Noise Theory and Practice. – 2026. – Т. 12, № 2 (45). – С. 54-67.

3. World Health Organization. Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018.

4. Давыдова Е.А. Оценка рисков возникновения болезней системы кровообращения от шумового воздействия на урбанизированных территориях / Е.А. Давыдова, Е.Н. Бельская, Ю.С. Постникова, О.В. Тасейко // Проблемы управления. – 2023. – № 1. – С. 36-44. DOI: 10.25728/pu.2023.1.4.

5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

6. Кошурников Д.Н. Фоновый шум как элемент акустической картины территорий с нормируемыми показателями среды обитания / Д.Н. Кошурников, А.Л. Пономарев, О.А. Молок // Noise Theory and Practice. – 2021. – Т. 7, № 2. – С. 53-64.

7. Шубин И.Л. Оценка влияния отраженной звуковой энергии на шумовой режим жилой застройки / И.Л. Шубин, А.И. Антонов, В.И. Леденев // Жилищное строительство. – 2018. – № 8. – С. 18-21.

8. МР 2.1.10.0421-26. Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума. Методические рекомендации. Роспотребнадзор, 2026.

9. Егорова А.М. Гигиеническая оценка влияния шума на здоровье населения и мероприятий по его снижению в современных условиях / А.М. Егорова, М.В. Егорова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2025. – № 3. – С. 18-22.

10. ГОСТ 23337-2014. Шум. Методы измерения шума на территориях жилой застройки и в помещениях жилых и общественных зданий.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПОГРУЗКЕ НЕФТЯНЫХ ТАНКЕРОВ НА МОРСКИХ ТЕРМИНАЛАХ

Е.А. Бабаков[1], Л.А. Тюрина[2]
[1] Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
[2] Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва

Аннотация. *Проведён сравнительный анализ четырёх существующих подходов к экологической оценке морских нефтеналивных терминалов. Разработан риск-ориентированный подход, основанный на расчёте интегрального показателя экологического риска, объединяющего вероятности опасных событий, масштаб последствий и уязвимость принимающей акватории. Предложена расчётная методика, включающая четырёхуровневую шкалу риска и алгоритм с замкнутым контуром управления. Апробация на примере погрузки нефтяного танкера дедвейтом 105 тыс. т подтвердила работоспособность метода для количественной оценки и снижения риска грузовых операций.*

Морские нефтеналивные терминалы относятся к объектам концентрации экологических опасностей прибрежных зон: стационарные источники выбросов, регулярная эмиссия паров углеводородов при наливе, а также аварийно-опасные операции швартовки и присоединения грузовых манифольдов. Ключевые виды воздействия – летучие органические соединения (ЛОС) и аварийные разливы нефти. Рост грузооборота нефти и ужесточение требований Приложения VI МАРПОЛ 73/78, включая правило 15 [1], обусловливают потребность в количественных методах экологической оценки грузовых операций.

В практике экологической оценки воздействия деятельности морских нефтеналивных терминалов исторически сформировались четыре методологических подхода. Санитарно-гигиенический подход сопоставляет фактические концентрации загрязняющих веществ с гигиеническими нормативами по СанПиН 1.2.3685-21 и нормативами допустимых выбросов: он юридически обязателен и единообразен, однако фиксирует свершившийся результат и не содержит вероятностных характеристик. Технологический подход (наилучшие доступные технологии) оценивает процессы и удельные показатели оборудования [2], но опирается на среднеотраслевые показатели, слабо чувствителен к конкретной акватории и требует значительных капитальных вложений. Экономический подход переводит воздействие в денежную форму через плату за негативное воздействие [3]: он создаёт финансовые стимулы, однако ставки платы могут быть занижены, а вероятность аварийных сценариев в расчёт не входит. Подход «нулевого выброса» ориентируется на полное устранение эмиссии – системы возврата паров, налив без выброса, декарбонизацию портовой инфраструктуры [4], но отличается высокой капиталоёмкостью и отсутствием количественной шкалы приемлемости. Общий недостаток всех четырёх подходов – статичность: они констатируют соответствие объекта нормативам на дату контроля, не оперируют вероятностями технологических отклонений и не учитывают уязвимость

принимающей среды, что обусловило разработку нового риск-ориентированного подхода.

Нормативную основу нового подхода составляют ГОСТ Р ИСО 31000-2019 [5], определяющий принципы и процесс менеджмента риска, ГОСТ Р 58771-2019 [6] с методами оценки риска, а также ГОСТ Р ИСО 14001-2016 [7]. Подход опирается на три принципа: соизмеримости – приведение частных характеристик опасности к безразмерной шкале [0; 1]; уязвимости – учёт чувствительности принимающей среды, поскольку одинаковая по массе эмиссия по-разному сказывается на экосистемах открытого шельфа и полузакрытых акваторий с ограниченным водообменом; управляемости – результат оценки непосредственно преобразуется в решение о допуске, ограничении или приостановке грузовых операций.

Интегральный показатель экологического риска погрузочных операций рассчитывается по формуле:

$$R = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot P_i \cdot C_i \cdot V \qquad (1)$$

где P_i – нормированная вероятность реализации i-го опасного события; C_i – нормированный масштаб экологических последствий i-го события; V – коэффициент уязвимости акватории; w_i – весовой коэффициент i-го события ($\Sigma w_i = 1$); n – число учитываемых событий.

Веса назначаются методом анализа иерархий по результатам парных сравнений факторов экспертной группой; сходимость суждений контролируется отношением согласованности, значение которого не должно превышать 0,1. В перечень опасных событий включаются эмиссия паров нефти и ЛОС при наливе, аварийные разливы при грузовых соединениях и швартовке, сбросы льяльных и подсланевых вод, выбросы судовых энергетических установок, обращение с судовыми отходами. Коэффициент уязвимости акватории определяется балльным способом по формуле:

$$V = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^{m} \frac{B_j}{B_{max}} \qquad (2)$$

где B_j – балльная оценка j-го признака экологической чувствительности акватории (рыбохозяйственная ценность, наличие охраняемых природных территорий, интенсивность водообмена, глубины и гидродинамический режим, рекреационная нагрузка); B_{max} – эталонная оценка признака; m – число признаков.

Полученное значение показателя классифицируется по четырёхуровневой шкале: I – приемлемый риск ($R < 0{,}25$), II – средний риск ($0{,}25 \le R < 0{,}50$), III – высокий риск ($0{,}50 \le R < 0{,}75$), IV – неприемлемый риск ($R \ge 0{,}75$); каждому уровню соответствует собственное управленческое решение – от планового мониторинга до приостановки погрузки.

Работоспособность формулы (1) рассмотрим на примере погрузки нефтяного танкера дедвейтом 105 тыс. т на морском терминале, оборудованном

погрузочным устройством берегового исполнения. Грузовой план предусматривает приём 85 тыс. т сырой нефти за 24 ч через три грузовые магистрали. Акватория терминала полузакрытая, период полного водообмена превышает 30 суток, в прилегающих водах размещены рыбохозяйственные участки: по пяти признакам чувствительности акватория получает 0,90 от эталонной оценки, то есть V = 0,90. В расчёте учтены пять типичных факторов: эмиссия паров нефти и ЛОС при наливе; аварийный разлив при грузовых соединениях и швартовке; сбросы льяльных и подсланевых вод; выбросы судовых энергетических установок; обращение с судовыми отходами. Вероятности определены по данным приборного мониторинга загазованности у ПУРГ и статистики инцидентов терминала за 12 месяцев, масштаб последствий нормирован как отношение фактической массы эмиссии к допустимой (потери на испарение при наливе 0,10-0,15 % объёма груза, или 85-130 т углеводородов, дают C1 = 0,75; возможный разлив в десятки тонн при разрыве грузового шланга – C2 = 0,85), веса рассчитаны экспертной группой из пяти специалистов при отношении согласованности 0,05. Исходные данные и результаты расчёта сведены в таблицу.

Исходные данные и результаты расчёта интегрального показателя риска при погрузке танкера

№	Показатель воздействия	w_i	P_i	C_i	V	R_i
1	Эмиссия паров нефти и ЛОС при наливе	0,40	0,65	0,75	0,90	0,176
2	Аварийный разлив при грузовых соединениях и швартовке	0,25	0,25	0,85	0,90	0,048
3	Сбросы льяльных и подсланевых вод	0,15	0,30	0,50	0,90	0,020
4	Выбросы от судовых энергетических установок	0,12	0,35	0,45	0,90	0,017
5	Обращение с судовыми отходами	0,08	0,25	0,30	0,90	0,005
	Интегральный показатель R	1,00	—	—	—	0,27

Интегральный показатель составляет R = 0,176 + 0,048 + 0,020 + 0,017 + 0,005 = 0,27, что соответствует II уровню – среднему риску (0,25 ≤ R < 0,50). Вклад первого фактора достигает 66 % суммарного риска, поэтому первоочередным мероприятием становится монтаж системы возврата паров с автоматическим контролем загазованности, предусмотренный правилом 15 Приложения VI МАРПОЛ; дополнительно усиливаются контроль герметичности грузовых соединений и учёт судовых отходов. Повторный расчёт после реализации мероприятия показывает: вероятность P1 снижается с 0,65 до 0,30, первый член ряда – с 0,176 до 0,081, интегральный показатель – до R = 0,17, что ниже порога 0,25 и соответствует I уровню приемлемого риска. Так

замыкается контур управления: результат оценки непосредственно измеряет эффективность реализованных мероприятий.

Числовая оценка применима в реальной деятельности терминала: в плане управления судовых операционных процедур – как критерий выбора мероприятий по величине вклада факторов; в системе экологического менеджмента терминала [7] – при планировании надзорных мероприятий в логике риск-ориентированного контроля [8]. Пороговые значения 0,25; 0,50 и 0,75 образуют объективные критерии управленческих решений, замещающие экспертные суждения вида «больше – меньше». Разработанный подход дополняет действующую систему требований и интегрирует её результаты: масштаб последствий строится на гигиенических нормативах, вероятности снижаются мероприятиями технологического подхода, экономические инструменты обосновывают затраты на снижение риска, а принцип нулевого выброса выступает предельным случаем минимизации. Такая архитектура позволяет внедрять риск-ориентированную оценку поэтапно, параллельно с нормативной базой.

Список литературы

1. Куляпина А.Р. Экологические аспекты эксплуатации нефтеналивных терминалов и риск-ориентированный подход к управлению ими / А.Р. Куляпина // Альманах «Крым». – 2024. – Т. 41, № 1.

2. Гришин В.Ю., Удалова Н.П., Маневич П.П. Взаимодействие риск-ориентированного подхода и наилучших доступных технологий в системе экологического надзора при подземной разработке угля / В.Ю. Гришин, Н.П. Удалова, П.П. Маневич // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1.

3. Марьин Е.В. К вопросу о плате за негативное воздействие на окружающую среду / Е.В. Марьин // Сибирский торгово-экономический журнал. – 2016. – № 1 (22). – С. 96-98.

4. Virdi S.S., Lee L. Y., Li C., Dev A. K. Simulation of VOC Emission During Loading Operations in a Crude Oil Tanker / S.S. Virdi, L.Y. Lee, C. Li, A.K. Dev // International Journal of Maritime Engineering. – 2021. – Vol. 163, Pt. A1. – P. 1-16.

5. Башкин В.Н. Системный анализ экологических и природных рисков / В.Н. Башкин // Проблемы анализа риска. – 2023. – Т. 20, № 4. – С. 8-9.

6. Архипов Б.В. Анализ рисков нефтяных разливов при транспортных операциях в прибрежных водах морей и океанов / Б.В. Архипов, Д.А. Шапочкин // Проблемы анализа риска. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 44-53.

7. Брыкалов С.М. Применение риск-ориентированного подхода при выстраивании системы экологического менеджмента в соответствии со стандартом ISO 14001:2015 / С.М. Брыкалов, В.Ю. Трифонов, К.А. Романова // Проблемы анализа риска. – 2022. – Т. 19, № 6. – С. 20-33.

8. Газиев Э.А. Риск-ориентированный подход в контрольно-надзорной деятельности / Э.А. Газиев, Е.А. Азизова // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т. 17. – С. 1-8.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОТУБЕРКУЛЕЗНОЙ АКТИВНОСТИ ТИАЗОЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ПАРА-ТИОУРЕИДОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Т.С. Баранов
«МИРЭА – Российский технологический университет»,
Институт тонких химических технологий им. Ломоносова,
г. Москва

Аннотация. *В работе на базе ресурса PASS online рассматривается перспективность исследований тиазольных производных пара-тиоуреидосалициловой кислоты в качестве соединений, обладающих противотуберкулезными свойствами.*

В современном мире на фоне развитой медицины, большого количества и разнообразия антибиотиков, принято считать, что человечество взяло под контроль бактериальные инфекции. Однако, в настоящее время активно распространяются патогенные микроорганизмы, которые быстро приспосабливаться к изменяющимся условиям окружающей среды, а также к антибиотикам, особенно при их неправильном применении. Это серьезно затрудняет лечение и связано с резистентностью бактерий.

Одним из таких возбудителей является *Mycobacterium tuberculosis*. Он опасен, так как обладает большим инкубационным периодом и способностью быстро распространяться воздушно-капельным путем. Возбудитель туберкулеза обладает особой липидно-восковой клеточной оболочкой, содержащей пептидогликан, арабиногалактан, а также миколовые кислоты. Это делает его крайне устойчивым к условиям окружающей среды и химическому воздействию. Множественная лекарственная устойчивость туберкулеза (МЛУ-ТБ) – это форма заболевания, при которой *M. tuberculosis* устойчива к двум основным противотуберкулезным препаратам: изониазиду и рифампицину. В последние годы наблюдается рост случаев заболевания с МЛУ-ТБ. Это свидетельствует об актуальности проблемы и необходимости исследований в области противотуберкулезных лекарственных средств [1,2].

Противотуберкулезные лекарственные средства делятся на два ряда. К первому ряду относятся: рифампицин, изониазид, этамбутол, пиразинамид, стрептомицин и др. Второй ряд: пара-аминосалициловая кислота, канамицин, амикацин, этионамид, протионамид, ципрофлоксацин, рифабутин, циклосерин, капреомицин, офлоксацин. Препараты первого ряда имеют большую эффективность относительно второго ряда, но при развитии у штамма *M. tuberculosis* резистентности к препаратам первого ряда, начинают использовать препараты второго ряда, несмотря на их повышенную токсичность для человека [3].

Особое место занимает пара-аминосалициловая кислота (ПАСК), противотуберкулезный антибиотик второго ряда, который применяют для лечения МЛУ-ТБ. Молекула ПАСК образована бензольным кольцом, содержащим карбоксильную, гидроксильную и аминогруппу, что делает

возможным химическую модификацию молекулы, участие в водородных связях, образование эфиров и солей. ПАСК является нерастворимым в воде белым кристаллическим веществом с температурой плавления 122°С. Растворы солей ПАСК быстро окисляются на воздухе. ПАСК обладает антимикобактериальным эффектом за счет конкурирования с пара-аминобензойной кислотой, вследствие чего происходит нарушение синтеза фолиевой кислоты в бактериальной клетке, эти свойства позволяют применять ПАСК как вспомогательное средство с бактериостатическим действием совместно с другими антибиотиками. Это сочетание особенно важно в случае *M. tuberculosis,* поскольку предотвращает или значительно ограничивает выработку резистентности к ПАСК. Вместе с тем, этот препарат обладает множеством побочных эффектов, таких как: диарея, рвота, тошнота, лейкоцитоз, анафилаксия, кожная сыпь, перикардит, васкулит, гипотиреоз, лихорадка. Учитывая количество побочных эффектов, ПАСК все реже применяется в качестве противотуберкулезного препарата. Вместе с тем, он имеет ряд производных, исследование которых могут привести к получению более безопасных и эффективных противотуберкулезных препаратов. [3,4]

Одним из таких производных ПАСК является пара-тиоуреидосалициловая кислота (ПТСК), в которой аминогруппа заменена на тиоуреидный фрагмент. Таким образом, в молекуле сочетается салицилатная часть с тиоуреидным фрагментом, что создает несколько центров межмолекулярного взаимодействия: карбоксильную и фенольную группы, атом серы тиоуреидного типа и амино группы. ПТСК, как производное ПАСК, обладающее другим набором функциональных центров, потенциально обладает антибактериальной активностью. Также из ПТСК можно получить гетероциклические производные к примеру, тиазольные соединения, используя тиоуреидную группу в качестве химического предшественника [5,6].

Тиазол – представитель 1,3-азолов, представляющий собой пятичленное гетероциклическое соединение, содержащее атомы азота и серы. Производные тиазола имеют разнообразную биологическую активность и находят широкое применение в фармацевтике [6].

Тиазольные производные ПТСК объединяют салицилатный фрагмент и азот-серосодержащий гетероцикл, имеют более сложную структуру, что изменяет растворимость, распределение заряда и создает дополнительные центры взаимодействия с биологическими мишенями.

Для оценки противотуберкулезной активности в данной работе была использована специальная программа PASS online, которая обладает функционалом, позволяющим прогнозировать возможную активность различных соединений с точностью до 95%. Результаты изучения активности представлены в таблице [7].

Были проанализированы соединения: ПАСК, ПТСК, тиазольные производные (с 3-нитрофенильной, 4-хлорфенильной, фенильной и 3-аминофенильной группами) и их метиловые эфиры. На основании прогнозирования результатов видно, что метиловые эфиры обладают меньшими противотуберкулезной, антимикобактериальной и антисептической

активностями по сравнению молекулами, содержащими свободные карбокси-группы. Спрогнозированная противотуберкулезная активность ПТСК выше чем у ПАСК. Хотя активности тиазольных производных ниже, чем у ПАСК, однако, они достаточно близки. При обсуждении ПТСК и тиазольных производных следует принципиально отделять химическую перспективность от доказанной терапевтической. Необходима оценка реальной микробиологической активности на релевантных моделях *M. tuberculosis*.

Анализ активности производных ПТСК с помощью PASS online

Название вещества	Антимикобактериальная активность		Противотуберкулезная активность		Антисептическая активность	
	Pa	Pi	Pa	Pi	Pa	Pi
ПАСК	0,589	0,010	0,612	0,005	0,902	0,003
МеПАСК	0,504	0,018	0,494	0,013	0,791	0,004
ПТСК	0,691	0,005	0,727	0,004	0,851	0,004
МеПТСК	0,613	0,009	0,598	0,006	0,729	0,005
N-(3-гидрокси-4-карбоксифенил)-2-амино-4-(3-нитрофенил)тиазола	0,421	0,034	0,511	0,011	0,337	0,047
N-(3-гидрокси-4-карбометоксифенил)-2-амино-4-(3-нитрофенил)тиазола	0,322	0,068	0,386	0,035	0,166	0,087
N-(3-гидрокси-4-карбоксифенил)-2-амино-4-(4-хлорфенил)тиазола	0,310	0,075	0,382	0,037	0,196	0,074
N-(3-гидрокси-4-карбометоксифенил)-2-амино-4-(4-хлорфенил)тиазола	0,231	0,138	0,256	0,103	-	-
N-(3-гидрокси-4-карбоксифенил)-2-амино-4-(фенил)тиазола	0,315	0,072	0,405	0,030	0,176	0,083
N-(3-гидрокси-4-карбометоксифенил)-2-амино-4-(фенил)тиазола	0,236	0,133	0,275	0,086	-	-
N-(3-гидрокси-4-карбоксифенил)-2-амино-4-(3-аминофенил)тиазола	0,393	0,041	0,470	0,016	0,216	0,066
N-(3-гидрокси-4-карбометоксифенил)-2-амино-4-(3-аминофенил)тиазола	0,301	0,081	0,349	0,049	0,130	0,102

На основании результатов анализа противотуберкулезной активности с помощью PASS online можно сделать вывод, что тиазольные производные ПТСК являются перспективными соединениями в области борьбы с туберкулезом, но требуют исследований для подтверждения их свойств.

Выражаю благодарность своему научному руководителю Седишеву И.П. за помощь в работе.

Список литературы

1. Всемирная организация здравоохранения: [Электронный ресурс] URL: https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/tuberculosis (Дата обращения: 15.10.26.)

2. Всемирная организация здравоохранения: [Электронный ресурс] URL: https://www.who.int/ru/news-room/questions-and-answers/item/tuberculosis-multidrug-resistant-tuberculosis-(mdr-tb) (Дата обращения: 15.10.26.)

3. Перельман, М.И. Фтизиатрия: учебник / М.И. Перельман, И.В. Богадельникова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 446 с.

4. Воробьева О.А. Изопаск новые возможности в лечении туберкулеза / О.А. Воробьева, В.С. Семечкина // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2011. – №. 2. – С. 30.

5. Седишев И.П. Изучение биологического потенциала производных парааминосалициловой кислоты с помощью веб-ресурса PASS-online и соотнесение данных с опытами in vitro / И.П. Седишев, П.М. Исайкина, Т.А. Жукова, В.А. Кувшинов, А.Д. Аскретков // Перспективы внедрения инновационных технологий в медицине и фармации: тез. докл. Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2017. – С. 213.

6. Дж. Джоуль Химия гетероциклических соединений / Дж. Джоуль, К. Миллс. – 2-е изд. – Москва: МИР, 2004. – 681 с.

7. Pass online [Электронный ресурс] URL: http://www.way2drug.com/passonline/ (Дата обращения: 15.10.26.)

СКРИНИНГ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФИКСАЦИИ АЗОТА (NRR)

И.И. Кузнецова, Д.Ю. Культин, О.К. Лебедева, Д.В. Седельников,
В.Н. Захаров, С.Н. Нестеренко, Л.М. Кустов
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Химический факультет,
г. Москва

Аннотация. *В работе рассмотрены катализаторы для электрохимического синтеза аммиака (NRR) и сравнения стендов для его осуществления. Указаны сложности и трудности эффективного осуществления этой реакции. Обсуждается перспективность и дальнейшие пути. Данный процесс является примером востребованной и актуальной реакции в современной зелёной химии.*

Ключевые слова: *электрохимическая реакция восстановления азота (NRR), электрокатализ, экологическая (зеленая) химия, аммиак.*

В последние годы интенсивные исследования электрохимических реакций, способных заменить текущие экологически грязные промышленные производства приобретают всё большее значение [1]. Электрохимическое восстановление находится на стыке процессов накопления энергии, химического производства и восстановления. В *азотной химии* электрохимическое восстановление азота (NRR) и нитратов (NO_3RR) обеспечивают альтернативные пути: аммиак получают либо непосредственно из газообразного азота, либо путем очистки от широко распространенных нитратных загрязнителей. Реакция восстановления азота (NRR) – это кратко, а фактически это электрокаталитический процесс восстановления растворенного в водной среде газообразного азота в условиях нормального давления и комнатной температуры (последние два условия, «ambient conditions», являются обязательными, для того чтобы считать эту реакцию «sustainable» и «eco-friendly», то есть экологически безопасной).

$N_2 + H_2O$ + катодный ток на электрокатализаторе $\rightarrow NH_3$ (NRR)

$NO_3^- + H_2O$ + катодный ток на электрокатализаторе $\rightarrow NH_3$ (NO_3RR)

Как почти в любой электрокаталитической реакции самым важным фактором является подбор эффективного катализатора. Авторами были экспериментально испытаны ряд электрокатализаторов (Таблица), показавшие ранее высокие результаты в родственной реакции NO_3RR, которую многие исследователи считают упрощенном вариантом NRR. Следует отметить, что NO_3RR представляет самостоятельную ценность как экологическая реакция очистки сточных вод от нитратов с получением ценного продукта, как и в NRR, аммиака.

Результаты испытаний (скрининга) NRR

Электрокатализатор	Электролит	Электрохимический реактор	Фарадеевская эффективность, %
Pt/фехраль	0,1 M Na_2SO_4	Стандартная ячейка с разделенным пространством	0,22
Pt/Ni-пена	0,1 M Na_2SO_4	Мини-ячейка, менее 20 мл	0,23
$Co(OH)_2$/ Ni-пена	0,1 M Na_2SO_4	Ячейка H-типа	0,23
Pt/фехраль	0,1 M Na_2SO_4	Ячейка H-типа	0,33
Pt сетка	0,1 M Na_2SO_4	Стандартная ячейка с разделенным пространством	0,57
Pt/Ni-пена	0,1 M Na_2SO_4	Ячейка H-типа	0,74
Pt/ Ni-пена	0,05M H_2SO_4	Ячейка H-типа	**1,44**

На основании проведенных исследований следует отметить, что:
имеются сложности подбора катализаторов, как в изготовлении каталитического слоя, так и выборе подложки. Сложность создания экспериментальной установки имеет место, так как литературные источники не содержат точных протоколов для проведения реакции, отсутствуют корректные режимы, например скорость пропускания азота, расстояние до электрокатализатора и т.д., несмотря на превосходные высокие полученные результаты. Не так давно предложен строгий протокол NRR [1,2], однако он пока не был поддержан исследователями, и даже не испытан, по всей видимости, из-за сложности экспериментального осуществления. Имеется множество нареканий к точности измерения концентрации целевого продукта, аммиака. Так, иногда сообщается об индофенольном способе определения, а приводятся калибровочные графики для менее точного метода Несслера. Следует отметить, что низкое значение коэффициента наклона калибровочной прямой способствует большой ошибке в итоговом расчете Фарадеевской эффективности.

По результатам Таблицы можно видеть, что наилучшая Фарадеевская эффективность не превышает 1,44 % для электрода, содержащего благородный металл и значительно уступает литературным данным, где это значение составляет десятки %. Ячейка Н-типа с нафионовой мембраной является предпочтительной по сравнению со стандартной ячейкой со стеклянным фильтром. Уменьшение объёма ячейки (мини-ячейка) для более насыщенной азотом среды также не приносит ощутимого эффекта.

Концентрация аммиака была использована для определения Фарадеевской эффективности процесса, которая рассчитывалась по формуле:

$$FE(NH_3) = \frac{3 \times F \times n(NH_3)}{Q},$$

где $n(NH_3)$ обозначает количество (моль) NH_3; F – постоянная Фарадея (96 485 Кл моль$^{-1}$); Q – общий заряд, прошедший через электрод (Кл), 3 – количество переносов электронов (n), необходимых для образования 1 моль аммиака.

Все остальные методики и экспериментальные данные были взяты из недавней работы авторов [4].

Таким образом, представленные данные является пока еще предварительными с относительно низкими (по сравнению с мировым уровнем) результатами Фарадеевской эффективности. Следует отметить, что дальнейшие усилия следует приложить к созданию электрохимического стенда согласно протоколам, декларируемые в работе [2,3].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00488, https://rscf.ru/project/25-29-00488/.

Список литературы

1. Shim J., Choi J., Park S., Lim H., Jeon M., Jeong G.H., Moon D.J., Kang J.G., Sim U. High-Entropy Alloy Electrocatalysts for Key Reduction Reactions, from Site

Statistics to Design Rules. Progress in Quantum Electronics 2026, 110, 100657. https://doi.org/10.1016/j.pquantelec.2026.100657

2. Choi J., Suryanto B.H.R., Wang D., Du H.-L., Hodgetts R.Y., Ferrero Vallana F.M., MacFarlane D.R., Simonov A.N. Identification and Elimination of False Positives in Electrochemical Nitrogen Reduction Studies. Nat. Commun. 2020, 11 (1), 5546. https://doi.org/10.1038/s41467-020-19130-z

3. Andersen S.Z., Čolić V., Yang S., Schwalbe J.A., Nielander A.C., McEnaney J.M., Enemark-Rasmussen K., Baker J.G., Singh A.R., Rohr B.A., Statt M.J., Blair S.J., Mezzavilla S., Kibsgaard J., Vesborg P.C.K., Cargnello M., Bent S.F., Jaramillo T.F., Stephens I.E.L., Nørskov J.K., Chorkendorff I.A Rigorous Electrochemical Ammonia Synthesis Protocol with Quantitative Isotope Measurements. Nature 2019, 570 (7762), 504–508. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1260-x

4. Kuznetsova I.I., Lebedeva O.K., Kultin D.Yu., Nesterenko S.N., Dunaev S.F., Kustov L.M. Cu-Si intermetallic compounds as catalysts in the electrochemical reaction of ammonia synthesis. Mendeleev Communications 2026, 36 (6), 702-704. https://doi.org/10.71267/mencom.8057

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТРИАЗИНОВЫХ КАРКАСОВ КАК НОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ АММИАКА

А.Д. Ширяев, Д.А. Дмитриев, В.Н. Захаров, И.И. Кузнецова, Д.Ю. Культин, О.К. Лебедева, В.В. Чернышев, Л.А. Асланов, Л.М. Кустов
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Химический факультет,
г. Москва

Аннотация. *В данном исследовании выполнен сравнительный анализ безметальных ковалентных органических каркасов (COF) и медно-меламинового материала (CuMeM) в качестве электрокатализаторов. Предварительные результаты для каталитического слоя CuMeM показывают, что фарадеевская эффективность для производства аммиака составила более 70% при выходе более 47 мкмоль/ч на 1 см^2, что существенно превышает результаты, полученные для каталитического слоя на основе безметального COF (Фарадеевская эффективность более 31%). Эти результаты открывают новые возможности для разработки высокоэффективных катализаторов. Данные процессы является примерами востребованной и релевантной реакции в современной зелёной химии.*

Ключевые слова: *электрохимическая реакция восстановления азота (NRR), электрокатализ, медно-меламиновый материал, экологическая (зеленая) химия, аммиак, ковалентные органические каркасы.*

Электрохимическая реакция восстановления нитратов (NO_3RR) представляет практически важную реакцию для очистки сточных вод сельскохозяйственного и промышленного назначения. Однако практическое применение NO_3RR по-прежнему ограничено низкой селективностью и Фарадеевской эффективностью, в основном из-за конкурирующей реакции

выделения водорода, которая является кинетически и термодинамически более предпочтительной [1, 2].

NO_3^- + H_2O + катодный ток на электрокатализаторе → NH_3 (NO_3RR)

Новые каркасные материалы, в том числе ковалентные органические каркасные структуры (COF) и металлоорганические каркасные структуры (MOF), являются многообещающими кандидатами благодаря своей модульной структуре, регулируемой пористости и адаптируемым функциональным возможностям. В настоящее время развивается новый подход, связанный с созданием катализаторов на основе COF. При этом можно выделить два принципиальных типа таких катализаторов: содержащий металл и не содержащий (чистый органический каркас). Металлический каталитический слой может содержать медь, кобальт, никель, железо и другие металлы, при этом COF служат подложками, эффективно удерживающими металлы. Такие гибридные катализаторы характеризуются высокой эффективность и производительностью. Недостатком таких систем является низкая устойчивость и стабильность, а также низкая экологичность, связанная с выделением в окружающую среду использованных металлов при деградации каталитических систем.

Альтернативой такого подхода является применение безметальных COF [3], в которых каталитическим рабочем слоем является непосредственно поверхность самого каркаса. Однако такой способ имеет очевидный недостаток в виде ограниченной каталитической активности по сравнению с вышеуказанными гибридными катализаторами, содержащие металл.

В работе [4] получен безметальный триазиновый каркас (CTF). Его синтезировали следующим образом: 0,19 г цианурхлорида растворяли в 8,6 мл толуола. В реакционный сосуд добавляли 0,25 г 4,4'-бипиридина, после чего смесь помещали в микроволновый реактор и выдерживали при температуре 100°C в течение 1 ч. Образовавшийся осадок шесть раз промывали этанолом с применением центрифугирования, а затем высушивали при 120°C. В результате был получен кристаллический осадок изумрудно-зеленого цвета; выход продукта составил 75 %.

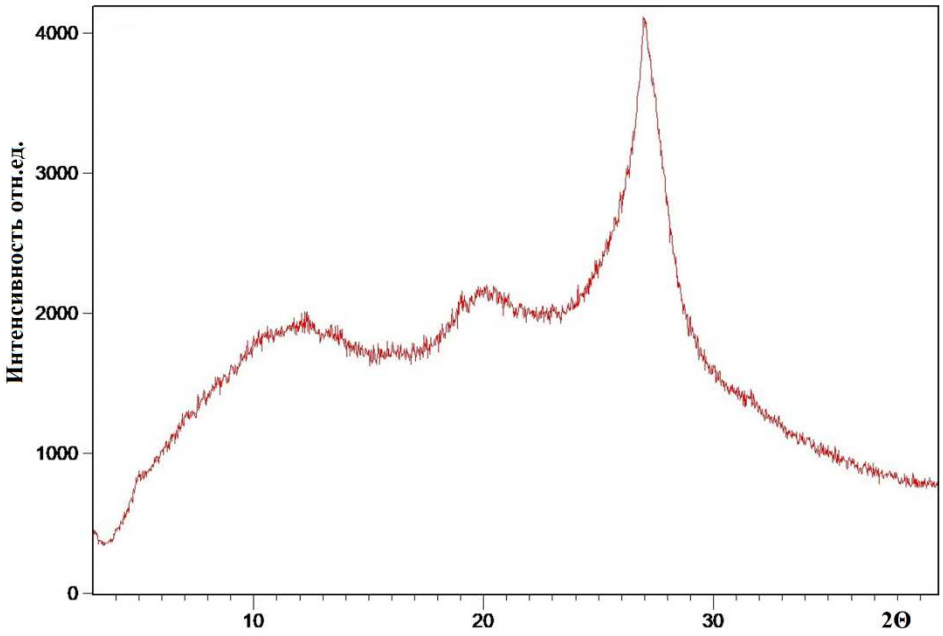
Дифрактограмма порошка CTF (рисунок) совпадает с той, что приведена в работе [5].

Катализатор испытан в электрохимической реакции синтеза аммиака из водных растворов нитратов NO_3RR. Фарадеевская эффективность процесса составила 31 %.

Концентрация аммиака была использована для определения Фарадеевской эффективности процесса, которая рассчитывалась по формуле:

$$FE(NH_3) = \frac{8 \times F \times n(NH_3)}{Q},$$

где $n(NH_3)$ обозначает количество (моль) NH_3; F – постоянная Фарадея (96 485 С моль$^{-1}$); Q – общий заряд, прошедший через электрод, 8 – количество переносов электронов (n), необходимых для образования 1 моля аммиака.



Дифрактограмма материала CTF

В дальнейшем был синтезирован медно-меламиновый материал, на основе которого изготовили гибридный электрод на подложке из стеклоуглерода. Электрохимическое поведение каталитического слоя CuMeM/графит предварительно исследовано в процессах восстановления нитрат-ионов до аммиака. Катализатор продемонстрировал значительный прирост плотности тока по сравнению с фоновыми кривыми. При потенциале – 1,4 В (отн. х.с.э.) Фарадеевская эффективность процесса по аммиаку превысила более 70 %, производительность – более 47 мкмоль $ч^{-1}$ $см^{-2}$, при крайне низком выходе побочных нитритов порядка 1 %, производительность 2,0 мкмоль $ч^{-1}$ $см^{2}$.

Полученный результат открывает дальнейшие перспективы изучения и применения подобных материалов в электрокаталитических процессах. Следует отметить, что нахождение синергии между экологически чистыми материалами (катион-радикальными каркасами) и высокоэффективными (медно-меламиновыми) является актуальной задачей, решение которой может привести к появлению новых катализаторов, объединяющих вышеперечисленные преимущества и лишенных недостатков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Проектов-госзадания № АААА-А21–122040600057–3 и №. АААА-А21-121011590083-9. Микроволновой синтез катион-радикального триазинового каркаса выполнен на приборе NOVA 2S (КНР).

Список литературы

1. Cheng Y., Li S., Wang Y., Zhang H., Jiang Q., Wang T., Chen Z., Yu Y., Rehman Z.U., Li T., Xu Y., Tian X., Xu J., Su X., Fan J., Li H., Wu Z. Boosting Selective Ammonia Electrosynthesis from Nitrate Over Noble Metal Catalysts Via Surface

Oxidation Engineering. Adv. Funct. Materials 2026, e78585. https://doi.org/10.1002/adfm.78585.

2. Sun C., Zhang S., Xiao B.-H., Chen J., Cao S. Electrocatalytic Nitrate Reduction to Ammonia: Catalyst Design, Electrolyte Engineering and Application Scenarios. Chem. Commun. 2026, 10.1039.D6CC05378E. https://doi.org/10.1039/ D6CC05378E.

3. Lebedeva O., Kultin D., Zakharov V., Kuznetsova I., Aslanov L., Kustov L. Triazine Derivatives as Metal-Free Electrocatalysts: Do Three Nitrogen Atoms Mimic a Metal? Sustainable Energy Fuels 2025, 9 (6), 1464-1479. https://doi.org/ 10.1039/D4SE01751J.

4. Zakharov V.N., Kuznetsova I.I., Dmitriev D.A., Kultin D.Yu., Lebedeva O.K., Yankova T.S., Chernyshev V.V., Aslanov L.A., Kustov L.M. A metal- free triazine polymer catalyst for nitrates reduction. INEOS Open, 2027, в печати.

5. Bourlinos A.B., Dallas P., Sanakis Y., Stamopoulos D., Trapalis C., Niarchos D. Synthesis and characterization of a π-conjugate, covalent layered network derived from condensation polymerization of the 4,4'-bipyridine-cyanuric chloride couple. European Polymer Journal, 2006, 42, 2940-2948// doi: 10.1016/j.eurpolymj. 2006.07.025.

ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА КЛЮЧЕВЫХ ФАКТОРОВ ДИНАМИКИ ЭПИДЕМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ, В КОНТЕКСТЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ЕВРОПЫ В 2030-Х ГОДАХ

А.В. Волков
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация**. Приведён алгоритм обработки национальных рядов, заимствованных из базы данных университета Джонса Хопкинса. Выявлены общие и отличительные черты волновой картины суточного прироста заболевших в изучаемых государствах. Компонента с периодом около 233 суток представлена в спектрах всех рядов и связывается с феноменом «долгого ковида» (long covid). Нормализация рядов выполнялась вычитанием из каждого значения величины математического ожидания и деления результата на стандартное отклонение. Процедура дала возможность оценить скорость распространения волн как в «основной полосе» движения вирусного агента (30о…50о с. ш.), так и в более северных широтах. Корреляционный и факторный анализ результатов позволил сформулировать группу пространственно-временных закономерностей протекания пандемии в ареале Европы. В целом, все факторы, способствующие агрегации людей в единую социальную систему, обеспечивают рост скорости волн, а факторы, способствующие разобщению людей, снижают её величину.*

В XX веке – первой половине XXI столетия ключевым инструментом разрешения проблем общества остаётся война. Как инструмент специфический, но эффективный, война приобретает затяжной характер, её динамика модулируется состоянием экономик участников конфликта, регулярностью воспроизводства сил и средств. Театр военных действий выступает полигоном для генерации, апробации и масштабирования новых технологических и управленческих решений, включая

воздействия биологической природы. Текущая ситуация знаменует движение к новой эпохе социально-исторического развития общества, которая, возможно, начнётся не ранее середины 2030-х годов.

Среди факторов, но не причин, войн специалисты выделяют динамику активности Солнца, выраженную электромагнитными и корпускулярными излучениями светила, в т. ч. величиной плотности потока на длине волны 10,7 см (*F*10.7, Вт/м2). Острые фазы военно-политических, финансово-экономических, социально-демографических и иных кризисов, как правило, приходятся на максимум солнечной активности. В точках экстремальных величин градиента активности возможно появление новых и/или усиление патогенности наблюдаемых специалистами биологических агентов (рис. 1). Поэтому первой фазой глобального неблагополучия начала 2030-х годов может выступить рост вызовов и угроз населению России по линии применения биологического оружия.

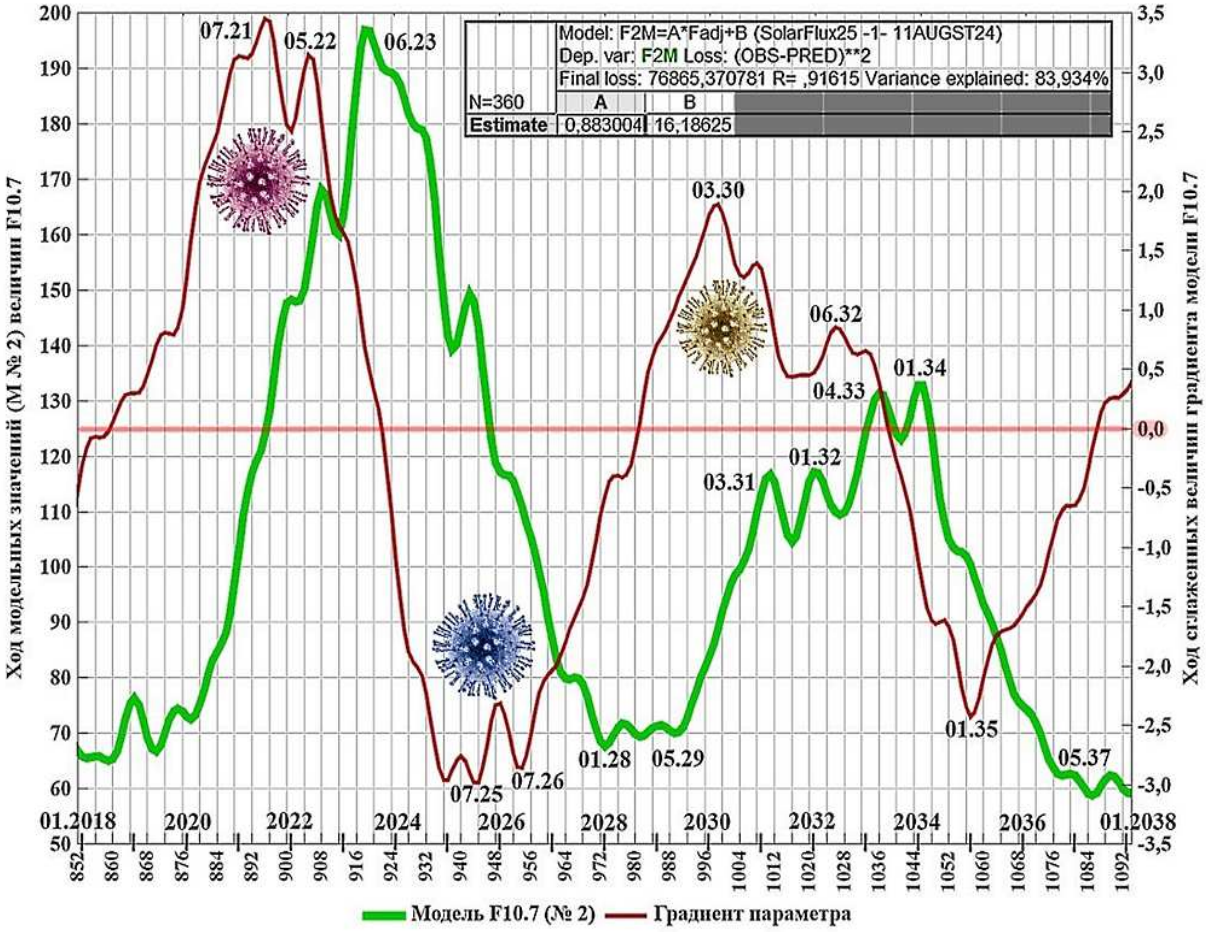


Рис. 1. Результаты прогноза динамики параметра солнечной активности *F*10.7 (детализированный тренд) и сглаженных величин его градиента

Сейчас нет оснований безапелляционно утверждать, что в районе 2030 года мир узнает о новом патогене, способном влиять на самочувствие и здоровье населения в региональном и/или глобальном аспектах. Однако, в рамках стратегии и тактики применения «геофизического оружия», замаскировать рукотворное событие – биологическую агрессию – под динамику естественных процессов возможно.

Итак, *целью исследования* является установление пространственно-временных закономерностей распространения штаммов *SARS-CoV-2* в ареале Европы в ходе пандемии *COVID*-19 2020-2023 годов, включая оценку скорости движения патогенов, как предпосылок анализа перспективных состояний военно-политической динамики общества.

Достижение указанной цели требует: анализ картины ритмов, определяющих динамику национальных рядов заболеваемости, общих и отличительных черт систем ритмов; получение оценок скорости смещения волн заболевания в направлении их движения с запада на восток и с юга на север; выполнение корреляционного и факторного анализов результатов расчёта.

Технология обработки национальных рядов данных, заимствованных из базы данных «*JHU CSSE COVID-19 Dataset*», включает следующие основные действия.

Пусть Z – индекс изучаемого государства, в т. ч. Россия (*Ru*), Польша (*Pol*), Австрия (*Aus*) и т. д.

• Расчёт величин суточного прироста: $GrZ = Z - Zsdv$, где Z – исходный ряд, $Zsdv$ – его образ, смещённый на один день вперёд.

• К каждому значению ряда добавляется единица: $Gr1Z = GrZ + 1$.

• Расчёт десятичных логарифмов значений ряда: $LgGr1Z = \lg(Gr1Z)$.

• Тестирование логистической компоненты ряда в следующем исходном виде: $LgGR1Z=A\ /\ (1 + \exp(B - C\cdot\cos(2\pi\cdot d/(1096 + k) + E))) + Q$, где d – номер значения в ряду данных (аргумент).

• Возврат к исходным единицам ряда: $FonZ = (10^{**}LgGR1Z) - 1$.

• Выделение диагностической компоненты ряда: DiaZ = GrZ – FonZ, расчёт её спектра.

Кроме того, тестируется результативность корректировки структурных блоков колебательных мод, намечаемых спектральным анализом, по следующей схеме (рис. 2).

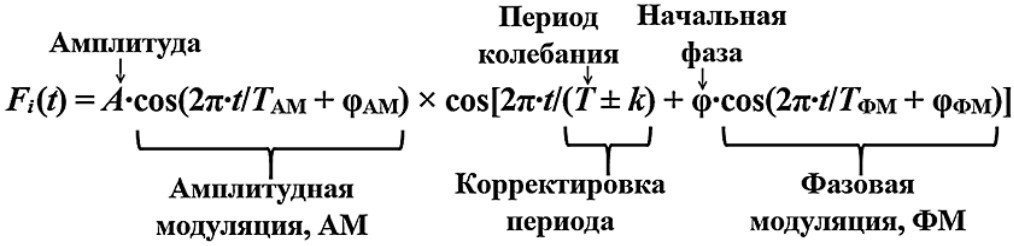


Рис. 2. Общий вид единичной колебательной моды, входящей в состав линейных моделей изучаемого процесса

Анализ данных предполагает корреляционный и факторный анализ результатов расчётов – скоростей распространения волн, с привлечением медико-демографических и финансово-экономических показателей государств.

Выполнен анализ национальных рядов суточного прироста заболеваемости государств Европы, расположенных приблизительно на одной широте (51о с. ш., движение с запада на восток) и на одной долготе (30о в. д., движение с юга на север; рис. 3).

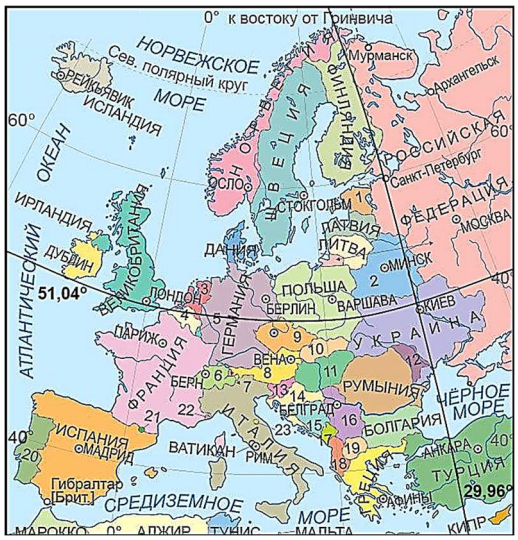


Рис. 3. Фрагмент политической карты Европы

Поскольку ко всем рядам применяется одна технология обработки данных, рассмотрим этапы его реализации на примере Австрии. Ход фактических величин прироста заболевших, а также компонент фона процесса, отражает рис. 4.

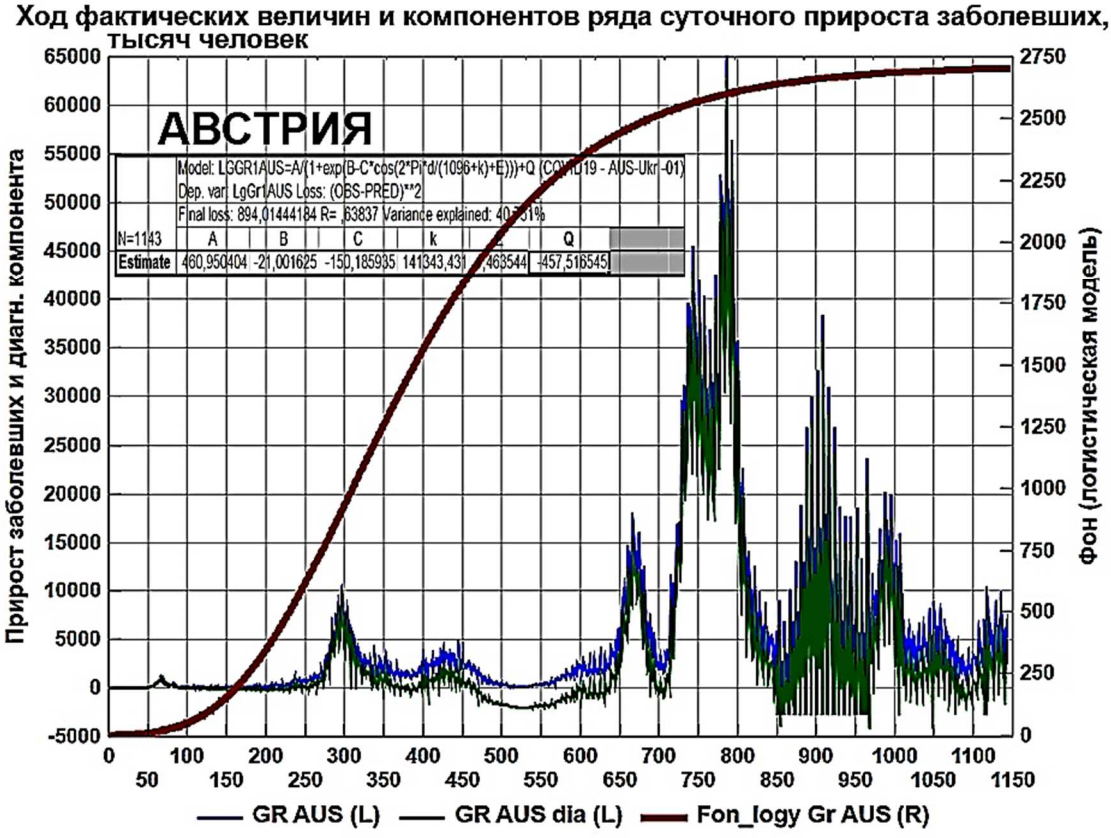


Рис. 4. Графическое представление динамики фактических значений, а также компонент фона суточного прироста заболевших, в Австрии

Помимо единичной логистической компоненты, определяющей ситуацию в России, Республике Беларусь и Австрии, есть государства с более сложной моделью фона, включающей степенной тренд (рис. 5). Связывать тип модели с численностью населения территории оснований, видимо, нет.

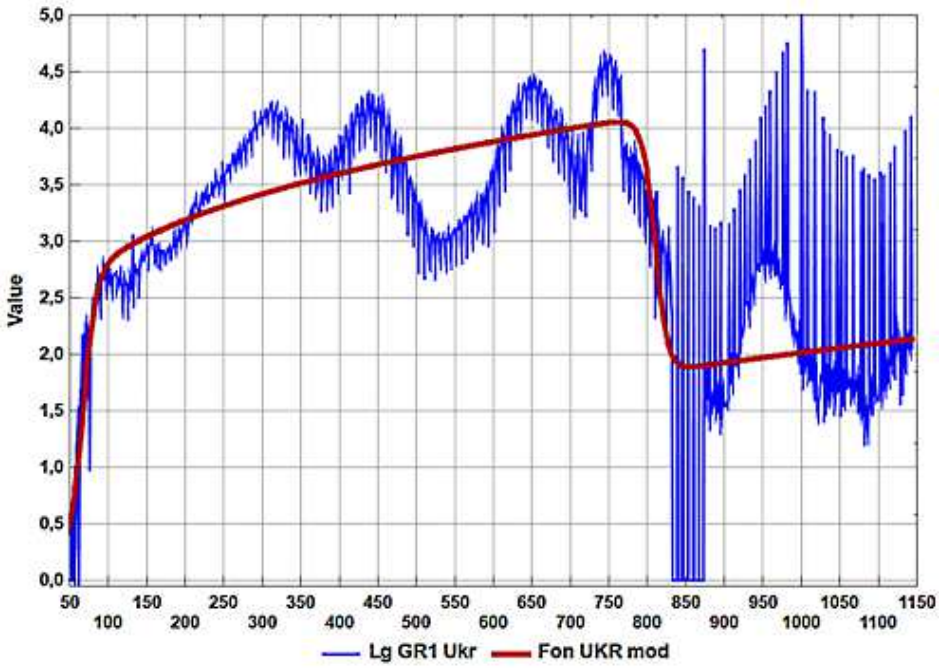


Рис. 5. Графическое представление фоновой компоненты
суточного прироста заболевших в Украине

Результаты спектрального анализа диагностической компоненты ряда отражает рис. 6.

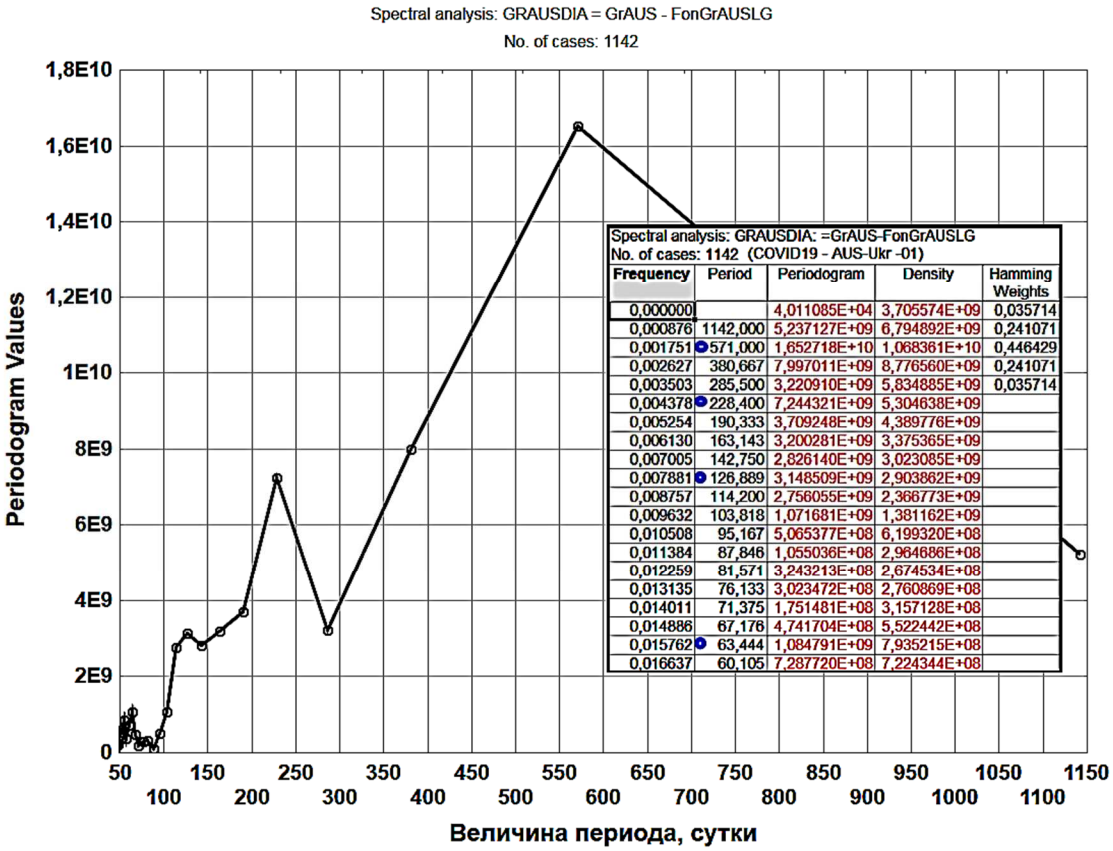
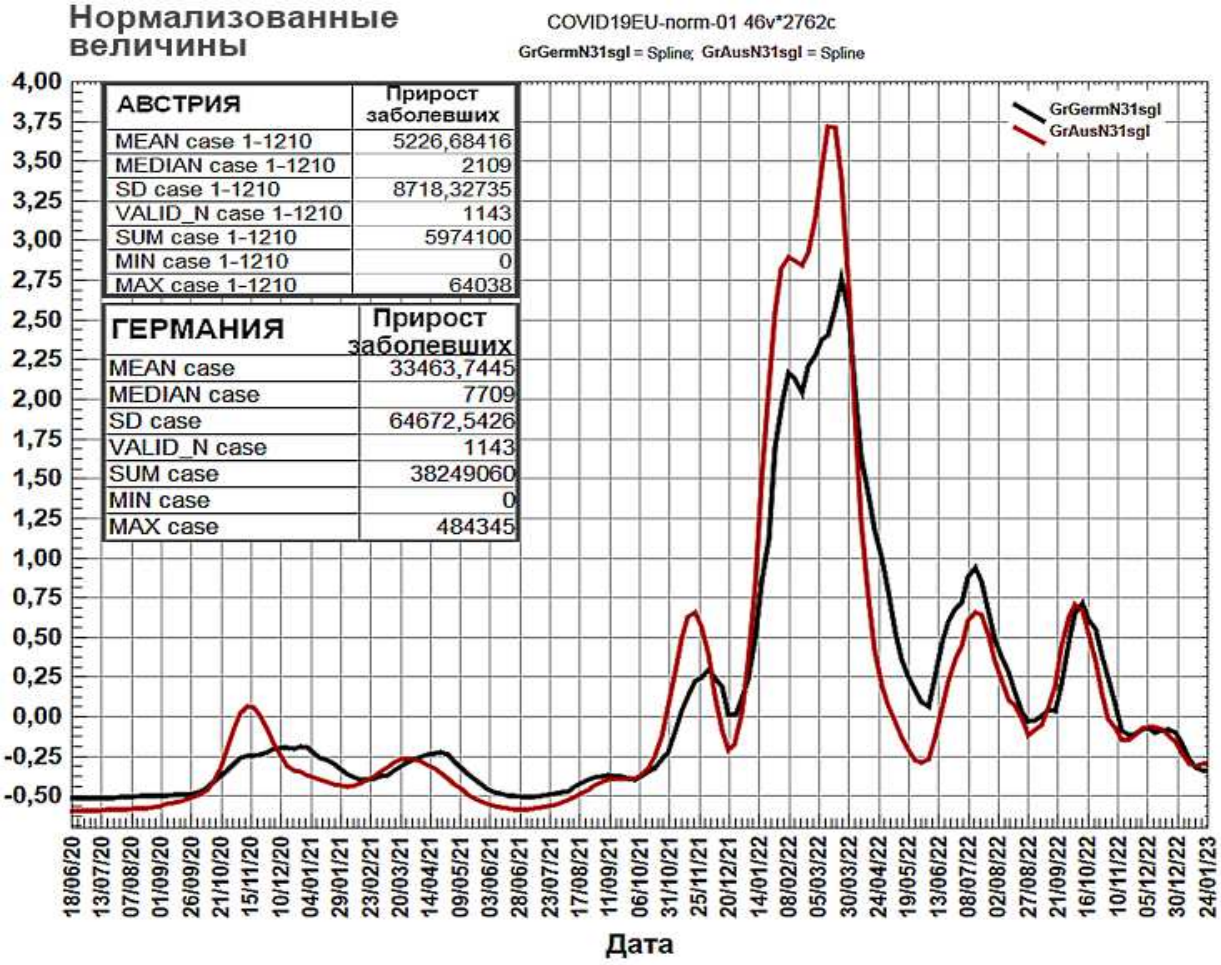


Рис. 6. Периодограмма диагностической компоненты фона суточного прироста заболевших в Австрии, а также таблица расчётных величин главных периодов

Итак, согласно рис. 6, максимальная доля суммарной дисперсии ряда приходится компоненты со следующими периодами (сутки): 63,444; 126,889; 228,4; 571,0. При подгонке коэффициентов модели диагностической компоненты эти величины *корректируются* (см. рис. 2).

Ход нормализованных ((*xi* – *Mean*) / *SD*) и сглаженных окном Р. У. Хэмминга длиной 31 позиция величин суточного прироста заболевших в Австрии и Германии представлен на рис. 7. Заметим, что практически важная задача формального детектирования «волн» может решаться на базе анализа расчёта величин функции автокорреляции исходных рядов, которая отразит длительность основной волны процесса (около 7 месяцев), либо на основе расчёта градиента исходной регистрации процесса. Метод «трёх сигм», в данном случае (в структуре процесса выделяется главный экстремум, превосходящий по амплитуде остальные), не эффективен. В целом же, задача формального выделения волн не является сложной [1-4, 6].

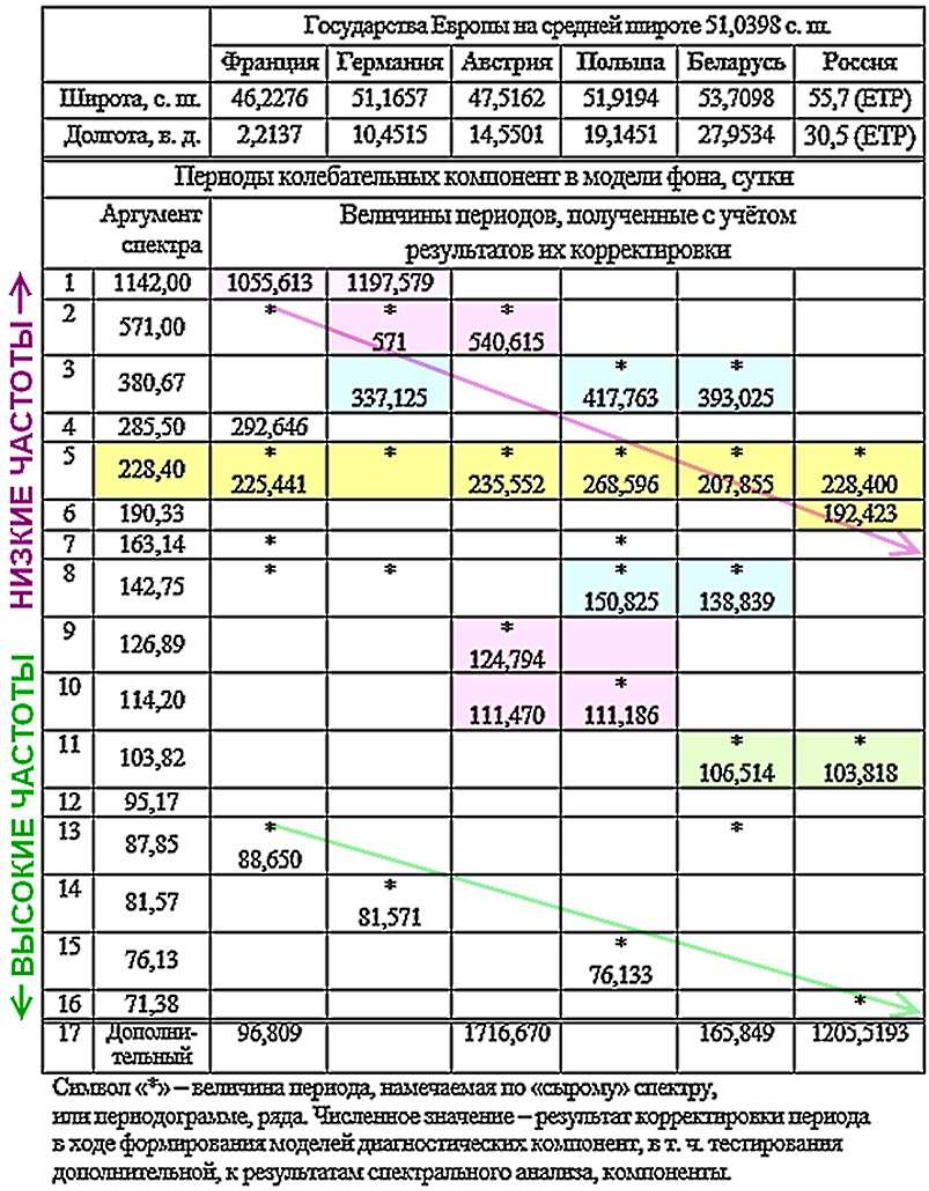


АВСТРИЯ	Прирост заболевших
MEAN case 1-1210	5226,68416
MEDIAN case 1-1210	2109
SD case 1-1210	8718,32735
VALID_N case 1-1210	1143
SUM case 1-1210	5974100
MIN case 1-1210	0
MAX case 1-1210	64038

ГЕРМАНИЯ	Прирост заболевших
MEAN case	33463,7445
MEDIAN case	7709
SD case	64672,5426
VALID_N case	1143
SUM case	38249060
MIN case	0
MAX case	484345

Рис. 7. Ход нормализованных и сглаженных величин суточного прироста заболевших в Австрии и Германии

Сходства и отличия волновой структуры моделей национальных рядов суточного прироста заболевших *COVID*-19 в государствах, находящихся на широте около 51,04о с. ш., отражает рис. 8.



		Государства Европы на средней широте 51,0398 с. ш.					
		Франция	Германия	Австрия	Польша	Беларусь	Россия
Широта, с. ш.		46,2276	51,1657	47,5162	51,9194	53,7098	55,7 (ETP)
Долгота, в. д.		2,2137	10,4515	14,5501	19,1451	27,9534	30,5 (ETP)
Периоды колебательных компонент в модели фона, сутки							
	Аргумент спектра	Величины периодов, полученные с учётом результатов их корректировки					
1	1142,00	1055,613	1197,579				
2	571,00	*	* 571	* 540,615			
3	380,67		337,125		* 417,763	* 393,025	
4	285,50	292,646					
5	228,40	* 225,441	*	* 235,552	* 268,596	* 207,855	* 228,400
6	190,33						192,423
7	163,14	*			*		
8	142,75	*	*		* 150,825	* 138,839	
9	126,89			* 124,794			
10	114,20			111,470	* 111,186		
11	103,82					* 106,514	* 103,818
12	95,17						
13	87,85	* 88,650				*	
14	81,57		* 81,571				
15	76,13				* 76,133		
16	71,38						*
17	Дополнительный	96,809		1716,670		165,849	1205,5193

Символ «*» – величина периода, намечаемая по «сырому» спектру, или периодограмме, ряда. Численное значение – результат корректировки периода в ходе формирования моделей диагностических компонент, в т. ч. тестирования дополнительной, к результатам спектрального анализа, компоненты.

Рис. 8. Сходства и отличия волновой структуры моделей национальных рядов суточного прироста заболевших *COVID*-19 в государствах Европы

Применительно к рис. 8 укажем, что компонента с $T \approx 233{,}169$ суток, или 7,659 месяца (тонирование жёлтого цвета), получила и расчётное (периодограммы рядов), и методическое (результаты подгонки параметров моделей) подтверждение в структуре моделей диагностических компонент всех рассматриваемых государств Европы.

Мы допускаем, что система ритмов, занимающих в последней таблице (см. рис. 8) диапазон 120…290 суток (4-9 месяцев) связана с феноменом «постковидного синдрома» (*https:// www.who.int/news-room/ fact-sheets/detail/ post-covid-19-condition-(long-covid*).

Принцип численной оценки скорости распространения волн заболевания (V) в направлении с запада на восток (по 51о с. ш.) и в направлении с юга на север (по 30о в. д.) иллюстрирует следующая схема (рис. 9)

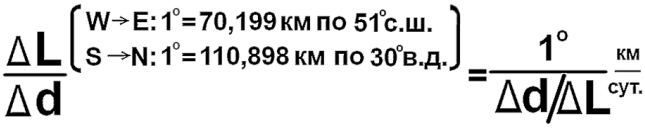


Рис. 9. Принцип численной оценки скорости распространения заболевания по соответствующим экстремумам графиков нормализованных и сглаженных величин суточного прироста заболевших

Таким образом (см. рис. 9), для двух соседних государств, расположенных, в частности, *приблизительно* на одной широте, определяется разность величин их географической долготы (ΔL), а также время в сутках, разделяющее прохождение одного и того же экстремума (Δd). Далее учитывается длина 1о дуги (в км) на данной широте – по долготе, на данной долготе – по широте.

На базе указанного принципа, получены оценки скорости распространения волн заболевания в государствах Западной Европы, которые, в целом, совпали с результатами пилотного расчёта в 2021-2022 годах.

В заключение отметим, что в июле 2021 года на пленарном заседании Московского урбанистического форума глава Роспотребнадзора А. Ю. Попова допустила, что скорость распространения *COVID*-19 можно сравнить со скоростью самолета: «Скорость распространения, мы теперь это уже знаем, равна скорости движения авиалайнера» (*https:// lenta.ru/news/ 2021/07/02/ samolet/*). Роль авиасообщения и транспорта, в целом, в распространении вирусного агента, особенно на начальных этапах развития пандемии, широко обсуждается специалистами. Но из этой роли автоматически не следует, что вирус распространялся со скоростью самолёта: самолётом – да [6], со скоростью самолета – нет.

Выводы

1. В работе рассмотрены европейские государства, характеризующие распространение вирусных агентов по широте 51о с. ш. в направлении с запада на восток, а также ряд их медико-демографических и финансово-экономических показателей: Франция, Германия, Австрия, Польша, Беларусь, Россия. Рассмотрены государства, характеризующие движение вирусных агентов по долготе 30о в. д. в направлении с юга на север и их показатели: Турция, Румыния, Украина, Беларусь, Россия.

2. В первом случае *оценка скорости* распространения волн заболевания составила около 200 км в сутки, а во втором – около 360 км в сутки.

3. Анализ субширотного распространения волн заболевания позволяет заключить, что максимальные скорости характерны для промышленно развитых государств, расположенных в центре Европы, активно взаимодействующих с соседями по всей границе. Окраинные государства, будь то атлантическое побережье либо Балтийское море, географически ограниченные в контактах с соседями, характеризуются меньшими величинами скоростей.

4. Анализ скорости смещения волн с юга на север вдоль меридиана 30о в. д. позволил выделить треки, характеризуемые снижением величин скоростей со временем: в частности, речь идёт о Республике Беларусь и Турции. Однако для всех национальных треков подобное заключение не является справедливым.

5. В главной полосе распространения *COVID*-19» (30о…50о с. ш.; [5]) скорость эпидемического процесса выше, чем в более северных регионах, и менее дифференцирована по величинам для разных государств. Эффекты дифференцирования скорости, определяемые параметрами «среды», начинают проявляться именно в средних и высоких широтах Северного полушария. Ситуацию можно сравнить с шоссе, объединяющим несколько полос движения.

6. По итогам факторного анализа, получено следующее заключение. Объединённый в корпорацию медицинский персонал выступает посредником проведения «биологического сигнала» и наиболее сильно влияет на ситуацию с распространением *COVID*-19. Кроме того, на ситуации сказываются: 1) общесистемные механизмы диссипации сигналов в реальных средах; 2) уровень жизни населения, находящий выражение в возможностях получения квалифицированной и оперативной медицинской помощи; 3) фактор наиболее востребованной формы коммуникации людей.

Таким образом, системно значимыми параметрами, определяющими скорость распространения волн заболевания и с запада на восток, и с юга на север, видимо, являются количество медиков на 10 000 населения и доля населения с высшим образованием.

Список литературы

1. Баврина А.П. Сравнительная характеристика очередного подъема заболеваемости COVID-19 в различных регионах мира / А.П. Баврина, Н.В. Саперкин, О.В. Другова, Н.Н. Карякин, О.В. Ковалишена // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2021. – Т. 20(4). – С. 89-102.

2. Блох А.И. Периодизация распространения COVID-19 на региональном уровне / А.И. Блох, Н.А. Пеньевская // Национальные приоритеты России. – 2024. – № 1 (52). – С. 89-96.

3. Карпова Л.С. Сравнение первых трех волн пандемии COVID-19 в России (2020-2021 гг.) / Л.С. Карпова, К.А. Столяров, Н.М. Поповцева [и др.] // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2022. – Т. 21(2). – С. 4-16. – DOI: 10.31631/2073-3046-2022-21-2-4-16.

4. Нечаев В.В. О возможных причинах волнообразного течения эпидемического процесса SARS-CoV-2 [тезис] / В.В. Нечаев, Ю.В. Лобзин, Д.А. Гусев, Е.С. Горзий // Журнал инфектологии. –2021. – Т. 13. – № 1. – С. 57.

5. Панин А.Н. Пространственные закономерности распространения пандемии COVID-19 в России и мире: картографический анализ / А.Н. Панин, И.А. Рыльский, В.С. Тикунов // Вестник Московского университета. – Сер. 5: География. – 2021. – № 1. – С. 62-77.

6. Тархов С.А. Влияние COVID-19 на авиаподвижность населения в странах Европы в 2020 году / С.А. Тархов // Известия РАН. Серия географическая. – 2021. – Т. 85. – № 6. – С. 804-818. – DOI: 10.31857/S2587556621060145.

ПРИРОДНЫЕ МНОГООСНОВНЫЕ ГИДРОКСИКИСЛОТЫ КАК ПРОТИВОИОНЫ СОЛЕВЫХ ФОРМ РАЗВЕТВЛЁННОГО ОЛИГОГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНИДИНА

В.А. Ленин, К.А. Небесный
РТУ МИРЭА,
г. Москва

Аннотация. *В статье рассмотрен подход к получению солевых форм разветвлённого олигогексаметиленгуанидина (ОГМГ) с лимонной, винной и яблочной кислотами через промежуточный гидрокарбонат ОГМГ и его очистку, а на конечной стадии взаимодействие гидрокарбоната непосредственно с кислотой. Такой подход исключает присутствие хлорид-иона и минеральных побочных продуктов в целевой субстанции. Проведено сравнение кислот по основности, кислотности, стереохимии и растворимости, рассчитана доля олигогуанидинового катиона в средних солях, сформулированы ожидаемые различия свойств солей и предложен комплекс методов их контроля, включающий поляриметрию оптически активного аниона.*

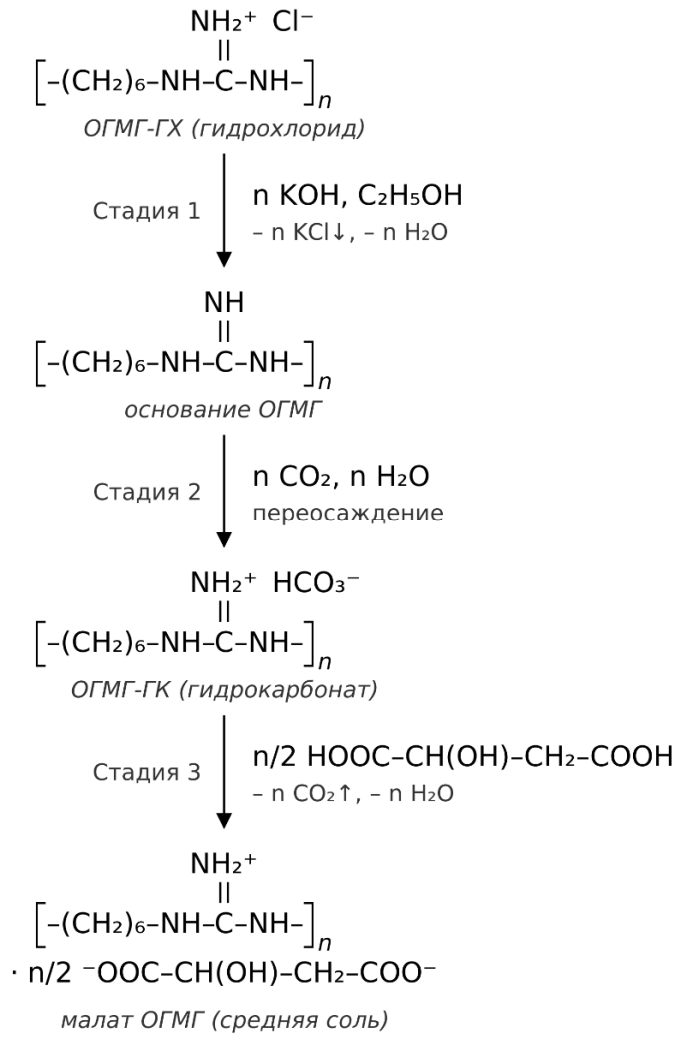
Рост устойчивости микроорганизмов к антибиотикам и дезинфектантам относится к числу глобальных проблем экологии человека. Всё большее значение в этой связи с приобретают катионные полимерные биоциды, действие которых направлено не на одну ферментативную мишень, а на клеточную оболочку в целом: полимер адсорбируется на отрицательно заряженной поверхности клетки, нарушает целостность мембраны и подавляет активность ферментов [1, 2]. К таким соединениям относятся полигуанидины, в том числе олигогексаметиленгуанидин (ОГМГ). Соли полигуанидинов относят к III-IV классам опасности, причём токсичность снижается с ростом молекулярной массы и зависит от природы противоиона: фосфатная и глюконатная формы менее токсичны, чем хлоридная [2].

Вместе с тем безопасность полигуанидинов не может считаться заданной заранее. Массовые поражения лёгких в Республике Корея, связанные с ингаляционным поступлением аэрозолей дезинфектантов для увлажнителей воздуха на основе фосфата полигексаметиленгуанидина, показали, что решающее значение имеет путь поступления вещества в организм [3]. Поэтому новые формы полигуанидинов требуют строгого контроля состава и обоснованных областей применения.

Один из способов регулировать свойства соли ОГМГ, не затрагивая олигогуанидиновую (олигокатионную) цепь, является замена аниона. В качестве источника аниона перспективны многоосновные алифатические гидроксикислоты: лимонная, винная и яблочная. Они имеют природное происхождение, участвуют в обмене веществ живых организмов, применяются как пищевые добавки (Е330, Е334, Е296) и вспомогательные вещества в фармацевтической технологии [4], а их анионы не накапливаются в окружающей среде. Замена хлорид-иона анионом гидроксикислоты даёт бесхлорную субстанцию, растворимость, кислотность раствора и гигроскопичность которой задаются строением кислоты [5].

Исходным сырьём служит разветвлённый ОГМГ в форме гидрохлорида (ОГМГ-ГХ). Вещество олигомерно: образец представляет собой набор цепей разной длины и степени разветвления, поэтому навески рассчитывают по условному эквиваленту гуанидинового звена, а не по молярной массе. Показано, что при обмене противоиона среднее число разветвлений на молекулу ОГМГ практически не меняется (0,47 и 0,49 для перехода от ОГМГ гидрохлорида к его гидросалицилату), а рост среднечисловой молекулярной массы объясняется потерей низкомолекулярных фракций при очистке [6].

Схема получения. Прямой обмен хлорида на анион слабой органической кислоты протекает не полностью, и продукт остаётся загрязнён хлоридами. Поэтому предлагается трёхстадийная схема:



На первой стадии хлорид-ион выводится из системы в виде малорастворимого в этаноле хлорида калия; полноту удаления контролируют пробой фильтрата с нитратом ртути. На второй стадии основание переводят в гидрокарбонат (ОГМГ-ГК) действием диоксида углерода. Переосаждение ОГМГ ГК позволяет снизить содержание неорганических балластных примесей, а следующая стадия практически полностью удаляет остатки органического растворителя. На третьей стадии гидрокарбонат-ион вытесняется более сильной

гидроксикислотой, а единственный побочный продукт – CO_2 – самопроизвольно покидает реакционную смесь и не вносит в продукт посторонних ионов. Побочные продукты схемы (KCl, CO_2, вода) не требуют специального обезвреживания, а этанол может быть возвращён в процесс после перегонки, что соответствует принципам «зелёной» химии.

Варьируя соотношение эквивалентов ОГМГ-ГК и молей применяемой кислоты (так для лимонной кислоты такие соотношения составляют : 1 : 1/3; 1 : 1/2; 1 : 2/3; 1 : 1), можно получать формы с разной степенью нейтрализации гуанидиновых центров. Для корректного сравнения все образцы получают из одной партии ОГМГ-ГХ по единому протоколу.

Характеристика многоосновных алифатических гидроксикислот [4, 7, 8]

Показатель	**Лимонная**	**Винная, L-(+)**	**Яблочная, L-(−)**
Брутто-формула	$C_6H_8O_7$	$C_4H_6O_6$	$C_4H_6O_5$
M, г/моль	192,12	150,09	134,09
Число групп COOH / OH	3 / 1	2 / 2	2 / 1
pK_a (25 °C)	3,13; 4,76; 6,40	2,98; 4,34	3,40; 5,20
Хиральные центры	нет	2	1
Стереоизомеры	нет	L-(+), D-(−), мезо-форма	L-(−), D-(+)
Растворимость в воде, 20 °C, г/100 мл	≈146	≈133	≈56
Т. пл., °C (рацемат DL)	153	170–172 (206)	100–103 (130–132)
$[\alpha]_D^{20}$	0	+12…+13° (вода, c = 20 %)	≈ −2° (вода); −30° (пиридин, c = 5,5 %)
Эквивалентная масса аниона*, г/экв	63,0	74,0	66,0
Доля катиона ОГМГ в средней соли*, %	69,3	65,8	68,3

* Расчёт авторов на звено $C_7H_{16}N_3^+$ (142,2 г/моль) при полной нейтрализации кислоты.

Сравнение кислот. Основные характеристики кислот приведены в таблице.

Лимонная кислота трёхосновна и ахиральна; один её анион способен связывать до трёх гуанидиниевых центров, что допускает широкий набор соотношений и, вероятно, более плавное изменение растворимости соли. Винная и яблочная кислоты двухосновны и различаются числом гидроксильных групп и стереохимией. Спиртовые гидроксилы α-гидроксикислот очень слабо кислотны ($pK_a \approx 14{,}4$-$14{,}5$ для цитрата и малата [9]) и в солеобразовании не участвуют, но за счёт водородных связей влияют на гидратацию и растворимость солей. Поэтому для тартрата с двумя OH-группами можно ожидать более прочного межмолекулярного связывания и склонности к образованию менее растворимых форм при низком содержании кислоты, а малат должен занимать промежуточное положение. Эти ожидания носят характер гипотезы и подлежат экспериментальной проверке.

Расчёт показывает, что при полной нейтрализации доля олигогуанидинового катиона в массе соли меняется в узких пределах – от 65,8 % (тартрат) до 69,3 % (цитрат). Следовательно, выбор кислоты определяется не столько «разбавлением» действующего начала, сколько растворимостью, pH раствора и технологичностью получения соли.

Стереохимический аспект контроля. Олигогуанидиновая цепь ахиральна, поэтому оптическое вращение раствора соли обусловлено только анионом. Это позволяет использовать поляриметрию не только для подтверждения подлинности кислоты, но и для оценки состава: удельное вращение, пересчитанное на массу кислотного остатка, сравнивают со значением для свободной кислоты. Совпадение означает аддитивность вклада аниона, систематическое расхождение указывает на его взаимодействие с цепью. Измерения выполняют по ОФС «Поляриметрия» действующей Государственной фармакопеи [10] с обязательным указанием концентрации, длины кюветы, температуры, длины волны и растворителя.

При входном контроле важно учитывать, что синтетическая яблочная кислота, как правило, представляет собой рацемат, тогда как в природе встречается только L-изомер [4]. В воде удельное вращение L-яблочной кислоты мало (около −2°), поэтому отсутствие вращения водного раствора ещё не доказывает рацемическую природу образца: вывод делают по измерению в пиридине и по температуре плавления. У винной кислоты отсутствие вращения может быть связано как с рацематом (внешняя компенсация), так и с мезо-формой (внутренняя компенсация); их различают по температуре плавления. Лимонная кислота и цитрат ОГМГ служат отрицательным контролем прибора.

Образование соли доказывают по совокупности данных: ^{1}H-ЯМР (соотношение компонентов по интегральным интенсивностям), ^{13}C-ЯМР (смещение сигналов карбоксильных атомов углерода при переходе COOH → COO^{-}), ИК-спектроскопии (полосы карбоксилат-аниона и гуанидиниевого фрагмента), кислотно-основного титрования, потенциометрии, определения воды и количественной растворимости. Сравнение с физической смесью ОГМГ-ГК и кислоты того же состава отличает солеобразование от механического смешения.

Выводы. 1. Многоосновные гидроксикислоты природного происхождения являются экологически обоснованной альтернативой хлорид-иону в солевых формах разветвлённого ОГМГ. 2. Схема через гидрокарбонат ОГМГ позволяет получить бесхлорные соли, а побочные продукты процесса не требуют специального обезвреживания. 3. Различия свойств солей определяются основностью кислоты, числом гидроксильных групп и стереохимией аниона, а не долей действующего начала, которая для трёх кислот различается не более чем на 3,5 процентного пункта. 4. Ахиральность олигогуанидиновой цепи делает поляриметрию удобным дополнительным критерием контроля состава малатов и тартратов ОГМГ.

Выражаем благодарность своему научному руководителю Седишеву И.П. за помощь в работе.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП РТУ МИРЭА при поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения №075-15-2025-548 от 18.06.2025 г.

Список литературы

1. Воинцева И.И. Полигуанидины – дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы / И.И. Воинцева, П.А. Гембицкий. – М.: ЛКМ-пресс, 2009. – 303 с.

2. Ефимов К.М. Полигуанидины – класс малотоксичных дезсредств пролонгированного действия / К.М. Ефимов, П.А. Гембицкий, А.Г. Снежко // Дезинфекционное дело. – 2000. – № 4.

3. Kim H.R. Adverse health effects of humidifier disinfectants in Korea: lung toxicity of polyhexamethylene guanidine phosphate / H.R. Kim, G.W. Hwang, A. Naganuma, K.H. Chung // The Journal of Toxicological Sciences. – 2016. – Vol. 41, № 6. – P. 711-717.

4. Rowe R.C. Handbook of Pharmaceutical Excipients / R.C. Rowe, P.J. Sheskey, M.E. Quinn. – 6th ed. – London: Pharmaceutical Press, 2009.

5. Pharmaceutical Salts: Properties, Selection, and Use / ed. by P.H. Stahl, C.G. Wermuth. – Zürich: VHCA; Weinheim: Wiley-VCH, 2002.

6. Жаворонок Е.С. Аддукты эпоксидных олигомеров с олигогексаметилентуанидином и модифицированные эпоксиаминные плёнки на их основе / Е.С. Жаворонок, И.П. Седишев, А.В. Сафонов, И.Н. Сенчихин // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2019. – Т. 61, № 5. – С. 431-439.

7. PubChem Compound Summary: Citric acid; Tartaric acid; Malic acid [Электронный ресурс]. – URL: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

9. Silva A.M.N. Determination of the pKa value of the hydroxyl group in the α-hydroxycarboxylates citrate, malate and lactate by ^{13}C NMR: implications for metal coordination in biological systems / A.M.N. Silva, X. Kong, R.C. Hider // BioMetals. – 2009. – Vol. 22, № 5. – P. 771-778.

10. Государственная фармакопея Российской Федерации. – XV изд. – М.: Министерство здравоохранения РФ, 2023. – ОФС «Поляриметрия» 1.2.1.0018.

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЬНОГО ЛИСТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ РАБОТЫ УЧАСТКА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

А.А. Маслова, А.В. Волкова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Рассмотрены назначение и возможная структура контрольных листов для оценки экологических аспектов работы участков термической обработки. Предложены группы критериев, охватывающие оборудование, вытяжную вентиляцию, технологические среды и отходы. Описаны способы регистрации результатов и выбора первоочередных мероприятий. Показано, как применение контрольных листов может помочь выявлять недостатки и организовывать контроль их устранения.*

Контроль экологических аспектов производственного участка предполагает регулярное получение сведений о состоянии оборудования, использовании технологических сред и обращении с отходами. При проведении обходов необходимо последовательно проверять одни и те же значимые условия и сохранять результаты наблюдений. Для решения этой задачи может использоваться контрольный лист – перечень проверяемых вопросов с полями для записи результатов, подтверждающих сведений и необходимых действий.

Для участка термической обработки существенна связь между техническим состоянием оборудования и возможным воздействием на окружающую среду. Повреждение соединений может сопровождаться утечкой технологической среды, нарушение работы вытяжной системы – изменением условий удаления выделений, а ненадлежащее накопление загрязнённых материалов – распространением загрязнения за пределы рабочего места. При этом состав выбросов и отходов определяется конкретным процессом: одинаковое назначение участков не означает одинакового набора экологических аспектов [1].

Цель работы – предложить структуру контрольного листа для оценки экологических аспектов работы участка термической обработки и описать порядок его применения. Рассматриваются содержание проверочных блоков, способы подтверждения результатов и подход к определению первоочередных мероприятий. Предлагаемая форма предназначена для адаптации к различным участкам с учётом их оборудования, технологических операций и используемых материалов.

Основой предлагаемого подхода является сопоставление применимого требования, наблюдаемого состояния и результата проверки. Контрольный лист рассматривается как организационный инструмент, позволяющий последовательно выявлять взаимодействие производственных операций с окружающей средой и оценивать достаточность предусмотренных мер. Его содержание формируется по особенностям технологии: состав оборудования, применяемые среды и способы удаления выделений определяют, какие вопросы необходимо включить в проверку. Универсальной является структура записи, тогда как конкретные критерии требуют уточнения для каждого участка [2,3].

Нормативную основу составляют федеральные законы об охране окружающей среды, атмосферного воздуха и об отходах производства и потребления, а также требования к содержанию программы производственного экологического контроля. Методические ориентиры определены стандартами экологического менеджмента и оценки экологической результативности. Положения стандартов используются для построения авторского инструмента и не объявляются самостоятельными обязательными требованиями к предприятию.

Для формирования контрольного листа предлагается последовательно рассмотреть производственные операции и связанные с ними экологические аспекты. Для каждого элемента устанавливается цепочка: операция или оборудование – экологический аспект – возможное воздействие – проверяемое

условие – подтверждающие сведения. Такой подход помогает определить, зачем включён конкретный вопрос и какие выводы можно сделать по ответу на него. Например, проверка состояния ёмкости связана с предупреждением утечек, а проверка порядка накопления отходов – с предотвращением их смешения и распространения загрязнения.

Экологический аспект представляет собой элемент деятельности, способный взаимодействовать с окружающей средой. Применительно к термической обработке такими аспектами могут быть образование отходов, выделение загрязняющих веществ и использование технологических сред. Возможное воздействие описывает последствие этого взаимодействия, например загрязнение почвы при утечке масла. Контрольный лист должен отражать как сам аспект, так и условия, при которых он может привести к нежелательному воздействию. Это позволяет перейти от общего перечня опасений к конкретным вопросам проверки.

При подготовке контрольного листа составляется перечень оборудования и операций, которые предполагается проверять. Для каждой единицы оборудования уточняются назначение, используемые материалы, режим работы, связь с вытяжными системами и порядок обслуживания. В качестве исходных сведений могут использоваться паспорта и руководства по эксплуатации, технологические инструкции, документы об источниках выбросов, учёте отходов и обслуживании инженерных систем. Обсуждение с работниками помогает уточнить последовательность операций и определить места, требующие внимания при обходе.

Для нагрева и выдержки деталей проверяется наличие выделений, предусмотренных характеристиками процесса, и способ их удаления. На участках, использующих жидкие технологические среды, рассматриваются их хранение, применение, замена и возможные утечки. При обслуживании оборудования выявляются образующиеся загрязнённые материалы и детали. Накопление отходов оценивается отдельно, поскольку даже при исправном оборудовании ненадлежащая тара или смешение несовместимых отходов способны создавать дополнительный путь распространения загрязнения.

Состав проверочных блоков зависит от технологической схемы. При наличии солевых ванн, защитных атмосфер, промывки или газоочистки предусматриваются соответствующие вопросы. Если такие операции и установки отсутствуют, связанные с ними позиции исключаются либо отмечаются как неприменимые. Для отходов учитываются происхождение, состав и условия накопления. Такой принцип позволяет использовать общую форму на разных участках, сохраняя связь каждого вопроса с реальным производственным процессом.

Отдельно разграничиваются воздух рабочей зоны и атмосферный воздух. Работа местного отсоса характеризует один из элементов организации удаления выделений, но не подтверждает очистку отходящего потока. При отсутствии газоочистки загрязняющие вещества могут удаляться из помещения и поступать в атмосферу. Поэтому проверка вентиляции дополняется установлением связи с

источниками выбросов и предусмотренными мероприятиями контроля. Измерения факторов рабочей среды не подменяют контроль выбросов в атмосферу [4].

Возможная структура контрольного листа включает пять блоков: оборудование и технологические среды; удаление выделений; накопление отходов; готовность к проливам и утечкам; документирование и выполнение мероприятий. Каждый блок объединяет вопросы об определённом направлении контроля. Формулировки должны быть понятными и допускать проверяемый ответ. Самостоятельные условия рекомендуется оценивать раздельно, чтобы по записи можно было установить, какой именно недостаток обнаружен и какие действия необходимы.

В каждой позиции целесообразно предусмотреть объект проверки, критерий, основание, способ подтверждения и результат. При выявлении недостатка дополнительно записываются его описание и необходимое мероприятие. Основанием может служить применимое нормативное требование, эксплуатационная документация или локальный порядок. Рекомендации по улучшению организации работ следует отличать от обязательных требований. В таблице приведён пример содержания проверочных блоков, которое может быть уточнено при подготовке контрольного листа для конкретной технологии.

Таблица

Содержание контрольного листа оценки экологических аспектов

Блок	Проверяемый критерий	Способ подтверждения
Оборудование и среды	1. Отсутствуют видимые утечки из ёмкостей и соединений. 2. Тара для технологических сред исправна и соответствует условиям применения.	Осмотр ёмкостей и соединений; эксплуатационная документация; сведения о свойствах сред.
Удаление выделений	3. Предусмотренные местные отсосы и воздуховоды не имеют видимых повреждений. 4. Обслуживание и контроль вытяжных систем документированы. 5. Газоочистка проверяется при её наличии.	Осмотр; схема вытяжных систем; записи об обслуживании; результаты проверок и измерений.
Накопление отходов	6. Фактические отходы сопоставлены с учётными данными. 7. Выполняется установленное раздельное накопление. 8. Тара исправна; утечки и переполнение отсутствуют.	Осмотр мест накопления; перечень отходов; документы учёта; локальный порядок обращения с отходами.
Проливы и утечки	9. Определены действия при проливе применяемой среды. 10. Доступны подходящие средства локализации. 11. Определён порядок обращения с загрязнёнными сорбентами.	Инструкция; осмотр инвентаря и мест его хранения; сведения о совместимости сорбента со средой.

Блок	Проверяемый критерий	Способ подтверждения
Учёт результатов	12. Изменения технологии передаются для экологической оценки. 13. По предыдущим недостаткам установлены мероприятия и сроки. 14. Закрытие замечаний подтверждено повторной проверкой.	Записи об изменениях; журнал проверок; документы о выполнении работ; повторный осмотр.

По каждому вопросу используется один из четырёх статусов: «соответствует», «не соответствует», «не применимо» и «недостаточно данных». Первый статус допускается при наличии достаточного подтверждения выполнения применимого критерия. Второй сопровождается описанием конкретного отклонения и его основания. Для статуса «не применимо» указывается причина исключения вопроса, например отсутствие соответствующей установки. Последний статус означает, что осмотра недостаточно либо необходимые документы не представлены.

Результаты фиксируются раздельно по оборудованию или месту накопления. Запись «вентиляция исправна» для всего участка не позволяет установить, какой местный отсос осмотрен и какими сведениями подтверждена его работа. Предпочтительна запись с обозначением оборудования, датой проверки и реквизитами документа. При обнаружении следов пролива дополнительно указываются место, предполагаемый источник и принятые действия; видимый след сам по себе не позволяет количественно оценить загрязнение почвы или вод [5].

Форма регистрации результата может включать номер вопроса, обозначение оборудования или места накопления, дату, режим работы, статус, подтверждающие сведения и описание отклонения. Для последующего контроля предусматриваются поля с мероприятием, исполнителем, сроком и отметкой о проверке результата. Такая запись показывает не только состояние объекта на момент обхода, но и дальнейшую работу с замечанием. При необходимости описание дополняется фотографией с указанием места и даты, если её получение допускается на предприятии.

Применение контрольного листа начинается с проверки его соответствия технологии. Специалист по охране окружающей среды совместно с представителями производства и технических служб уточняет перечень применимых вопросов и необходимые документы. Затем проводится обход с регистрацией режима работы оборудования. Наблюдение при остановленном оборудовании нельзя использовать как достаточное подтверждение отсутствия выделений в рабочем режиме. В итоговой записи отдельно отмечается, какие условия не удалось проверить.

После обхода результаты сопоставляются с документами. При отсутствии подтверждения эффективности вытяжной системы назначается техническая проверка в установленном порядке, а не делается вывод о её нормативной работоспособности по внешнему виду. При выявлении нового вида отхода уточняются его происхождение, состав и порядок учёта. Изменение состава технологических сред рассматривается как основание для пересмотра

соответствующих вопросов и оценки необходимости актуализации природоохранной документации.

Предлагается различать три группы действий. В первую включаются ситуации с продолжающимся неконтролируемым выходом среды, явной утечкой или непосредственной возможностью распространения загрязнения. Они требуют незамедлительного сообщения уполномоченным лицам и локализации в пределах установленного порядка. Во вторую входят подтверждённые несоответствия без установленного текущего выхода загрязняющих веществ; для них определяются исполнители и сроки. В третью относятся пробелы в информации, по которым необходимо получить документы или провести дополнительную проверку. Группы являются авторским способом организации работы и не заменяют предусмотренные законом процедуры [6].

Для рассматриваемой структуры предлагается учитывать характер каждого замечания отдельно, без обязательного расчёта общего балла. Суммирование одинаковых оценок за разные недостатки может скрыть существенное отклонение среди большого числа положительных ответов. Например, утечка среды и отсутствие записи об осмотре требуют разных действий и сроков. Поэтому контрольный лист должен прежде всего показывать, где обнаружена проблема, чем она подтверждена и какие меры необходимы для её устранения.

Мероприятие считается завершённым после проверки результата. Для ремонта ёмкости подтверждается устранение утечки, для замены тары – её фактическая пригодность и размещение, для документарного пробела – получение необходимых сведений. Отметка о выполнении работ без соответствующего подтверждения не является достаточным основанием для закрытия замечания. При повторении недостатка рассматриваются его причины: неудобное расположение тары, отсутствие доступного инвентаря, неясный порядок действий или недостатки обслуживания.

Периодичность обходов устанавливается предприятием с учётом особенностей оборудования, свойств сред и истории отклонений. Дополнительная проверка целесообразна после изменений технологии, существенного ремонта и происшествий, способных повлиять на экологические аспекты. В электронной форме контрольный лист может быть реализован как таблица с фильтрацией по оборудованию, исполнителю и сроку. При этом сохраняются дата записи, автор изменения и основание закрытия замечания, чтобы последующее редактирование не приводило к потере истории контроля.

Применение единой формы может повысить последовательность обходов и облегчить передачу сведений между производством, техническими службами и специалистом по охране окружающей среды. Проверяющий получает перечень вопросов, исполнитель – описание необходимого действия, а лицо, контролирующее выполнение, – сведения о сроке и подтверждении результата. Накопленные записи позволяют увидеть повторяющиеся недостатки и определить, какие организационные или технические решения требуют пересмотра.

Для оценки организации контроля могут использоваться число проверенных объектов, распределение результатов по четырём статусам, количество повторных замечаний и доля мероприятий, выполненных в установленный срок. Эти сведения помогают оценить полноту проверок и исполнение принятых решений. Для сопоставления разных периодов необходимо учитывать изменение перечня вопросов и состава оборудования. Сокращение числа замечаний само по себе не подтверждает уменьшение выбросов или образования отходов: для оценки таких изменений нужны самостоятельные измерения и сведения о производственной нагрузке.

Границы применения контрольного листа определяются способами подтверждения результатов. Визуальный осмотр позволяет обнаружить видимые повреждения, утечки и недостатки накопления отходов, а анализ документов — проверить наличие предусмотренных сведений и записей. Для определения концентраций загрязняющих веществ и эффективности газоочистки необходимы соответствующие измерения. Контрольный лист помогает установить потребность в дополнительной проверке и систематизировать её результаты, дополняя программу производственного экологического контроля, инвентаризацию источников выбросов и учёт отходов.

Предложена структура контрольного листа для оценки экологических аспектов работы участков термической обработки. Она объединяет вопросы о состоянии оборудования, использовании технологических сред, удалении выделений, накоплении отходов и выполнении мероприятий. Запись основания проверки, подтверждающих сведений и результата делает выявленные недостатки понятными для последующей работы и позволяет отличать подтверждённое отклонение от отсутствия информации.

Практическая ценность контрольных листов заключается в организации последовательных проверок, сохранении результатов наблюдений и контроле устранения замечаний. Применение четырёх статусов позволяет учитывать различия технологий и выделять вопросы, требующие уточнения. Адаптация содержания к оборудованию участка и повторная проверка выполненных мероприятий создают основу для более системного управления экологическими аспектами и предупреждения загрязнения.

Список литературы

1. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ

2. Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ

3. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ

4. Об утверждении требований к содержанию программы производственного экологического контроля, порядка и сроков представления отчета об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля: приказ Минприроды России от 18.02.2022 № 109 (ред. от 12.05.2025). Зарегистрирован в Минюсте России 25.02.2022 № 67461.

5. ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. Утверждён приказом Росстандарта от 29.04.2016 № 285-ст. Дата введения: 01.03.2017.

6. ГОСТ Р ИСО 14031-2023. Экологический менеджмент. Оценка экологической результативности. Руководящие указания. Утверждён приказом Росстандарта от 25.09.2023 № 936-ст. Дата введения: 01.01.2024.

СИСТЕМА МЕРОПРИЯТИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТЫ ПЕРСОНАЛА МАЛЯРНОГО УЧАСТКА, НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ТРУДА

М.М. Лукьянов, К.А. Ирбулатов, А.В. Волков
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *На примере малярного участка машиностроительного предприятия г. Тулы, рассмотрены способы защиты персонала от выделений летучих органических соединений и аэрозольных частиц. Результаты специальной оценки условий труда показали превышение предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны, в т. ч. диметилбензола – в 8,2 раза, пропанола – в 2,7 раза. В целях снижения профессиональных и экологических рисков, предложен переход от изолированных систем газоочистки к комплексному подходу, включающему модернизацию вытяжной вентиляции, внедрение многоступенчатых фильтрующих систем и средств индивидуальной защиты. Реализация мероприятий обеспечивает социально-приемлемый уровень рисков функционирования предприятий машиностроения оборонно-промышленного комплекса РФ.*

Исследования в области снижения производственных и экологических рисков технологий выполнения лакокрасочных работ (ЛКР) актуальны и практически значимы. Объект исследования – производственная среда малярного участка машиностроительного предприятия г. Тулы; предмет исследования – выделение загрязняющих веществ в ходе нанесения на изделия и сушки лакокрасочных материалов (ЛКМ), а также характера их влияния на производственную среду.

Целью исследования является количественная оценка выделений при покрасочных работах и обоснование комплекса инженерно-технических и организационных мероприятий по их улавливанию и нейтрализации.

Процесс образования выделений при ЛКР носит комплексный характер и определяется физико-химическими свойствами применяемых материалов. Любой жидкий ЛКМ представляет собой многокомпонентную дисперсную систему, включающую пленкообразующие вещества, пигменты, наполнители и летучие компоненты – растворители и разбавители. Массовая доля растворителей в традиционных эмалях и грунтах может достигать 30-70 %. При пневматическом распылении – при давлении воздуха 0,3-0,6 МПа, а также в процессе естественной или термической сушки происходит интенсивная десорбция летучих компонентов в окружающую среду.

На малярном участке предприятия применяются грунтовки ГФ-021, ФЛ-03К,

ЭП-0199, ВЛ-023, эмали ПФ-115, МЛ-12, АК-111, ЭП-711, УР-1173, а в качестве растворителей – ксилол, толуол, изопропиловый спирт, бутилацетат, бензин-растворитель. В ходе их применения выделяются загрязняющие вещества двух основных групп:

1) паро- и газообразные вещества – летучие органические соединения (ЛОС); к ним относят ароматические углеводороды (толуол, ксилол), кетоны, сложные эфиры (бутилацетат) и спирты; они переходят в газообразную фазу при испарении растворителей как в процессе распыления, так и в период сушки покрытий;

2) аэрозоли, называемые также «окрасочным туманом»; образуется вследствие неполного осаждения капель ЛКМ на окрашиваемую поверхность, поскольку коэффициент переноса материала при традиционном пневматическом распылении составляет всего 30-50 % (таблица).

Результаты измерений концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны маляра

№	Наименование вещества (CAS)	ПДК, мг/м³	Фактическое значение (макс.), мг/м³	Фактическое значение (среднее), мг/м³	Класс условий труда
1	Диметилбензол (смесь 2-, 3-, 4-изомеров) / Ксилол (1330-20-7)	50	411,5	159,4	3.2
2	Метилбензол / Толуол (108-88-3)	150	129,5	81,2	3.1
3	Пропан-2-ол / Изопропиловый спирт (67-64-1)	800	231,5	48	2
4	Бутилацетат (123-86-4)	200	27,2	7,3	2
5	Бензин (растворитель, толуиновый) (8032-32-4)	300	155,5	9	2
6	Пропан-2-ол (67-63-0)	50	138,5	8,3	3.1
7	Вещество умеренно опасное (аллерген) (106-89-8)	2	0,3	0,16	2

На основании анализа условий труда и рекомендаций карты СОУТ, разработан комплекс мероприятий по снижению производственных, а также экологических рисков [1-3]. Этот комплекс включает мероприятия следующих основных групп.

1. *Технические мероприятия.*

Предложена ревизия и модернизация вытяжной вентиляции окрасочной камеры, в т. ч. замена изношенных подшипников и ремней вентиляторов, восстановление проектной скорости воздуха в рабочем проеме не менее 0,5 м/с.

Замена водяных фильтров – скрубберов – на комбинированные системы очистки, объединяющие сухие фильтры-отбойники лабиринтного типа – для грубой очистки, а также кассетные фильтры класса *F*7-*F*9 – для тонкой очистки аэрозоля.

Установка угольного адсорбционного фильтра на вытяжной шахте для улавливания паров ксилола и толуола.

Установка глушителей шума на выхлопные магистрали пневматических краскораспылителей; обеспечивает снижение шума на 5-8 $дБ_А$.

Облицовка стен и потолка окрасочной камеры звукопоглощающими панелями (базальтовое волокно, закрытое перфорированным листом), устойчивыми к химическому воздействию.

2. *Технологические мероприятия*.

Переход на ЛКМ с высоким сухим остатком (*high solid*) или водорастворимые эмали, что снизит содержание ксилола и толуола в составе на 40-60 %.

Замена пневматических краскораспылителей на электростатические или *HVLP*-распылители с высоким коэффициентом переноса краски; обеспечивает снижение туманообразования на 30 %.

3. *Организационные мероприятия.*

Строгий контроль за герметичностью тары с растворителями; хранение ЛКМ только в вытяжном шкафу.

Введение регламентированных перерывов (10 минут через каждые 45 минут) с выходом маляров в чистую зону – комнату отдыха с приточной вентиляцией.

Ежедневная уборка с применением обезжиривающих и абсорбирующих составов, нанесение противоскользящего покрытия на полы в зоне окрасочных камер.

4. *Средства индивидуальной защиты.*

Обеспечение маляров респираторами с комбинированными фильтрами A2B2E2K1-P3 (например, 3M 6000, 3M 6057), обеспечивающими защиту от органических паров и аэрозолей.

Использование защитных костюмов, химически стойких перчаток и защитных очков.

После реализации системы мероприятий (ремонт вентиляции, замена распылителей), концентрации ксилола составит 0,8-0,9 ПДК, что позволит снизить класс условий труда по химическому фактору с 3.2 до 3.1. Поэтому итоговый класс условий труда может быть снижен до 3.1, что позволит предприятию сократить размер компенсаций и взносов в Социальный фонд России.

Итак, выполнение лакокрасочных работ методом пневматического распыления является значимым источником выделения летучих органических соединений, мелкодисперсного окрасочного тумана и токсичных металлов. Эти компоненты оказывают выраженное токсическое воздействие на организм человека, а, при поступлении в атмосферу [4], участвуют в формировании фотохимического смога, способствуют деградации почвенно-растительного покрова прилегающих территорий.

Анализ показывает, что изолированное использование систем газоочистки не способно полностью нивелировать профессиональные и экологические риски. Необходим комплексный подход, включающий строгий технологический контроль (внедрение наилучших доступных технологий), высокоэффективное

распылительное оборудование, модернизацию вытяжной вентиляции (использование многоступенчатых фильтров), стратегический переход лакокрасочной отрасли на экологически безопасные материалы. Сочетание нормативного регулирования и инновационных материальных решений позволит обеспечить профессиональную и экологическую безопасность при проведении окрасочных работ.

Список литературы

1. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 64 с.

2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. – 469 с.

3. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 6 с.

4. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ (актуальная редакция).

МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА РИСКА

Е.В. Саратова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Рассмотрены качественные и количественные методы анализа техногенных и экологических рисков. Показаны особенности применения FMEA, FTA, ETA и HAZOP, их достоинства и ограничения. На примере термического производства раскрыто различие между оценкой условий труда и анализом возможного воздействия на окружающую среду.*

Работа промышленных предприятий сопровождается возможностью отказов оборудования, нарушений технологических режимов и аварийных воздействий. Анализ риска позволяет установить причины неблагоприятных событий, оценить возможные последствия и определить меры предупреждения. Особенно важно учитывать как безопасность производственной системы, так и возможное воздействие на атмосферный воздух, воду и почву. Цель исследования – сопоставить основные методы анализа риска и определить условия их обоснованного применения.

Риск связан с неопределенностью возможного события и его последствий. Опасность при этом является источником потенциального вреда, а анализ риска предполагает изучение конкретных условий, при которых вред может быть причинен. Работа начинается с определения границ объекта и критериев оценки. Далее выявляют опасности, устанавливают причины и сценарии развития событий, оценивают последствия, выбирают защитные мероприятия и документируют результаты [1, 2]. Для количественной оценки необходимы

достоверные исходные сведения: частоты отказов, свойства веществ, параметры оборудования, данные экологического контроля. При отсутствии этих данных допустимо качественное описание сценариев, но не следует подменять его произвольными вероятностями.

Качественные методы включают контрольные листы, предварительный анализ опасностей, экспертное рассмотрение сценариев и матрицы риска. Они позволяют быстро выделить опасные участки и упорядочить сведения при недостатке статистики. Однако результат зависит от полноты перечня опасностей и компетентности экспертов. Количественные методы используют вероятности, частоты событий и показатели последствий. При наличии исходных данных они позволяют сопоставлять альтернативные меры защиты и оценивать ожидаемые потери. При этом численная форма результата не исключает неопределенности, поэтому необходимо проверять исходные допущения и чувствительность расчетов [1, 2].

FMEA – анализ видов и последствий отказов – последовательно рассматривает возможные неисправности элементов системы, их причины, последствия и средства обнаружения. Он подходит для оборудования, вентиляционных систем и устройств контроля. FTA, или дерево отказов, исследует причины заранее выбранного нежелательного события и сочетания отказов, которые к нему приводят. ETA, или дерево событий, начинается с инициирующего события и рассматривает развитие ситуации в зависимости от действия защитных барьеров. Эти два подхода дополняют друг друга: FTA раскрывает причины, а ETA — возможные исходы. HAZOP основан на систематическом анализе отклонений параметров технологического процесса, например температуры, давления или расхода, от заданных значений. Он полезен для сложных установок, но требует участия специалистов разных направлений и актуальных технологических данных [2].

Выбор метода определяется задачей и полнотой информации. На ранних этапах обследования достаточно контрольных листов и предварительного анализа опасностей. Для выявления слабых мест оборудования используют FMEA, для сложных технологических отклонений – HAZOP, для причин аварии – FTA, а для развития аварийного сценария – ETA. На практике целесообразно сочетать несколько методов, поскольку каждый отражает только определенную сторону риска [2].

Таблица

Назначение основных методов анализа риска

Метод	**Основная задача**
Контрольный лист	Первичное выявление опасностей
FMEA	Определение видов и последствий отказов
FTA	Исследование причин нежелательного события
ETA	Анализ развития аварийного сценария
HAZOP	Поиск отклонений технологических параметров

При оценке экологических последствий рассматривают цепочку «источник воздействия – путь распространения – объект воздействия». Для атмосферного воздуха важны характеристики выброса и метеорологические условия; для водных объектов – состав и объем возможного поступления загрязняющих веществ, а также свойства водоема; для почв – объем пролива, свойства вещества и состояние покрытия. Данные производственного контроля рабочей зоны нельзя автоматически считать данными о загрязнении окружающей среды. Для обоснованной экологической оценки требуются отдельные измерения и сведения об источниках воздействия [3-5].

Рассмотрены условия труда термиста на печах АО «АК «Туламашзавод». Приведены сведения о тепловом излучении, концентрации оксида углерода в рабочей зоне и результатах специальной оценки условий труда [7]. Эти материалы позволяют выделить потенциально опасные сценарии: перегрев оборудования, отказ вентиляции, повреждение электрической части. Для отказа вентиляции применим FMEA, для анализа развития событий после остановки вентилятора – ETA, для отклонений температурного режима – HAZOP. Однако приведенные в ВКР показатели характеризуют преимущественно условия труда. Для расчета экологического риска предприятия дополнительно нужны сведения о выбросах, сточных водах, отходах и путях распространения загрязняющих веществ. Поэтому данный пример следует считать качественной иллюстрацией выбора методов, а не количественной оценкой воздействия на природную среду.

Универсального метода анализа риска не существует. Качественные методы эффективны для первичной идентификации опасностей, а количественные требуют подтвержденных данных. FMEA, FTA, ETA и HAZOP решают разные, взаимодополняющие задачи. В области техносферной и экологической безопасности важно не только выявить опасное событие, но и определить возможные пути воздействия на человека и природные компоненты, выбрать меры предупреждения и организовать проверку их эффективности.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 31000–2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство.

2. ГОСТ Р 58771–2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска.

3. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

4. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

5. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха».

6. ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

7. Саратова Е.В. Анализ условий труда термиста АО «АК «Туламашзавод» и разработка мероприятий по их улучшению: выпускная квалификационная работа / Е.В. Саратова. – Тула: ТулГУ, 2026.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

А.А. Маслова, У.А. Макерина
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье подробно рассмотрены методы прогнозирования частотных характеристик аварийных процессов на опасных производственных объектах (ОПО). Показана роль статистических данных об аварийности, анализа деревьев отказов (FTA) и деревьев событий (ETA), а также экспертных оценок в количественном анализе риска. Приведён развёрнутый пример расчёта частот аварийных сценариев для участка технологического газопровода. Обсуждены ограничения существующих подходов и направления их совершенствования. Результаты работы могут быть использованы при разработке деклараций промышленной безопасности, планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций, а также при обосновании технических и организационных мер по снижению риска аварий на ОПО.*

Обеспечение промышленной безопасности опасных производственных объектов (ОПО) является одной из приоритетных задач государственного регулирования в области охраны труда и окружающей среды. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» устанавливает обязательность проведения анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО [1]. Количественная оценка риска (QRA – Quantitative Risk Assessment) позволяет не только выявить наиболее опасные сценарии развития аварий, но и обоснованно выбирать меры по их предотвращению и снижению последствий.

Одним из ключевых элементов количественной оценки риска является прогнозирование частотных характеристик аварийных процессов – интенсивности возникновения аварий и отдельных аварийных сценариев во времени. Частота аварии обычно выражается в единицах «1/год» (или «событий в год»). Для крупных аварий на объектах нефтегазовой, химической и нефтехимической промышленности типичные значения частот лежат в диапазоне $10^{-2}…10^{-7}$ 1/год. Именно эти величины в дальнейшем используются для расчёта индивидуального, коллективного и социального риска, а также для сравнения с критериями приемлемости риска, установленными нормативными документами.

Прогнозирование частот аварийных процессов базируется на нескольких взаимодополняющих подходах: статистических данных об аварийности, данных о надёжности оборудования, результатах анализа деревьев отказов (Fault Tree Analysis, FTA) и деревьев событий (Event Tree Analysis, ETA), а также экспертных оценках специалистов [2, 3]. Каждый из этих методов имеет свои области применения, преимущества и ограничения, которые необходимо учитывать при проведении анализа риска.

Статистический метод прогнозирования частот аварий

Статистический метод является наиболее прямым способом оценки частоты аварий и основан на обработке данных о произошедших авариях на

аналогичных объектах. Классическая формула для расчёта интенсивности (частоты) аварий имеет вид:

$$\lambda = N / (n \cdot T),$$

где λ – частота аварий, 1/год; N – число зарегистрированных аварий за период наблюдения; n – число объектов (или единиц оборудования) в выборке; T – продолжительность периода наблюдения, годы.

При отсутствии аварий в рассматриваемой выборке (N = 0) используется оценка верхней доверительной границы частоты. Для доверительной вероятности 0,95 верхняя граница частоты может быть оценена по формуле $\lambda_в = 3 / (n \cdot T)$, что соответствует правилу «трёх событий» (rule of three), широко применяемому в анализе редких событий [3].

Несмотря на кажущуюся простоту, статистический метод обладает рядом существенных ограничений. Во-первых, крупные аварии на ОПО являются редкими событиями, поэтому для получения статистически значимых оценок требуются большие выборки и длительные периоды наблюдения. Во-вторых, данные об аварийности часто неоднородны: объекты различаются по технологическому оформлению, условиям эксплуатации, качеству технического обслуживания и культуре безопасности. В-третьих, в статистике, как правило, отражаются только зарегистрированные аварии, тогда как «почти-аварии» (near-misses) и инциденты без существенных последствий могут не учитываться, что приводит к занижению оценок частоты.

Тем не менее, статистический метод остаётся незаменимым источником информации для калибровки более сложных моделей и для оценки частот инициирующих событий, таких как утечки из трубопроводов, отказы оборудования, ошибки персонала.

Анализ деревьев отказов и деревьев событий

Более гибким и детальным подходом к прогнозированию частот аварийных сценариев является комбинация анализа деревьев отказов (FTA) и деревьев событий (ETA). Этот подход позволяет учесть структуру систем защиты, влияние человеческого фактора и последовательность развития аварийного процесса.

Дерево отказов (Fault Tree) представляет собой логическую модель, связывающую нежелательное конечное событие (верхушку дерева) с базовыми событиями – отказами элементов системы, ошибками персонала, внешними воздействиями. С помощью логических операторов «И» и «ИЛИ» строится структура дерева, после чего рассчитывается вероятность (или частота) верхушечного события. Частота инициирующего события, полученная из дерева отказов, служит входной величиной для последующего анализа дерева событий.

Дерево событий (Event Tree) описывает возможные пути развития аварии после возникновения инициирующего события. Каждая ветвь дерева соответствует успеху или отказу системы защиты, действию персонала или внешнему фактору (например, наличию источника воспламенения). Условные вероятности исходов по ветвям дерева событий определяются на основе данных о надёжности систем противоаварийной защиты, результатов моделирования и

экспертных оценок. Частота конкретного аварийного сценария рассчитывается как произведение частоты инициирующего события на условные вероятности исходов по соответствующим ветвям:

$$f_сценария = \lambda_инициирующего\text{-}P_1\text{-}P_2\text{-}\ldots\text{-}P_i,$$

где P_i – условные вероятности развития процесса по i-й ветви дерева событий.

Преимущество комбинации FTA и ETA состоит в возможности детального учёта влияния систем защиты и человеческого фактора, а также в наглядности представления результатов. Метод позволяет выявлять «критические» элементы, отказ которых в наибольшей степени влияет на частоту аварийных сценариев, и целенаправленно повышать их надёжность.

Экспертные оценки

В случаях, когда статистические данные отсутствуют или недостаточны, а построение полных деревьев отказов затруднено, широко применяются экспертные оценки. Эксперты, обладающие опытом эксплуатации аналогичных объектов, могут оценивать частоты редких событий, вероятности отказов систем защиты и условные вероятности развития сценариев.

Для повышения достоверности экспертных оценок используются формализованные процедуры: метод Дельфи, парные сравнения, байесовское обновление априорных оценок с учётом новых данных. Важно фиксировать неопределённость экспертных суждений (например, в виде интервальных оценок или распределений вероятностей) и проводить анализ чувствительности результатов к вариации исходных данных.

Пример расчёта частот аварийных сценариев

В качестве иллюстрации рассмотрим участок технологического газопровода длиной L = 200 м, транспортирующего природный газ. На основе отраслевых данных приняты следующие удельные частоты инициирующих событий:

– частота малой течи (утечка через отверстие эквивалентного диаметра до 10-20 мм): $\lambda_течи = 3\cdot10^{-4}$ 1/(м·год);

– частота полного разрушения трубопровода: $\lambda_разр = 5\cdot10^{-5}$ 1/(м·год).

Тогда абсолютные частоты инициирующих событий для рассматриваемого участка составляют:

$$\lambda_течи,уч = 3\cdot10^{-4}\cdot 200 = 6\cdot10^{-2}\ 1/год;$$

$$\lambda_разр,уч = 5\cdot10^{-5}\cdot 200 = 1\cdot10^{-2}\ 1/год.$$

Далее учитываются условные вероятности развития сценариев. Для случая малой течи приняты: вероятность успешного отключения участка (срабатывание запорной арматуры и снижение давления) P_откл = 0,8; вероятность воспламенения истекающего газа P_воспл = 0,2. Тогда частота пожара вследствие течи равна:

$$f_пожар = \lambda_течи,уч\cdot(1 - P_откл)\cdot P_воспл = 6\cdot10^{-2}\cdot 0{,}2\cdot 0{,}2 = 2{,}4\cdot10^{-3}\ 1/год.$$

Для случая полного разрушения трубопровода приняты: вероятность успешного отключения P_откл = 0,5 (снижена из-за большей интенсивности истечения); вероятность воспламенения с последующим переходом во взрыв облака P_взрыв = 0,1. Частота взрыва облака составляет:

$f_взрыв = \lambda_разр,уч \cdot (1 - P_откл) \cdot P_взрыв = 1 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}1 = 5 \cdot 10^{-4}$ 1/год.

Примечание: в исходном примере статьи указано значение $1 \cdot 10^{-4}$ 1/год, что может соответствовать иной комбинации вероятностей или учёту дополнительных факторов (например, вероятности образования взрывоопасного облака). В рамках данного развёрнутого расчёта приведены более детализированные промежуточные вычисления для наглядности.

Полученные значения частот могут быть использованы для расчёта показателей риска (индивидуального, коллективного) и сравнения с критериями приемлемости, установленными, в частности, Руководством по безопасности [4]. При высоких частотах аварийных сценариев рекомендуется реализовывать меры по повышению надёжности оборудования и систем защиты (резервирование, диагностика, своевременное техническое обслуживание), а также совершенствовать процедуры действий персонала в аварийных ситуациях (обучение, тренажёры, чёткие инструкции).

Обсуждение и практическое применение результатов

Прогнозирование частотных характеристик аварийных процессов является необходимым элементом количественного анализа риска. Полученные оценки частот позволяют:

– ранжировать аварийные сценарии по степени опасности и определять приоритеты при разработке мероприятий по снижению риска;

– рассчитывать показатели индивидуального и коллективного риска и сравнивать их с критериями приемлемости;

– обосновывать необходимость и достаточность систем противоаварийной защиты;

– формировать исходные данные для разработки деклараций промышленной безопасности и планов локализации и ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС).

Следует подчеркнуть, что неопределённость оценок частот может быть значительной, особенно для редких событий. Поэтому результаты количественного анализа риска целесообразно сопровождать анализом чувствительности и указанием доверительных интервалов (или иных мер неопределённости). Комбинирование статистических данных, результатов FTA/ETA и экспертных оценок позволяет повысить достоверность прогноза [5-6].

Заключение

Таким образом, прогнозирование частотных характеристик аварийных процессов является необходимым и неотъемлемым элементом количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах. Применение статистического метода, анализа деревьев отказов и событий, а также экспертных оценок в их сочетании позволяет получать обоснованные оценки частот аварийных сценариев даже при ограниченности исходных данных.

Приведённый пример расчёта для участка газопровода демонстрирует практическую применимость рассмотренных подходов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке деклараций промышленной безопасности, обосновании мер по повышению надёжности оборудования и

систем защиты, а также при совершенствовании процедур действий персонала. Дальнейшее развитие методов прогнозирования связано с накоплением и систематизацией отраслевых данных об аварийности, развитием байесовских подходов к обновлению оценок и интеграцией методов количественного анализа риска с системами управления промышленной безопасностью.

Список литературы

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (с изменениями и дополнениями).

2. Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах: Руководство по безопасности. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2016.

3. Хенли Э.Дж. Надёжность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.

4. CCPS. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. 2nd ed. – New York: AIChE, 2000.

5. ГОСТ Р 51901.1-2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем.

6. IEC 61025:2006. Fault tree analysis (FTA).

ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА КАК СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ВЕКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ

А.М. Немцова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В условиях ускоряющейся урбанизации, дефицита территориальных ресурсов и нарастания климатических рисков освоение подземного пространства трансформируется из узкоинженерной задачи в стратегический вектор устойчивого развития городов. В данной статье рассматриваются социально-экологические основы архитектурного проектирования подземных и полуподземных объектов. Анализируются факторы психологического комфорта, биоклиматические преимущества подземной урбанистики, а также принципы регенерации городского ландшафта за счет переноса утилитарных функций в подземную среду.*

Современный город переживает глубокий пространственный и экологический кризис, вызванный непрерывным процессом урбанизации. Экстенсивное расширение городских территорий приводит к беспощадному запечатыванию плодородных почв, фрагментации естественных экосистем и усилению эффекта «городского острова тепла». С другой стороны, стремление компенсировать дефицит земли за счет чрезмерно плотной высотной застройки неизбежно создает критическую нагрузку на социальную и транспортную инфраструктуру, а также существенно ухудшает характеристики аэрации и инсоляции жилых кварталов. В этих условиях подземное пространство перестает

восприниматься как узкоспециализированная инженерная ниша для прокладки метрополитена, инженерных сетей и складских комплексов. В современной архитектурной теории и практике происходит сдвиг в сторону новой социально-экологической парадигмы, в рамках которой подземная среда становится полноценным и органичным элементом жизнедеятельности человека, тесно интегрированным в природный контекст.

Экологический потенциал подземной архитектуры основывается на уникальных физико-механических и биоклиматических свойствах грунта. Главным из них является высокая тепловая инерция земного массива. На глубине более 3–5 метров температура грунта остается практически неизменной в течение всего года, сохраняя показатели, близкие к среднегодовой температуре воздуха конкретного региона. Это позволяет проектировать здания с минимальным энергопотреблением, где в зимний период подземный объем естественным образом изолирован от экстремальных морозов, а летом массивы земли выступают в роли природного хладагента. В результате расходы на отопление и кондиционирование снижаются более чем наполовину по сравнению с традиционными наземными объектами.

Помимо энергоэффективности, перенос транспортных узлов, стоянок, торгово-развлекательных и культурных комплексов под землю освобождает ценнейшую дневную поверхность. Освобожденные площади дают возможность восстановить непрерывность экологического каркаса города за счет создания новых парков, скверов и пешеходных зон. Это не только улучшает эстетику городской среды, но и увеличивает площадь естественного впитывания ливневых стоков, эффективно нивелируя микроклиматические перепады. Кроме того, массивы грунта выполняют роль надежного защитного барьера, изолируя жителей от акустического загрязнения, вибраций и электромагнитного излучения, возникающих при работе крупной транспортной инфраструктуры.

Однако успешная реализация подземного проектирования упирается в необходимость преодоления серьезных социально-психологических барьеров. Человеческий организм психологически и физиологически уязвим перед пребыванием в замкнутых, заглубленных пространствах. Сенсорная депривация, отсутствие прямого визуального контакта с внешним миром, страх замкнутого пространства и нарушение естественных циркадных ритмов требуют от архитектора особых объемно-планировочных решений.

Фундаментальным инструментом гуманизации подземной среды выступает работа с дневным светом. Использование световых колодцев, многосветных атриумов, прорезающих подземные ярусы, а также применение современных световодных систем и гелиостатов с оптоволокном позволяет транспортировать естественный солнечный спектр на глубину до десятков метров. Организация внутренних зеленых патио и световых дворов создает иллюзию непосредственной связи с поверхностью, снижая уровень стресса у посетителей и работников.

Не менее важную роль играет пространственная ориентация. Чтобы избежать чувства дезориентации и подавленности, архитекторы прибегают к

увеличению высоты потолков, использованию крупномасштабной навигации, контрастного зонирования и элементов биофильного дизайна. Включение в интерьер подземных комплексов натуральных материалов, таких как дерево и камень, а также интеграция фитостен и водных устройств компенсируют отрыв человека от привычной природной среды. При этом подземные пространства не должны превращаться в изолированные транзитные коридоры: принципы универсальной доступности и функционального разнообразия способствуют их превращению в полноценные общественные центры притяжения.

В градостроительном проектировании социально-экологический баланс достигается за счет применения разнообразных объемно-пространственных моделей. Одной из наиболее распространенных является модель подземного атриума, где здание формируется вокруг центрального открытого к небу пространства, обеспечивающего естественную инсоляцию и сквозную вентиляцию. Для объектов культуры и образования часто применяется террасное или холмовое заглубление, при котором архитектурный объем деликатно вписывается в существующий рельеф и перекрывается дерновым слоем, минимально нарушая естественный ландшафт. В крупных мегаполисах наибольшую актуальность приобретает сетевая подземная урбанистика – создание развитых пешеходных систем, связывающих станции метрополитена, вокзалы и деловые центры на нижних уровнях. Такие системы позволяют формировать безопасную бестранспортную среду и защищают горожан от суровых климатических условий.

В итоге подземная архитектура XXI века предстает не как мрачное утилитарное укрытие, а как экологически эффективное, светлое и психологически комфортное пространство. Грамотный учет биоклиматического потенциала грунта в сочетании с передовыми технологиями инсоляции и гуманистическим подходом к проектированию позволяет решить ключевую задачу современного градостроительства: вернуть поверхность города человеку и природе, сместив обеспечивающие и инфраструктурные функции в подземную сферу.

Список литературы

1. Белоусов В.Н. Градостроительное освоение подземного пространства крупных городов / В.Н. Белоусов, А.Дж. Голубев. – М.: Стройиздат, 2018. – 210 с.

2. Голубев Г.Е. Подземная урбанистика: основа устойчивого развития городской среды / Г.Е. Голубев. – М.: Архитектура-С, 2019. – 344 с.

3. Зуев С.С. Экологические аспекты подземного строительства и освоения городских территорий / С.С. Зуев, Е.А. Королев // Градостроительство и архитектура. – 2021. – Т. 11, № 3. – С. 45-52.

4. Ильичев В.А. Биосферная совместимость: освоение подземного пространства как фактор экологической регенерации городов / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов // Пром. и гражд. строительство. – 2020. – № 8. – С. 12-19.

5. Кармоди, Дж. Дизайн подземного пространства: руководство по использованию и проектированию подземных объектов / Дж. Кармоди, Р. Стерлинг. — Нью-Йорк : Ван Нострандт Рейнхольд, 1993. – 328 с.

6. Дуришевич, С. Психологические аспекты использования подземного пространства в городских районах / С. Дуришевич, М. Живкович // Тоннелестроение и подземная технология. – 2022. – Т. 119. – С. 104-115.

7. Хант Д.В.Л. Устойчивая инфраструктура для планирования подземного пространства / Д.В.Л. Хант, А.Д. Роджерс // Устойчивое развитие. – 2020. – Т. 12, № 14. – С. 56-89.

8. Стерлинг Р. Городское подземное пространство и устойчивость городов / Р. Стерлинг, Х. Адмирум // Подземное пространство. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 320-335.

ВЛИЯНИЕ МИКОРИЗНОГО БИОУДОБРЕНИЯ НА РОСТ И МАССУ ЯЧМЕНЯ НА ТОРФЯНОМ ГРУНТЕ

С.Х. Хуаз
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Санкт-Петербург

Аннотация. *В работе представлены результаты лабораторного исследования влияния микоризного биоудобрения «Кормилица Микориза» (на основе грибов рода Glomus) на динамику роста и накопление биомассы ярового ячменя сорта Деспина при выращивании на универсальном торфяном грунте TERRA VITA «Живая земля. Установлено, что на 3-й день микориза угнетала рост в высоту на 64 %, но с 13-го дня давала прирост +6-11%. Длина корней снизилась на 6 %, сухая масса корней возросла на 114 %; сырая и сухая масса растений на 20-й день превышали контроль на 6 % и 4 % соответственно. Приведённые данные подтверждают эффективность микоризных биопрепаратов как средства стимулирования роста и развития ячменя на торфяном грунте, при этом наибольший эффект достигается на поздних этапах вегетации.*

Ключевые слова: *арбускулярная микориза, биопрепарат, яровой ячмень, торфяной грунт, рост, биомасса.*

Введение. Установлено, что применение биопрепаратов, способствует повышению урожайности, улучшению качества растительной продукции, а также позволяет уменьшить дозы вносимых минеральных удобрений, что экономически выгодно и экологически полезно. Стимулирование развития растений при инокуляции микроорганизмами способствуют также сохранению структуры почвенных характеристик и является экологическим подходом в мобилизации основных её минеральных элементов питания [1]. К одним из биологических удобрений относятся биопрепараты на основе арбускулярных микоризных грибов. Микоризные грибы играют существенную роль в мобилизации фосфатов, так как они способны растворять фосфорсодержащие труднодоступные минералы, ввиду выделения ими различных видов органических кислот. Также стоит отметить, что у растений, зараженных микоризой, комплексно усиливается поглощение азота, калия, кальция, натрия, магния, железа, марганца и других минеральных элементов из почвы. Всё вышесказанное обосновывает важность широкого использования микоризных грибов в земледелии [2-6].

Цель работы: выявить влияние микоризного биоудобрения на динамику роста и накопление массы растениями ячменя на торфяном грунте.

Методы и объекты исследования. Лабораторное исследование было заложено на базе СПбГАУ, в учебной лаборатории кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой.

Используемый грунт - TERRA VITA «Живая земля» универсальная.

Объект исследования яровой ячмень сорта Деспина [7]. Исследуемое биологическое удобрение «Кормилица Микориза» концентрат на основе смеси полезных микоризных грибов рода Glomus (не менее 2000 спор на 15 мл биопрепарата), мицелия Трюфеля черного и Масленка сибирского.

При закладке опыта сосуды заполнялись торфом объемом 200 мл (массой 130 г). Инокуляция(заражение)микоризой проводилось во время посева. В каждый сосуд высевалось по 20 семян и выравнивалось после всходов до 10 растений. После посева проводился полив. Исследование из 4 вариантов в трехкратной повторности. Показатели по высоте снимались после всходов, на каждый 4-й день.

Схема опыта:

1. Торф (контроль)
2. Торф + микориза

Экспериментальная часть. Согласно результатам исследования по влиянию применения микоризного удобрения на динамику роста растений ячменя было установлено, что на раннем этапе роста (3 день вегетации после всходов) растения, пророщенные в контрольном варианте, опережали по высоте варианты с внесением биоудобрения (табл.1). Применение микоризного препарата на данном этапе привело к угнетению роста растений на 64 % относительно их контроля.

На последующих этапах 6-9 день вегетации, в вариантах с применением микоризы наблюдается сокращение отставания в высоте до с их контролями без микоризы. Существенная разница между контрольным и исследуемым фактором не установлена.

Таблица 1

Динамика высоты растений ячменя при применении микоризного удобрения

Вариант	День вегетации	Высота, см	Прирост, %
Торф (контроль)	3	3,53	100
Торф + микориза		2,29	-64
	6		
Торф (контроль)		23,80	100
Торф+ микориза		23,30	-2
	9		
Торф (контроль)		28,90	100
Торф +микориза		27,50	-5

			Продолжение таблицы
	13		
Торф (контроль)		33,65	100
Торф+ микориза		37,50	+11
	16		
Торф (контроль)		34,53	100
Торф+ микориза		38,39	+11
	20		
Торф(контроль)		35,83	100
Торф+ микориза		38,02	+6
$НСР_{05}$	-	**1,153**	-

Полученные результаты по высоте растений на дальнейших этапах исследования начиная с 13 до 16 дня вегетации, говорят о состоявшемся растительно-микоризном симбиозе. В вариантах с внесением микоризы наблюдается активный прирост высоты растений 11 % относительно их контрольного без инокуляции. На 20 день вегетации отмечается положительная разница на 6 % высоты растений относительно контрольного варианта.

Спад прироста под конец исследования вероятно связан с относительно маленькой емкостью сосудов, в которых произрастали растения уже для данного этапа развития.

Таким образом, согласно результатам, применение микоризы в торфяном грунте (с комфортными условиями для растений ячменя) способствовала приросту растений в высоту на 6-11 % относительно торфяного грунта без инокуляции (контроль).

Применение микоризного удобрения приводило к отставанию роста корней в длину на 6 %, но при этом способствовала накоплению сухой массы корней на 114 %, вероятно это связанно с увеличением количества корней нежели роста в длину (табл.2).

Таблица 2

Длина и сухая масса корней ячменя при применении микоризного удобрения (на 20 день вегетации)

Вариант	Длина корней, см	Прирост к контролю, %	Сухая масса корней, г	Прирост к контролю, %
Торф (контроль)	17,0	100	0,42	100
Торф+ микориза	16,0	-6	0,90	+114
$НСР_{05}$	**0,87**	-	**0,347**	-

В торфяном грунте применение микоризы на 20 день вегетации способствовало накоплению сырой массы растений ячменя, сырая масса увеличивалась на 6 %, а сухая незначительно на 4 % (табл.3).

Таблица 3

Накопление биомассы растениями ячменя при применении микоризного удобрения (на 20 день вегетации)

Вариант	Сырая масса растений, г	Прирост к контролю, %	Сухая масса растений, г	Прирост к контролю, %
Торф (контроль)	7,63	100	1,017	100
Торф+ микориза	8,06	+6	1,053	+4
$НСР_{05}$	**0,357**	-	**0,0271**	-

Заключение. Проведённые исследования показали, что влияние микоризного удобрения на растения ячменя зависит от этапа развития. На раннем этапе (3-и сутки после всходов) препарат угнетал линейный рост на 64 % относительно контроля, однако с 13-х по 20-е сутки вегетации он стимулировал прирост высоты на 6-11 %. Применение микоризы уменьшало длину корней, но увеличивало их сухую массу, а к 20-м суткам повысило сырую массу растений на 6 % при незначительном приросте сухой массы (4 %). Полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения микоризных биопрепаратов для стимулирования роста и развития ячменя на торфяном грунте, особенно на поздних этапах вегетации

Список литературы

1. Кожемяков А.П. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия / А.П. Кожемяков, Ю.В. Лактионов, Т.А. Попова, А.Г. Орлова, А.Л. Кокорина, О.Б. Вайшляз, Е.В. Агафонов, С.А. Гужвин, А.А. Чураков, М.Т. Яковлева // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Том 50, №3. – С. 369-376. doi: 10.15389/agrobiology.2015.3.369rus

2. Воробейков Г.А. Микроорганизмы в агробиотехнологиях и защите природной среды / Г.А. Воробейков, В.Н. Бредихин. – СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. – 219 с.

3. B. Wang, YL. Qiu. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. «Mycorrhiza». 16 (5), s. 299-363, Jul 2006].

4. Suzanne W. Simard, Kevin J. Beiler, Marcus A. Bingham, Julie R. Deslippe i inni. Mycorrhizal networks: Mechanisms, ecology and modelling. «Fungal Biology Reviews». 26 (1), s. 39-60, 2012.

5. Крипка А.В. Молекулярные и клеточные аспекты развития арбускулярных микоризных симбиозов и их значение в жизнедеятельности растений / А.В. Крипка [и др.] // Цитол. и генетика. – Т. 36, №4, – 2002. – С. 72-81.

6. Проворов Н.А. Сравнительная генетика и эволюционная морфология симбиозов растений с микробами-азотфиксаторами и эндомикоризными грибами / Н.А. Проворов [и др.] // Журнал общей биологии. – 2002. – Т. 63, №6. – С. 451-472.

7. Электронный каталог КОЛОС АПК [Электронный ресурс]: ячмень яровой сорта Деспина, 2012. – Режим доступа: https://www.apk-kolos.ru/yachmen-jarovoi/c642.htm

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ

В.В. Хмелев
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматривается внедрение инновационных и экологически безопасных видов энергии. Проанализирован переход от традиционной модели энергопотребления зданий к концепции автономных экосистем с нулевым углеродным следом. Особое внимание уделено строительно-интегрированной фотовольтаике нового поколения, кинетической микроэнергетике, а также геотермальным и термоэлектрическим системам. В работе раскрываются ключевые принципы синергии инженерно-технологических решений и архитектурной формы, а также их влияние на гуманизацию городской среды, рост социальной устойчивости и формирование экосознания общества.*

Архитектура XXI века находится на этапе масштабной фундаментальной трансформации, переходя от традиционной концепции здания как пассивного потребителя ресурсов к концепции объекта как автономной экосистемы. В условиях нарастающего глобального климатического кризиса, неизбежного истощения углеводородных запасов и стремления мирового сообщества к декарбонизации городской среды, энергоэффективность превращается из вторичной опциональной характеристики в базовый элемент архитектурного проектирования. Социально-экологические основы современной архитектуры определяют гармоничное взаимодействие между искусственно созданными строительными объектами, обществом и биосферой. Особое место в этом контексте занимает внедрение новых и усовершенствованных видов экологически безопасной энергии. Это не просто локальное инженерное решение, а новый социальный манифест, преобразующий пространственную организацию городов, эстетику фасадов и фундаментальное качество жизни человека.

Взаимосвязь между архитектурной формой, естественной экосистемой и социальным комфортом раскрывается через комплексную концепцию устойчивого развития. Современный архитектурный объект более не рассматривается изолированно от своего природного и социального контекста. С точки зрения социально-ориентированного подхода, проектирование направлено на обеспечение здорового микроклимата внутри помещений, снижение уровня внешнего шума и загрязнения воздуха. Важную роль играет принцип энергетической справедливости, выражающийся в доступности энергоэффективных решений для широких слоев населения, что позволяет эффективно бороться с так называемой «энергетической бедностью». Кроме

того, здания с наглядно интегрированными зелеными технологиями выступают в роли ярких образовательных объектов, формирующих у горожан новое экологическое сознание и бережное отношение к ресурсам. В свою очередь, экологический аспект проектирования нацелен на радикальное сокращение углеродного следа на всех этапах жизненного цикла объекта – от добычи сырья для строительных материалов до эксплуатации и конечной утилизации здания, а также на предотвращение локального эффекта «городского острова тепла».

Традиционные возобновляемые источники энергии, такие как кремниевые солнечные панели или крупные ветротурбины, обладают известными градостроительными и эстетическими ограничениями, затрудняющими их внедрение в плотную городскую застройку. В связи с этим современная архитектурная наука делает акцент на высокотехнологичных и синергетических видах энергии. Ключевым направлением становится строительно-интегрированная фотовольтаика (BIPV), преобразующая фасадные конструкции, кровли и остекление в полноценные генераторы электричества. Особенный потенциал демонстрации этого подхода заключают в себе перовскитные солнечные элементы. Обладая высокой гибкостью, светопропусканием и возможностью нанесения тончайшим слоем на архитектурное стекло, они позволяют создавать прозрачные энергогенерирующие витражи, не нарушающие естественный инсоляционный режим помещений. В то же время фасадные панели и фотоэлектрическая черепица нового поколения внешне неотличимы от классических отделочных материалов, но обеспечивают здание распределенной локальной генерацией.

Параллельно развивается направление внутригородской и кинетической микроэнергетики, разработанное специально для мегаполисов. В местах с высоким пешеходным трафиком – в вестибюлях метрополитена, на вокзалах, в крупных торговых и бизнес-галереях – внедряются пьезоэлектрические покрытия, преобразующие механическую энергию шагов в электричество. Для использования ветрового потенциала в высотном строительстве применяются компактные фасадные микротурбины, встроенные в специально спроектированные аэродинамические каналы здания, которые улавливают и усиливают естественные восходящие потоки воздуха. Дополняет эту экосистему геотермальная энергетика: использование низкопотенциальной энергии земли с помощью тепловых насосов и применение фасадных термоэлектрических преобразователей позволяют практически полностью перекрыть потребности здания в отоплении и кондиционировании, приближая его к стандартам объектов с нулевым энергопотреблением.

Эффективность применения экологически безопасной энергии напрямую зависит от того, насколько глубоко подобные инженерные решения интегрированы в первичный архитектурный замысел. Проектирование начинается с пассивной адаптации формы, когда ориентация здания по сторонам света, глубокий инсоляционный анализ и аэродинамический силуэт обеспечивают естественную вентиляцию и максимальный сбор солнечного излучения без привлечения сложных механических систем. На следующем этапе

реализуется принцип гибридизации, объединяющий различные источники энергии (например, комбинацию BIPV-фасадов, геотермальных скважин и пьезоэлектрических элементов) для сглаживания сезонных и суточных пиков потребления. На интеллектуальном уровне здание оснащается умными распределительными микросетями с алгоритмами искусственного интеллекта, которые динамически распределяют накопительную энергию внутри объекта или передают ее излишки в городскую сеть. Наконец, интеграция биофильного дизайна – сочетание энергогенераторов с живым вертикальным озеленением и зелеными крышами – создает естественный термобарьер и улучшает биоразнообразие городской среды.

Внедрение новых источников энергии преобразует город из среды пассивного потребления в самодостаточный, устойчивый организм. Повышается общая устойчивость городской инфраструктуры: автономные здания сохраняют жизнеспособность при системных авариях или стихийных бедствиях. Происходит гуманизация архитектурного пространства, поскольку технологии перестают быть визуально агрессивными и органично вплетаются в архитектурную эстетику, снижая психологическую нагрузку на человека. С экономической точки зрения снижение эксплуатационных расходов не только повышает рыночную ценность недвижимости, но и снижает общую нагрузку на муниципальные бюджеты. Таким образом, применение новых экологически безопасных видов энергии в архитектуре вышло за рамки узкоспециализированной инженерной задачи, превратившись в ключевой социально-экологический вектор, который определяет образ жизни современного общества и закладывает основу для устойчивого будущего.

Список литературы

1. Тетиор А.Н. Социально-экологические основы архитектурно-градостроительного проектирования: учебник для вузов / А.Н. Тетиор. – М.: Академия, 2012. – 238 с.

2. Ильичев В.А. Биосферная совместимость: технологии освоения городского пространства / В.А. Ильичев, В.А. Колчунов. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 304 с.

3. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.

4. Сухинина Е.А. Понятия «экология», «экологичность» и «устойчивость» в архитектурной деятельности / Е.А. Сухинина // Вестник СГТУ. – 2014. – № 1 (74). – С. 166-171.

5. Есаулов Г.В. Энергоэффективность и экологичность в архитектуре и градостроительстве: актуальные задачи / Г.В. Есаулов // Жилищное строительство. – 2015. – № 11. – С. 3-7.

6. Егорова М.О. Возобновляемые источники энергии в архитектуре зданий / М.О. Егорова. – М.: Архитектура-С, 2019. – 160 с.

7. Янг К. Экодизайн. Руководство по экологическому проектированию / К. Янг; пер. с англ. – М: Изд-во «Товарищество научных изданий КМК», 2013. – 410 с.

8. Eicker U. Solar Technologies for Buildings / U. Eicker. – Chichester: John Wiley & Sons, 2003. – 324 p.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ

БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В МОНИТОРИНГЕ СОСТОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Д.А. Титов, А.В. Борисова
Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону

Аннотация. *В работе представлены результаты анализа применения беспилотных авиационных систем (БАС) для мониторинга качества атмосферного воздуха. Рассмотрены технические особенности оборудования, преимущества перед традиционными методами, а также факторы, влияющие на точность измерений. Приведена информация о необходимости стандартизации протоколов передачи данных и калибровки сенсоров для интеграции БАС в системы «зеленой экономики».*

Как известно, антропогенная нагрузка на окружающую среду растёт с каждым годом, а традиционные системы экологического контроля не всегда способны обеспечить необходимую репрезентативность данных. Решением данной проблемы в рамках перехода к «зелёной экономике» может и обязан стать переход на принципиально новые средства мониторинга, такие как беспилотные авиационные системы (БАС). В рамках национального проекта «Беспилотные авиационные системы» и Стратегии развития беспилотной авиации до 2030 года применение дронов признано приоритетным для выявления нарушений в сфере экологии.

Однако, вне зависимости от целей масштабной цифровизации, нельзя забывать о том, что существующие стационарные посты дают информацию лишь на уровне района и не отражают высотного распределения примесей. Именно поэтому исследования в области применения БАС для мониторинга воздуха и их метрологическая стандартизация становятся приоритетом для обеспечения безопасности и устойчивого развития территорий [1].

Современные БАС для экомониторинга представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы. Наиболее перспективным и коммерчески доступным из предлагаемых готовых решений является тандем полётной платформы DJI Matrice 300 RTK и модульного газоанализатора Sniffer4D V2. Данный прибор способен одновременно измерять до 9 газообразных веществ и твердых частиц из 16-элементного перечня (включая пыль различной крупности - PM2.5, PM10, SO_2, CO, NO, NO_2, ЛОС, CH_4, CO_2, H_2S, NH_3, HCl). Конфигурация сенсоров легко настраивается под конкретную задачу: от экологического мониторинга окружающей среды до выявления утечек на промышленных объектах. Данные передаются в реальном времени по встроенному LTE-каналу в специализированное программное обеспечение Sniffer4D Mapper, где автоматически строятся тепловые карты распределения концентраций с геопривязкой [2].

Для понимания экономической эффективности и практической значимости внедрения БАС необходимо провести сравнительный анализ с традиционными способами экологического мониторинга: стационарными постами и пешим обходом. Результаты сравнения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная таблица возможностей использования различных способов экологического мониторинга

Параметр	Стационарные посты	Пеший обход (ручная техника)	БАС с газоанализатором (Sniffer4D V2)
Пространственное разрешение	Данные на уровне района	Зависит от шага, обычно 50-100 м	5-22 метра при скорости 20-80 км/ч
Высотное распределение	Только приземный слой (~1,5 м)	Только приземный слой (~1,5 м)	3D-облако точек с высотами
Время обследования 1 км²	Непрерывно в одной точке	4-8 часов	10-20 минут (один пролёт)
Доступ к объектам	Ограничен местом установки	Ограничен физической доступностью	Трубопроводы, резервуары, шлейфы судов
Безопасность персонала	Вне опасной зоны	В зоне контакта с газом	Оператор вне опасной зоны
Картирование	Табличные данные	Ручная запись координат	2D/3D-тепловые карты в реальном времени

Как видно из представленных данных, БАС обеспечивают недостижимое для стационарных постов пространственное разрешение – от 5 до 22 метров между точками. При использовании на наземном транспорте или в пешем порядке пространственное разрешение обычно составляет 50-100 метров.

При этом время обследования площади в 1 км² с помощью дрона занимает всего 10-20 минут, тогда как пеший обход требует 4-8 часов. Кроме того, использование БАС позволяет оператору находиться вне опасной зоны, в то время как при ручном отборе проб персонал подвергается прямому риску.

Особое внимание следует уделить анализу контролируемых веществ и их влиянию на экологию. Мелкодисперсные частицы PM2.5 и более крупная пыль PM10 переносятся на большие расстояния, влияют на климат (рассеяние и поглощение радиации), загрязняют почвы и водоёмы, вызывают деградацию растительности. Диоксид серы (SO_2) и оксиды азота (NO_x) являются предшественниками кислотных дождей, вызывают эвтрофикацию экосистем и токсичность. Летучие органические соединения (ЛОС) служат

предшествующими компонентами в процессах формирования тропосферного озона и вторичных взвешенных частиц (PM), обусловливая развитие фотохимического смога. Метан (CH_4) и углекислый газ (CO_2) являются ключевыми парниковыми газами, влияющими на глобальный климатический баланс.

Оперативный контроль этих веществ с высоты птичьего полёта позволяет выявлять источники выбросов на ранних стадиях, не дожидаясь, пока концентрации превысят предельно допустимые значения [3]. Наконец, важнейшим аспектом является цифровая логистика и интеграция в системы «Умного города». Встроенный LTE-модем без внешней антенны позволяет прибору оставаться независимым – данные идут через сотовую сеть, а не через радиоканал дрона, который ограничен дальностью пульта. При потере связи предусмотрен буфер до 9 часов с автоматической загрузкой после восстановления соединения. Поддержка протокола MQTT для пересылки данных на пользовательские платформы в реальном времени позволяет интегрировать комплекс в существующие автоматизированные системы мониторинга окружающей среды на предприятии [3].

Таким образом, комплексная система экологического мониторинга с использованием БАС должна включать не только физические полёты, но и регулярную метрологическую калибровку, алгоритмическую компенсацию аэродинамических помех, а также унификацию нормативных протоколов. Только при выполнении этих условий человечество сможет безопасно использовать аэромобильные системы, не расплачиваясь за это достоверностью экологических данных. Динамика развития природоохранного законодательства и совокупность реализованных кейсов внедрения БАС формируют доказательную основу их незаменимости как инструмента зелёной экономики.

Список литературы

1. Смирнов Д.А. Практические аспекты применения БПЛА с газоанализаторами при инспекции нефтегазовых объектов / Д.А. Смирнов, И.П. Кузнецов // Аэрокосмический мониторинг. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 88-95.

2. Козлова Н.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга атмосферы / Н.А. Козлова, И.Д. Канарский [и др.] // Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды: Материалы VII Всероссийской научной конференции. – Санкт-Петербург, 24-26 мая 2022 года / Под общей редакцией Ю.В. Кулешова. – Санкт-Петербург: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2022. – С. 327-334.

3. Коротышева Л.Б. Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга атмосферного воздуха/ Л.Б. Коротышева, С.И. Пермякова // Теория и практика эффективности государственного и муниципального управления. – Курск, 2025. – С. 110-113.

АГЕНТНЫЕ LLM-СИСТЕМЫ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ: АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

С.П. Гончаров, Н.М. Почёмин
Алтайский государственный университет,
г. Барнаул

Аннотация. *Экологические исследования всё чаще требуют многошагового пространственного анализа – от зон влияния объектов до оценки рельефа, почв и ландшафтов. Большие языковые модели сами по себе такого анализа не дают. Им нужен доступ к состоянию геоинформационной среды, инструментам планирования и механизм коррекции. В работе описана архитектура агента ИИ-сценарист для QGIS. Он построен на схеме Plan-and-Execute с внутренним циклом «рассуждение – действие – наблюдение». Агент работает в QGIS, опирается на базу знаний алгоритмов, поиск примеров кода, веб-поиск и контролируемый слой исполнения. Инструменты разделены на пять функциональных групп. Предложена методика оценки, которая различает техническую и пространственную успешность. Архитектура подходит для экологических задач разной сложности, в сложных задачах критические параметры обязательно проверяет эксперт.*

Ключевые слова: *геопространственный искусственный интеллект, агентные системы, большие языковые модели, геоинформационные системы, пространственный анализ, экология, планирование, адаптивная коррекция.*

Введение

Экологический пространственный анализ почти никогда не сводится к одной операции. Нужно проверить исходные слои, убедиться, что системы координат совпадают, выбрать правильный алгоритм, задать параметры, сохранить полученные данные, оценить результат и сравнить с исходными задачами. Обычный диалог с языковой моделью не позволяет выполнить все этапы. Модель может предоставить сгенерированный текст или код на необходим языке программирования, а дальше все этапы должны быть выполнены пользователем геоинформационной системы.

Появление и широкое внедрение агентных систем не обошло и геоинформационные технологии [1-4]. GIS Copilot [5], AutoGIS [6], разные иерархические и многоагентные конструкции [7, 8]. Они пытаются связать LLM модель с реальными инструментами ГИС и дать ей возможность не только писать код, но и действовать на всех этапах рабочего процесса.

Для экологических задач применение данных агентов позволит автоматизировать процессы пространственного анализа. Важным становится отсутствие ошибок на всех этапах выполнения кода, сохранение семантики и точность данных, так замена радиуса буфера или исходного растра при построении изолиний может полностью изменить смысл итоговой карты. Причём программа при этом может отработает без единого сообщения об ошибке.

Цель работы – описать архитектуру LLM-агента ИИ-сценарист для QGIS, ориентированную на эколого-географические задачи, и показать, как она ведёт себя в реальных испытаниях.

Материалы и методы

Формально задача задаётся описанием и начальным состоянием геоинформационной среды. Агент должен построить последовательность действий, которая переведёт среду в целевое состояние. Архитектура разделена на два уровня. Стратегический план формируется отдельно: в нём цель, оценка сложности, список шагов и критерии успеха. Каждый шаг затем выполняется внутренним ReAct-циклом. Результат действия становится наблюдением для следующего рассуждения. Число итераций на шаг ограничено, общее число итераций тоже имеет верхнюю границу.

Всего архитектура включает 18 инструментов. Инструменты были разделены на пять групп для функционирования интерфейса агента с геоинформационной средой и контроля действий.

- Восприятие: получение фактического состояния проекта и слоев, контекст проекта.
- Анализ: запуск алгоритмов обработки и исполнение PyQGIS-кода.
- Получение данных: веб-поиск и загрузка внешних геоданных.
- Знания: поиск по документации и примерам кода.
- Результат: сохранение слоёв, работа с файлами, обновление плана.

База знаний индексирует документацию и кэширует результаты по MD5-хешу каталога. Когда обрабатывается HTML, из него вытаскиваются блоки кода. Благодаря этому модель получает точные названия алгоритмов и параметры, а не пытается вытянуть их из общих знаний. Веб-поиск запускается сразу по нескольким системам и подключается в тех случаях, когда в самом проекте не хватает исходных данных.

Генерация PyQGIS-кода языковой моделью может приводить к синтаксическим, API- и логическим ошибкам. Ошибки при выполнении обрабатываются адаптивно. Если ошибка повторяется, система сама расширяет контекст – ищет по тексту ошибки и подтягивает примеры кода за счет веб-поиска. Есть отдельный модуль с набором типичных правок (llm_code_fixes.py): склеивает разорванные импорты, подменяет устаревшие идентификаторы, поправляет работу с атрибутами. Между моделью и операционной системой стоит слой безопасности. Он закрывает доступ к системным каталогам и оставляет возможность работать только с проектом, домашней директорией и временными папками.

Для тестирования выполнения геопространственных задач агентом были выбраны три уровня сложности. На первом уровне задавались простые операции вроде работы с буферами объектов, выборки и перепроецирования. На втором – уже составные цепочки. Третий уровень – задачи, где пользователь указывает только конечную цель, а агент сам выстраивает последовательность действий и добывает недостающие данные. Главный критерий – пространственная корректность. Эксперт смотрит, насколько удачно выбран алгоритм, в каком порядке идут шаги, какие заданы параметры, как обстоят дела с геометрией, системой координат, пространственными отношениями и насколько результат соответствует исходной формулировке. Оценка идёт по трёхуровневой шкале.

Результаты и обсуждение

Сравнительные испытания проводились в QGIS 3.40 Bratislava на одном и том же инструментальном контуре. Менялась только языковая модель (Muse-glimmer:30b, Gemma4:26b, Qwen3.8:27b). Среди задач были построение буферных зон метеостанций, обрезка цифровой модели рельефа и построение изолиний, связывание почвенных проб с атрибутивной таблицей и выборки по кислотности, пересечение ландшафтов с границами городского округа, зональная статистика высот и комплексный анализ рельефа.

Полное выполнение зафиксировано в двух сериях из шести. Остальные завершались частично. Локальные и хорошо формализуемые операции – связывание таблицы с точками и последующие выборки, пересечение векторных слоёв – проходили устойчивее. Длинные цепочки с промежуточными зависимостями ломались чаще. В тесте с цифровой моделью рельефа изолинии в итоге были получены. Но на одном из этапов модель использовала исходный растр вместо обрезанного. Технически операция «Contour» отработала корректно. Семантически результат уже не соответствовал постановке.

Показателен случай с зоной обслуживания метеостанций. Модель несколько раз уточняла поисковые запросы, нашла упоминание нормативного документа, попыталась его открыть, столкнулась с отсутствием необходимого компонента, скачала файл и обнаружила, что текстовый инструмент не обрабатывает двоичный формат. После исчерпания итераций она предложила типовое значение 50 км и успешно построила буферы. С инженерной точки зрения это адаптивное поведение. С научной – основание радиуса осталось недоказанным. Для экологических задач такая подмена критична: изменение параметра меняет смысл карты, хотя сам слой в проекте выглядит корректно.

Разные LLM модели демонстрировали разные профили. Одна уверенно держала состояние проекта при векторных операциях и восстанавливалась после ошибок вызова. Другая хорошо планировала растровые цепочки, но теряла связь между промежуточными продуктами. Третья доводила относительно простые многошаговые процессы до конца, хотя и с большим числом промежуточных корректировок. Общий вывод простой: эффективность определяется не только «силой» модели, но и качеством инструментальной обратной связи и механизмов верификации состояния.

Архитектура не претендует на полноценное визуальное восприятие карты. Агент работает со структурированными описаниями, результатами инструментов и кодом. Прямого «картографического зрения» у системы нет. Качество решения зависит от выбранной модели, полноты базы знаний и стабильности внешних сервисов.

Выводы

Двухуровневая схема с отдельным стратегическим планом и адаптивным исполнением каждого шага позволяет корректировать локальные действия без полного пересоздания стратегии. Пять групп инструментов превращают языковую модель из генератора кода в участника управляемого

геоинформационного процесса. Интеграция базы знаний, поиска примеров и автоматической коррекции ошибок повышает завершённость прототипа.

Испытания подтвердили техническую работоспособность подхода на задачах средней сложности. Полная автономность в длинных аналитических сценариях пока не достигнута. Главный риск – расхождение технического и семантического успеха. Операция может завершиться без программной ошибки и при этом нарушить исходную постановку.

Для экологических приложений система уже применима, пользовател задает промт для выполнения, агент предлагает код и выполняет рабочий процесс, а критические параметры – нормативы, пороги, происхождение данных – проходят обязательную проверку пользователем. Следующий шаг – систематическое тестирование на расширенном наборе экологических задач с экспертной оценкой пространственной корректности и сравнением нескольких моделей в одинаковом инструментальном окружении.

Исследование было выполнено в рамках реализации Программы развития университета на 2021-2030 годы в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030», проект «ИИ–сценарист для QGis»вм.

Список литературы

1. Колесников А.А. Методологические аспекты использования искусственного интеллекта в картографии / А.А. Колесников, Д.В. Лисицкий, Я.Г. Пошивайло, С.С. Янкелевич // Вестник СГУГиТ. – 2026. – Т. 31, № 2. – С. 75-87. – DOI: 10.33764/2411-1759-2026-31-2-75-87.

2. Блануца В.И. Геопространственный искусственный интеллект для географической экспертизы проектов регионального развития: три парадигмы / В.И. Блануца // Псковский регионологический журнал. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 3-22. – DOI: 10.37490/S221979310032649-6.

3. Присяжнюк С.П. На пути к когнитивным геоинформационным системам / С.П. Присяжнюк, В.И. Комашинский, А.В. Храбан // Информация и космос. – 2025. – № 3. – С. 72-81.

4. Колесников А.А. Формирование картографических материалов по текстам травелогов с использованием механизмов генерации с дополненной выборкой / А.А. Колесников, С.С. Жданов // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 33-40. – DOI: 10.33764/2411-1759-2025-30-5-33-40.

5. Akinboyewa T. GIS Copilot: Towards an Autonomous GIS Agent for Spatial Analysis / T. Akinboyewa, Z. Li, H. Ning, M.N. Lessani // International Journal of Digital Earth. – 2025. – Vol. 18, No. 1. – Art. 2497489. – DOI: 10.1080/17538947.2025.2497489.

6. Chen Z. AutoGIS: An agent framework for automated geospatial data management and analysis / Z. Chen, X. Zhang, J. Li, Y. Liao, Z. Wang, M. Zang, J. Li, Y. Bai // International Journal of Digital Earth. – 2026. – Vol. 19, No. – 2. Art. 2704301. – DOI: 10.1080/17538947.2026.2704301.

7. Lin Q. GeoAgent: A hierarchical LLM-based multi-agent architecture for autonomous spatial analysis / Q. Lin, L. Xu, S. Wu, R. Mao, C. Wang, H. Feng, B. Huang, Z. Du // International Journal of Geographical Information Science. – 2026. – Vol. 40, No. 10. – P. 3343-3382. DOI: 10.1080/13658816.2026.2624784.

8. Han J. GISclaw: A Comprehensive Open-Source LLM Agent System for Realistic Multi-Step Geospatial Analysis / J. Han, J. Lee, Y. Shim, J. Kim, J.-J. Lee. – 2026. – arXiv:2603.26845.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В ОБЛАСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИИ

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ВНЕШНИХ АНАТОМИЧЕСКИХ ОРИЕНТИРОВ В КУРСЕ ДИСЦИПЛИН АНАТОМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Н.Н. Петрук, М.В. Гюльмагомедова
Сургутский государственный университет,
г. Сургут

Аннотация. *В настоящее время в практическом здравоохранении успешно используются современные методики обследования пациентов, разрабатываются и внедряются в работу инновационные подходы к лечению различных заболеваний. Но, несмотря на активное применение инструментальных методов обследования, в ежедневной рутине врача неотъемлемой частью остается метод физикального обследования пациента: осмотр, перкуссия, пальпация и аускультация. Использование врачом данного метода обследования предполагает высокий уровень знаний о строении тела человека.*

Освоение «Анатомии человека» позволяет студентам изучить индивидуальные и возрастные особенности строения тела, типы телосложения, а также топографические ориентиры внутренних органов и сосудисто-нервных образований.

Данная дисциплина является важнейшим звеном в подготовке специалистов медицинского профиля. «Анатомия человека», будучи фундаментальной дисциплиной неразрывно связана с клиническими дисциплинами, а также с практической деятельностью врача любой специальности.

На занятиях по «Анатомии человека» преподаватель акцентирует особое внимание на практической значимости изучаемых студентами тем. Наиболее наглядным примером является раздел «Остеология», в ходе освоения которого студенты изучают детальное строение всех костей скелета человека, их функциональную принадлежность, а также получают знания о проекционных линиях тела человека, о пальпируемых костных ориентирах и т.п.

К проекционным линиям тела человека относятся: передняя и задняя срединная линии тела, грудинные, окологрудинные, средне-ключичные линии, передние, средние и задние подмышечные линии, лопаточные, паравертебральные и вертебральные линии.

Чаще всего данные линии используются для определения проекций органов грудной полости на грудную стенку, а именно: с помощью данных линий определяются границы и края сердца; определяются точки выслушивания клапанов сердца; находятся границы легких и плевры у лиц всех возрастных групп.

В оперативной хирургии также имеет значение знание данных проекционных линий для осуществления торакотомий, для проведения, например, пункции плевральной полости. Так, стандартно, пункция плевральной полости с целью удаления жидкости проводится по верхнему краю нижележащего ребра на уровне VII-VIII межреберного промежутка у лиц среднего возраста в промежутке между средней подмышечной и лопаточной линиями.

Также, в ходе освоения раздела «Остеология», при объяснении скелета грудной клетки, преподаватель акцентирует внимание студентов как на строении формирующих её костей, так и на вариантах строения нормальных типов грудной клетки человека. Знания о типах грудной клетки необходимы для изучения последующих клинических дисциплин, таких как: «Пропедевтика внутренних болезней» и др., а также используются в ежедневной практической деятельности врача.

При первичном осмотре пациента врачу необходимо определить тип телосложения человека, это представляется возможным благодаря знаниям, полученным в курсе «Анатомии человека». Определение типа телосложения является одним из начальных этапов физикального обследования пациента, применяемых врачом при осмотре. Отмечается корреляционная взаимосвязь между типом телосложения и типом строения грудной клетки. От типа строения грудной клетки зависит расположение внутренних органов в данной области, в частности, зависит положение оси сердца, что необходимо учитывать при проведении перкуссии и аускультации сердца.

Внешние анатомические ориентиры можно поделить на несколько групп:

1. Костные
2. Мышечные
3. Сухожильные
4. Сосудистые

К пальпируемым костным ориентирам скелета человека относятся: остистый отросток 7-го шейного позвонка; бугорок Шассеньяка (сонный бугорок), бугорок Лисфранка (бугорок передней лестничной мышцы); ключица; ость лопатки; шиловидные отростки лучевой и локтевой костей, передняя верхняя подвздошная ость.

Так, например, бугорок Шассеньяка, известный как сонный бугорок, располагается на реберно – поперечном отростке 6-го шейного позвонка. К

данному бугорку может быть прижата общая сонная артерия для осуществления временной остановки кровотечения в случае её ранения.

К внешним ориентирам области шеи принадлежат ключица, край нижней челюсти, грудино-ключично-сосцевидная мышца, а также щитовидный хрящ.

Практическая значимость изучения внешних анатомических ориентиров области шеи заключается в том, что на уровне верхнего края щитовидного хряща в большинстве случаев определяется бифуркация общей сонной артерии: этот факт необходимо учитывать оперирующим хирургам.

Кроме того, область над серединой ключицы служит ориентиром для оперативного надключичного доступа при осуществлении пункции подключичной вены.

В области предплечья помимо костных ориентиров (шиловидные отростки лучевой и локтевой костей; надмыщелки плечевой кости) выделяют и борозды предплечья: лучевая, локтевая и срединная. Например, в лучевой борозде проходит лучевой сосудисто-нервный пучок. При этом имеются нюансы топографии расположения сосудисто-нервного пучка в лучевой борозде предплечья: в верхней и средней трети предплечья параллельно с лучевой артерией проходит поверхностная ветвь лучевого нерва; а в нижней трети предплечья – проходит лишь лучевая артерия. Поэтому, лучевая борозда является «ориентиром» для осуществления оперативного подхода к лучевой артерии.

Таким образом, практическая значимость изучения внешних анатомических ориентиров в курсе дисциплин анатомического профиля состоит в том, что знание данных ориентиров необходимо в практической деятельности врачей самой различной специализации: терапевтов, хирургов, травматологов, а также реаниматологов-анестезиологов.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ

Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, Д.А. Заживихин, П.Е. Николаева
Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
г. Чебоксары

Аннотация. *В данной статье рассматривается методика расчета электрохимической коррозии (как наиболее опасной) в кислой среде (pH < 7) для обучающихся I курса технических специальностей: электроэнергетика, электротехника, теплоэнергетика, радиоэлектроника, машиностроение.*

Коррозия металлов – процесс самопроизвольного разрушения (окисления) металлов при их химическом, электрохимическом или биохимическом взаимодействии с окружающей средой. Идет переход металлов в более стабильные термодинамические продукты – оксиды, гидроксиды, основные соли, в виде которых они встречаются в природе. Различают химическую, биохимическую и электрохимическую коррозию металлов. Химическая коррозия протекает в сухих газах, жидкостях, не имеющих заметной

электропроводности. Например, при горячей обработке металлов: $2Fe + 3/2O_2 \rightarrow Fe_2O_3$. Биохимическая коррозия вызывается жизнедеятельностью различных микроорганизмов, использующих металл как питательную среду или выделяющих продукты (CO_2, H_2S, SO_2 и т.д.), разрушающе действующие на металлы. Электрохимическая коррозия (ЭХК**)** может протекать во всех случаях, когда возникает контакт металла с электролитом: атмосферная коррозия – в газовой атмосфере, когда на поверхности металла возможна конденсация влаги, почвенная коррозия - в почвах и жидкостная коррозия - в растворах. При контакте металла с электролитом поверхность металла дифференцируется на участки с более низким потенциалом (анодный) и более высоким потенциалом (катодный). На анодных участках идет процесс окисления металла $Me \rightarrow Me^{ne+} + n\bar{e}$ образовавшиеся ионы металла из кристаллической решетки переходят в раствор в виде гидратированных ионов, электроны остаются на металле. На катодных участках различают: 1) коррозию с деполяризацией ионами водорода: $2H(OH) + 2\bar{e} \rightarrow H_2 + 2OH^-$ (катодный процесс в нейтральной и щелочной среде); $2H^+ + 2An^- + 2\bar{e} \rightarrow H_2 + 2An^-$ (кислая среда); 2) коррозию с кислородной деполяризацией: $O_2 + 2H_2O + 4\bar{e} \rightarrow 4OH^-$ (щелочная, нейтральная среда); $O_2 + 4H^+ + 4\bar{e} \rightarrow 2H_2O$ (кислая среда). В случае ЭХК наряду с химическими процессами (отдача и присоединение электронов) протекает и электрический процесс – переход электронов от анодных участков металла к катодным, т.е. в системе образуется более или менее сплошная система макро- или микрогальванических элементов – возникает электрический ток. Условие коррозии с выделением водорода:

$\varphi\ Me/Me^{ne+} < \varphi\ H_2/2H^+$. Условие коррозии металла за счет кислорода:

$\varphi\ Me/Me^{ne+} < \varphi\ OH^-/O_2$

Таблица 1

Значения электродных потенциалов металлов в различных средах (В)

Электрод	E^0, В	Нейтральная (0,1 моль/л NaCl)	Кислая (0,1 моль/л HCl)	Щелочная (0,1 моль/л NaOH)
Fe/Fe^{2+}	-0,44	-0,34 до -0,5	-0,32	-0,1
Sn/Sn^{2+}	-0,14	-0,205	-0,25	-0,84

Таблица 2

Потенциалы водородного и кислородного электродов (при 25°С)

Среда и концентрация	Парциальное давление, атм.			
	Водородный электрод ($\varphi H_2/2H^+$)		Кислородный электрод ($\varphi OH^-/O_2$)	
	I Станд.	$5 \cdot 10^{-7}$ Воздух	I Станд.	0,21 Воздух
Щелочная (pH=14)	-0,828	-0,641	+0,401	+0,391
Нейтральная (pH=7)	-0,414	-0,228	+0,815	+0,805
Кислая (pH=0)	0,00	+0,186	+1,229	+1,290

Данные таблицы справедливы только тогда, когда процессы: $2H^+ + 2\bar{e} \rightarrow H_2\uparrow$ и $O_2 + 2H_2O + 4\bar{e} \rightarrow 4OH^-$ идут на платине, покрытой платиновой чернью. На другом материале потенциал этих процессов смещается в анодную (отрицательную) сторону на значение перенапряжения.

Таблица 3

Значения перенапряжения водорода и кислорода на различных металлах (при плотности тока 1 мА/см²)

Электрод	Перенапряжение водорода ($\eta(H_2)$)	Перенапряжение кислорода (ηO_2)
Олово	0,63	1,21
Железо	0,34	1,07
Платина (блест.)	0,07	0,7
Графит	0,65	1,17

Часто обучающиеся при изучении электрохимической коррозии (ЭХК) металлов ошибочно используют при расчетах стандартные значения потенциалов металлов, в связи с этим получают неверные результаты. Нами предлагается алгоритм определения возможности ЭХК луженого железа (при контакте железа с оловом) в кислой среде, целостность покрытия нарушена. Определяем:

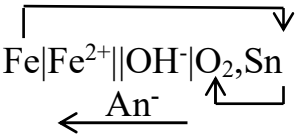
- электродные потенциалы олова и железа в кислой среде (табл. 1):

$\varphi\ Sn/Sn^{2+} = -0,25$ В, $\varphi\ Fe/Fe^{2+} = -0,32$ В, т.к. $\varphi\ Sn/Sn^{2+} > \varphi\ Fe/Fe^{2+}$, то в качестве анода выступает железо, а олово – материал «подкладки» для газового электрода;

- электродные потенциалы возможных окислителей (H^+ и O_2) в кислой среде на воздухе: $\varphi\ H_2/2H^+ = +0,186$ В и $\varphi\ OH^-/O_2 = +1,29$ В (табл. 2); ηH_2 и ηO_2- перенапряжение H_2 и O_2 на материале «подкладки» (на олове): $\eta H_2 = 0,63$ В и $\eta O_2 = 1,21$ В (табл. 3);

- электродные потенциалы (табл. 2 и 3) возможных окислителей (H^+ и O_2) в кислой среде на воздухе с учетом перенапряжения на олове: $\varphi\ H_2/2H^+(Sn) = +0,186 - 0,63 = -0,44$ В; $\varphi\ OH^-/O_2(Sn) = +1,29 - 1,21 = 0,08$ В.

Сравниваем потенциалы предполагаемых окислителей с потенциалом возможного анода $\varphi\ Fe/Fe^{2+} = -0,32$ В; так как $\varphi\ Fe/Fe^{2+} > \varphi\ H_2/2H^+\ \eta(Sn)$, ионы H^+ в данных условиях не могут вызывать коррозию железа, $\varphi\ Fe/Fe^{2+} < \varphi\ OH^-/O_2\ \eta(Sn)$ – это удовлетворяет условию самопроизвольного протекания коррозии. Следовательно, железо разрушается в кислой среде за счет растворенного кислорода. Луженое железо, т.е. покрытое оловом – пример металлического катодного покрытия как один из методов защиты металлов от коррозии. Схема работы микрогальванического элемента:



коррозия идет с кислородной деполяризацией.

Список литературы

1. Читнаев Е.Л. Практикум: Для студентов – заочников технических (нехимических) специальностей / Е.Л. Читнаев. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2003. – 232 с.

2. Заживихина Е.И. Коррозия металлов / Е.И. Заживихина, С.Н. Смирнова, Ю.Н. Митрасов // Наука и образование: теория и практика. Сборник научных статей. – С. 77-80.

3. Лазуткина Е.А. Защита металлов от коррозии / Е.А. Лазуткина, Е.И. Заживихина, С.А. Маркова, С.Н. Смирнова, Д.А. Заживихин // Техника, дороги и технологии: перспективы развития / Сборник материалов Десятой студенческой научно-практической конференции имени Николая Васильевича Попова. – Чебоксары: Волжский филиал МАДИ. – 2018. – С.110-113.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Т.А. Путилова
Челябинский институт путей сообщения – филиал
Уральского государственного университета путей сообщения,
г. Челябинск

Аннотация. *В статье отражены экологические аспекты стратегии развития железнодорожного транспорта. Приведены инновационные технические решения, позволяющие повысить эффективность железнодорожных перевозок и уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.*

Одной из стратегических целей государственной политики в области экологического развития является сохранение благоприятной окружающей среды. В программном документе развития железнодорожной отрасли России – «Экологическая стратегия ОАО «РЖД» до 2030 года и перспективу до 2035 года» уделяется особое внимание эффективному использованию природных ресурсов и уменьшению антропогенного воздействия на окружающую среду [1].

Железнодорожный транспорт является одним из наиболее экологически эффективных видов транспорта, поскольку позволяет электрическую тягу при перевозке грузов и пассажиров. Применение электрической энергии исключает загрязнение окружающего воздуха прилегающих к железнодорожным путям территорий [1]. Обеспечение экологической безопасности на железнодорожном транспорте реализуется не только за счет сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу, но и за счет снижения уровня шумового воздействия, сброса загрязненных сточных вод, ликвидации последствий загрязнения земель, внедрения природоохранных технологий, использования и обезвреживания отходов, повышения экологических требований к транспортной инфраструктуре и т.д. [1; 2].

К основным задачам системы управления природоохранной деятельностью ОАО «Российские железные дороги» можно отнести: соблюдение природоохранного законодательства Российской Федерации; рациональное использование природных и энергетических ресурсов; снижение негативного воздействия на окружающую среду; внедрение системы экологического менеджмента; методологию, нормирование и стандартизацию природоохранной деятельности.

Основные выбросы вредных веществ в атмосферу от железнодорожного транспорта происходят из-за сжигания органического топлива котельными, тепловозами, автотранспортными средствами, самоходным специальным подвижным составом. Снижение поступления загрязнений в окружающую среду может быть достигнуто за счет внедрения современных экологически чистых и ресурсосберегающих технологий; применения экологически чистых видов топлива; использования возобновляемых источников энергии; разработки и внедрения технологий по очистке продуктов горения от вредных веществ (таблица). Структурами ОАО «Российские железные дороги» оказывается негативное физическое воздействие на окружающую среду такое как: шум, вибрация, электромагнитное излучение. Снижение данного влияния обеспечивается за счет укладки бесстыкового пути, применения рельсовых креплений новых конструкций, рельсошлифования, строительства шумозащитных экранов. лесонасаждения и т.д. [1].

Уменьшение негативного влияния в области использования водных ресурсов достигается благодаря сокращению их нерационального расходования, внедрения водосберегающих технологий, а также систем оборотного водоснабжения и повторного использования воды, нормирования и приборного учета водопотребления.

Патентование инновационных разработок в области экологии

Название	Номер патента	Технический результат
Система запуска дизеля тепловоза	2189324	Повышение надёжности и ресурса системы запуска дизеля тепловоза
Маневровый локомотив	2344954	Сокращение длины локомотива и обеспечение кругового обзора из кабины машиниста
Способ управления силовой установкой гибридного локомотива	2470809	Повышение эффективности силовой установки

Основными ориентирами в сфере обращения с отходами производства являются меры по повышению уровня использования и обезвреживания отходов структурных подразделений филиалов ОАО «Российские железные дороги»: сортирование отходов для вторичного использования; применение экологических чистых технологий использования отходов в качестве топлива;

использование технологий, позволяющих регенерировать масла и смазки, электролиты аккумуляторах батарей и т.п. [1].

К одной из причин отрицательного влияния филиалов ОАО «Российские железные дороги» на окружающую среду можно отнести наличие устаревшего парка подвижного состава, который загрязняет атмосферу и почву. Для обновления парка подвижного состава и повышения его экологичности ОАО «Российские железные дороги» ведет разработки образцов локомотивов, использующих газомоторное топливо (табл. 1).

Таким образом, внедрение инновационных технологий позволит снизить вредное влияние объектов ОАО «Российские железные дороги» на окружающую среду, что предусмотрено стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации.

Список литературы

1. Экологическая стратегия ОАО "РЖД" до 2030 года и перспективу до 2035 года» (утв. решением совета директоров ОАО "РЖД" от 21.03.2025, протокол N 11).

2. Путилова Т.А. Экологизация железнодорожного транспорта: методические материалы для самостоятельной работы обучающихся / Т.А. Путилова // Доклады XXX всерос. науч.-практич. конференции под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Инновационные технологии, 2023. – С. 209-211.

ИНСТРУМЕНТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

И.А. Ерёмчев, Н.Н. Афанасьева
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматриваются инструменты экологически ориентированного управления организацией и анализируется опыт их внедрения в Российской Федерации. Раскрываются понятие, принципы и эволюция экологического менеджмента.*

В последние десятилетия экологическая проблематика заняла центральное место в повестке устойчивого развития. Российская Федерация в рамках национального проекта «Экологическое благополучие» ставит перед промышленными предприятиями амбициозные задачи: снижение выбросов опасных загрязняющих веществ на 50 % и поэтапное сокращение выбросов в два раза к 2036 году. В этих условиях системы экологического менеджмента (СЭМ) становятся не просто инструментом добровольной сертификации, а необходимым элементом стратегического управления организацией.

Экологический менеджмент представляет собой тип стратегического управления, интегрирующий экологические цели в общую стратегию развития компании. Эволюция экологического менеджмента прошла путь от реактивного

подхода («конца трубы») к превентивному («чистое производство») и далее к интегративному подходу, в рамках которого экологическая устойчивость рассматривается как фактор долгосрочной конкурентоспособности. Ключевые принципы включают превентивность, ответственность («загрязнитель платит»), непрерывное улучшение и системный подход.

Инструментарий экологически ориентированного управления включает три основные группы. Организационно-управленческие инструменты (СЭМ по ISO 14001, экологический аудит, экологическая сертификация и контроллинг) формируют структуру и процедуры управления экологической деятельностью. Экономические и учетные инструменты (экологические платежи, экологическая бухгалтерия EMA, оценка жизненного цикла LCA) создают финансовые стимулы и позволяют оценить эффективность природоохранных мероприятий. Информационно-цифровые инструменты (платформы управления устойчивым развитием, углеродный учет, IoT и цифровые двойники) обеспечивают автоматизацию сбора данных, точность расчетов и прозрачность отчетности. Наиболее эффективным является комплексное применение всех групп инструментов. [1]

Российские предприятия накопили значительный положительный опыт внедрения экологического менеджмента. Компания ЦЕМЕНТУМ (Калужская область) стала лауреатом премии «Лучшие ESG-проекты России» в номинации «Борьба с изменением климата». За 10 лет использования альтернативного топлива на цементном заводе компания сэкономила 200 млн кубометров природного газа и снизила выбросы CO_2 на 340 млн тонн. Опыт калужского завода успешно масштабирован на другие производственные площадки компании, что демонстрирует возможность тиражирования экологических инноваций. [2-3]

Кольская горно-металлургическая компания (входит в группу «Норникель») реализует уникальный механизм «топ-5 природоохранных мероприятий» в каждом подразделении. Инициативы могут исходить как от руководства, так и от рядовых сотрудников, что обеспечивает непрерывность улучшений. Примеры реализованных проектов: снижение выбросов загрязняющих веществ в химико-металлургическом цехе более чем в два раза, экономия 30 млн рублей в год в цехе электролиза никеля, сокращение потребления свежей воды на 15 тысяч кубометров в год на обогатительной фабрике. Как отмечает руководство компании, «если есть экологический эффект, есть и экономический».

Группа РОСНАНО при поддержке АСИ реализует проекты по формированию экономики замкнутого цикла. Создается экотехнологический центр в Тихвине Ленинградской области – первый экокластер, работающий по принципу «ноль отходов» (zero waste) мощностью более 40 тысяч тонн перерабатываемых отходов в год. Комплекс будет перерабатывать бумажные, пластиковые, резиновые, пищевые, стеклянные и древесные отходы с применением искусственного интеллекта для систем раздельного сбора.

Опыт Красноярского края в рамках федерального проекта «Чистый воздух» признан уникальным и рекомендован к масштабированию. С 2022 года в Красноярске на автоматические твердотопливные котлы переведены более 2,6 тыс. частных домов. При использовании таких котлов выбросы бенз(а)пирена снижаются в 200-300 раз, а выбросы взвешенных частиц – в 15-20 раз. Одновременно крупные промышленные предприятия (Красноярский алюминиевый завод, ТЭЦ-3) проводят комплексную модернизацию с целью снижения выбросов не менее чем на 20 % к 2026 году.

Наряду с достижениями, анализ практики выявляет системные проблемы. Внедрение СЭМ неравномерно по отраслям и регионам: наиболее активно экологический менеджмент внедряется в крупных промышленных корпорациях, тогда как в малом и среднем бизнесе его уровень остается низким. Высокие первоначальные затраты (разработка документации, обучение персонала, сертификация, закупка оборудования) могут быть неподъемными для малых предприятий. На рынке труда наблюдается дефицит квалифицированных кадров, владеющих как экологическими, так и управленческими компетенциями. В ряде случаев СЭМ внедряется формально – «для галочки», без реального встраивания в управленческую практику. Кроме того, компании испытывают сложности с учетом Scope 3 выбросов (косвенные выбросы по всей цепочке создания стоимости). [3]

Перспективные направления развития экологического менеджмента в России включают ужесточение регулирования (расширение системы квотирования выбросов, введение обязательной углеродной отчетности), развитие «зеленого» финансирования (выпуск «зеленых» облигаций, ESG-кредиты), цифровизацию экологического управления (платформы SPM, искусственный интеллект, цифровые двойники), интеграцию экологического менеджмента в корпоративное управление (включение экологических KPI в систему мотивации топ-менеджмента) и масштабирование успешных практик, доказавших свою эффективность.

Опыт внедрения систем экологического менеджмента в Российской Федерации демонстрирует положительную динамику. Крупные промышленные компании все более активно интегрируют экологические принципы в свою стратегию и операционную деятельность, получая при этом как экологический (снижение выбросов, экономия ресурсов), так и экономический эффект. Ключевым фактором дальнейшего прогресса остается создание системных стимулов – как регуляторных (обязательства по снижению выбросов, требования к раскрытию информации), так и экономических (льготы, субсидии, «зеленое» финансирование). Важнейшей задачей является преодоление разрыва между лидерами ESG-трансформации и предприятиями, только начинающими этот путь, а также вовлечение малого и среднего бизнеса в экологическую повестку. [4]

Список литературы

1. Ларионов В.Г. Исследование факторов и условий, оказывающих влияние на функционирование системы экологического менеджмента в российских

компаниях / В.Г. Ларионов, С.Г. Фалько, А.В. Демидов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2019. – №3. – С. 21-29.

2. Ларионов В.Г. Экологически ориентированная модель интегрированного управления российскими компаниями / В.Г. Ларионов, С.Г. Фалько, А.В. Демидов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2018. – №4. – С. 7-18.

3. Нургалеева А.Р. ESG-принципы управления современным предприятием [Текст] / А.Р. Нургалеева // Экономика и управление: теория, методология, практика: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции (г. Уфа, г. Шэньян, 20 мая 2022 г.) / отв. ред. Л.С. Валинурова. – Уфа: Уфимский университет науки и технологий, 2022. – С. 167-170.

4. Грошев И.В. Инструменты менеджмента по внедрению ESG-принципов в промышленной компании / И.В. Грошев, Т.М. Гололобова // Управление. – 2024. – Т. 12, №4. – С 13-22.

ВНЕДРЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В ОРГАНИЗАЦИИ

М.А. Кудрявцев, Н.Н. Афанасьева
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты внедрения системы экологического менеджмента (EMS) в организации на основе международных стандартов серии ISO 14000. Анализируются ключевые этапы внедрения EMS, включая идентификацию экологических аспектов, распределение ответственности и ресурсное обеспечение.*

В условиях ужесточения природоохранного законодательства, роста «зеленых» требований со стороны потребителей, инвесторов и страховых компаний, экологический менеджмент перестал быть добровольной инициативой отдельных энтузиастов. Сегодня это стратегическая необходимость для любой организации, стремящейся к долгосрочной устойчивости. Экологический менеджмент представляет собой часть общей системы корпоративного управления, которая имеет четкую организационную структуру, планирование, распределение ответственности, практические процедуры, процессы и ресурсы для разработки, внедрения и контроля экологической политики.

Фундаментом для подавляющего большинства корпоративных СЭМ служит международный стандарт ISO 14001:2015 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению». В отличие от предыдущих версий, актуальный стандарт делает акцент на интеграции экологических аспектов в стратегическое планирование, лидерстве высшего руководства и управлении жизненным циклом продукции. [1]

Ключевые элементы ISO 14001: Контекст организации – понимание внутренних и внешних факторов, влияющих на экологическую результативность; Лидерство – приверженность топ-менеджмента, разработка экологической политики и распределение ролей; Планирование – идентификация экологических аспектов (прямых и косвенных), определение рисков и возможностей, установление целей; Поддержка – ресурсы, компетенции, осведомленность персонала и документированная информация; Функционирование – операционный контроль и управление изменениями; Оценка результативности – мониторинг, анализ соответствия, внутренний аудит; Улучшение – анализ со стороны руководства, корректирующие действия, повышение результативности.

Важно подчеркнуть: стандарт не устанавливает абсолютных экологических требований (например, предельно допустимых выбросов), а задает процессный подход к постоянному снижению воздействия. Именно это делает ISO 14001 универсальным для любого предприятия – от офиса до металлургического комбината. [2, 3]

Внедрение СЭМ – это проектный процесс, занимающий в среднем от 6 до 18 месяцев. Рассмотрим его пошаговую структуру.

Этап 1. Предварительная оценка и инициация. На этом этапе высшее руководство принимает решение о старте проекта. Формируется рабочая группа (включая эколога, менеджера по качеству, представителей производства, закупок и сбыта). Проводится Gap-анализ – сравнение существующей практики с требованиями ISO 14001. Результатом является приказ о внедрении СЭМ и утверждение бюджета. [4]

Этап 2. Разработка экологической политики. Экополитика – публичное обязательство организации. Она должна соответствовать специфике деятельности, включать обязательство соответствовать законодательству, предотвращать загрязнение и постоянно улучшать систему. Важно: политику утверждает генеральный директор, и она доводится до каждого сотрудника. Пример фрагмента: «Наша компания обязуется минимизировать образование отходов, повышать энергоэффективность оборудования и требовать от поставщиков экологической отчетности».

Этап 3. Идентификация экологических аспектов и оценка воздействий. Это наиболее трудоемкий аналитический блок. Рабочая группа составляет перечень всех видов деятельности, продукции и услуг, затем по каждому процессу выявляет: входные потоки (сырье, вода, энергия, химикаты); выходные потоки (выбросы в атмосферу, сбросы в воду, отходы, шум, тепловыделение).

Далее каждый аспект оценивается по критериям: масштаб воздействия, тяжесть, вероятность возникновения, нормативные ограничения, озабоченность заинтересованных сторон. Значимые экологические аспекты (например, выбросы оксидов азота для котельной) становятся объектами управления.

Этап 4. Определение целей, задач и программы управления. Для каждого значимого аспекта устанавливаются измеримые экологические цели на год/три года. Например: «Снизить удельный расход воды на единицу продукции на 12 %

к концу года». Цели SMART-специфичны. Разрабатываются программы (планы мероприятий) с указанием сроков, ответственных и бюджетов. Типичные мероприятия: замена фильтров, обучение персонала, установка датчиков утечек.

Этап 5. Документирование и операционный контроль. СЭМ требует документирования порядка выполнения работ, которые влияют на экологию. Создаются: регламенты обращения с отходами; инструкции по заправке топливом; порядок действий при авариях (разливах); журналы параметров работы очистного оборудования. [4]

Внедряется система операционного контроля: периодические обходы, замеры, визуальный контроль.

Этап 6. Обучение и повышение осведомленности. Без вовлеченности персонала даже лучшая система не работает. Проводятся обязательные вводные инструктажи для новичков, ежегодные тренинги для операторов, отдельные семинары для управленцев. Каждый сотрудник должен знать: какие экологические аспекты связаны с его работой, как действовать в нештатной ситуации, куда сообщать о нарушениях.

Этап 7. Внутренний аудит и корректирующие действия. Перед сертификацией (если она планируется) проводится внутренний аудит – силами обученных внутренних аудиторов. Выявленные несоответствия делятся на реальные (невыполнение требования) и потенциальные (риск нарушения). По каждому разрабатываются корректирующие действия с контролем выполнения.

Этап 8. Анализ со стороны руководства и сертификация. Не реже одного раза в год высшее руководство собирает входные данные (результаты аудитов, жалобы, прогресс по целям, изменения законодательства) и оценивает, насколько СЭМ остается адекватной и эффективной. После этого организация может пройти добровольную сертификацию в аккредитованном органе (например, TÜV, SGS, Бюро Веритас). Наличие сертификата ISO 14001 является рыночным преимуществом. [4]

Внедрение системы – это только половина дела. Реальная ценность создается в процессе её повседневного функционирования. Рассмотрим ключевые механизмы.

Экологический менеджмент работает через повторяющиеся циклы непрерывного улучшения, цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act):

Plan (Планируй) – установление целей и ресурсов.

Do (Делай) – выполнение операционных процедур.

Check (Проверяй) – мониторинг и измерения, аудиты.

Act (Действуй) – корректировки, пересмотр целей.

Без цикла PDCA система быстро превращается в формальный набор документов. [5]

Даже при совершенных процессах возможны сбои (протечка, превышение выброса, ошибочная загрузка химикатов). СЭМ обязывает иметь задокументированный план реагирования. После инцидента проводится корневой анализ (метод «5 почему» или диаграмма Исикавы), разрабатываются предупреждающие меры, чтобы инцидент не повторился.

Примеры операционных KPI: удельное энергопотребление (кВт·ч/ед. продукции), объем образованных отходов (тонн/мес), доля переработанных отходов, количество нарушений предельно допустимых концентраций. Управленческие KPI: процент выполненных целей, количество обученных сотрудников, экономический эффект от ресурсосбережения.

Современный экологический менеджмент требует прозрачности. Организации публикуют нефинансовую отчетность (по стандартам GRI), раскрывают информацию о выбросах парниковых газов, участвуют в экологических рейтингах (CDP, EcoVadis). Это формирует доверие у местных сообществ, эко-ориентированных клиентов (например, розничные сети, требующие от поставщиков сертификат ISO 14001). [6]

Внедрение экологического менеджмента – это не разовый проект, а трансформация философии управления. Организация, прошедшая путь от идентификации аспектов до сертификации по ISO 14001, получает не только снижение экологического следа, но и системный инструмент контроля процессов, экономии ресурсов и повышения доверия стейкхолдеров.

Ключевые факторы успеха: активная позиция руководства, вовлечение всех сотрудников, интеграция экологических целей в бизнес-планирование и регулярный анализ данных. В современной экономике, где устойчивое развитие становится мейнстримом, экологический менеджмент перестает быть вопросом выбора - он превращается в лицензию на право работать на глобальных рынках и сохранять конкурентоспособность.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО 14001-2016. Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению. – М.: Стандартинформ, 2016.

2. ГОСТ Р ИСО 14002-2022. Системы экологического менеджмента. Руководство по применению ИСО 14001 для рассмотрения экологических аспектов и условий в рамках экологической тематической области. Часть 1. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2022.

3. ГОСТ Р ИСО 14001-2016 (ISO 14001:2015) – Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

4. Годин А.М. Экологический менеджмент: учебное пособие. – М.: Дашков и К°, 2019.

5. Epstein M.J. Making Sustainability Work: Best Practices in Managing and Measuring Corporate Social, Environmental and Economic Impacts. – Routledge, 2018.

6. Трифонова Т.А. Экологический менеджмент: учебное пособие / Т.А. Трифонова, Н.В. Селиванова, М.Е. Ильина. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2019 (или любое актуальное российское пособие из РИНЦ).

ЦИФРОВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ВО ВНЕУРОЧНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ

В.М. Панарин, А.С. Дубовицкий
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *На примере опубликованного педагогического эксперимента в школе Томского района разобрана методика применения цифровой лаборатории «Releon Point» на внеурочных занятиях по экологии. Описаны состав оборудования, структура занятий и измеряемые показатели, приведены результаты диагностики познавательного интереса. Показано, что выявленный рост интереса пока носит характер тенденции, так как различия между группами статистически незначимы. Сформулированы рекомендации по организации таких занятий.*

Ключевые слова: *цифровая лаборатория, внеурочная деятельность, экологическое образование, познавательный интерес.*

Экологическому образованию в России уделяется внимание на государственном уровне: об этом говорят «Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года» [1] и Концепция экологического образования в системе общего образования [2], а в ФГОС основного общего образования экологическая культура отнесена к личностным результатам [3]. Возможность практической работы с приборами в сельских школах появилась благодаря центрам «Точка роста», созданным в рамках национального проекта «Образование» и оснащённым цифровыми лабораториями [3]. Цель настоящей работы – на примере одного опубликованного эксперимента разобрать, как строится такая работа, что именно измеряют школьники и насколько надёжны полученные результаты.

Эксперимент провели в Моряковской средней школе Томского района среди двух параллелей 7 классов (51 ученик): в контрольной группе было 24 человека, а в экспериментальной – 27 [3]. Обе группы занимались в экологической секции один раз в неделю в течение 34 недель по одной программе, которая включала экологический мониторинг, охрану окружающей среды и рациональное природопользование. Отличие состояло в методах: экспериментальная группа провела 12 практических занятий с цифровой лабораторией «Releon Point», а контрольная использовала проекты, дискуссии, дебаты и решение кейсов без датчиков [3].

В состав лаборатории входят мультидатчики Point Эко-1 и Point Эко-2 для измерения качества воздуха, температуры, влажности и освещённости, программа для построения графиков, таблиц и диаграмм с автоматическим анализом и экспортом данных, а также методические материалы с заданиями и лабораторными работами [3]. Каждое занятие имело одинаковую структуру: постановка исследовательской задачи, измерения, обработка данных, сравнение с нормами и общее обсуждение результатов. В классе школьники измеряли температуру, влажность и содержание углекислого газа и сопоставляли их с требованиями СанПиН, определяли pH и прозрачность воды из водопровода и

питьевых фонтанчиков, а на пришкольном участке измеряли температуру воздуха и почвы, влажность почвы, УФ-излучение, шум и концентрацию ионов в почве [3]. Такой набор задач привязан к реальным условиям школы, поэтому вывод ученика проверяется нормативом, а не мнением учителя.

Занятие состояло из решения определённых задач. Например, соответствует ли воздух в кабинете нормам СанПиН. В процессе занятия школьники формулировали гипотезу, затем датчиком фиксировали температуру, влажность и содержание углекислого газа в начале, середине и конце урока. Программа строит графики и позволяет экспортировать данные. По графику ученик видит, что концентрация CO_2 растёт, сопоставляет значения с нормой и предлагает меры, например режим проветривания. Так за одно занятие проходит полный цикл исследования: от гипотезы до практического вывода.

Познавательный интерес оценивали до и после занятий опросником Б.К. Пашнева: он содержит 52 вопроса, из них 42 диагностируют познавательную активность, а 10 образуют шкалу неискренности. Сумма баллов 0-19 соответствует низкому уровню, 20-34 – среднему, 35-42 – высокому [3]. Результаты приведены в таблице.

Уровни имеют понятное педагогическое содержание. Школьники с высоким уровнем выдвигают гипотезы, подтверждают или опровергают их, сами ставят задачи, предлагают разные способы решения и получают удовольствие от процесса. Ученики со средним уровнем выполняют сложные задания, но только по инструкции учителя и редко становятся инициаторами обсуждения. При низком уровне школьник пассивен, использует готовый алгоритм и ждёт подсказки [3]. Именно переход от второго и третьего уровней к первому и должен обеспечить работа с цифровой лабораторией, где ученик сам выбирает, что измерить, и сам проверяет предположение.

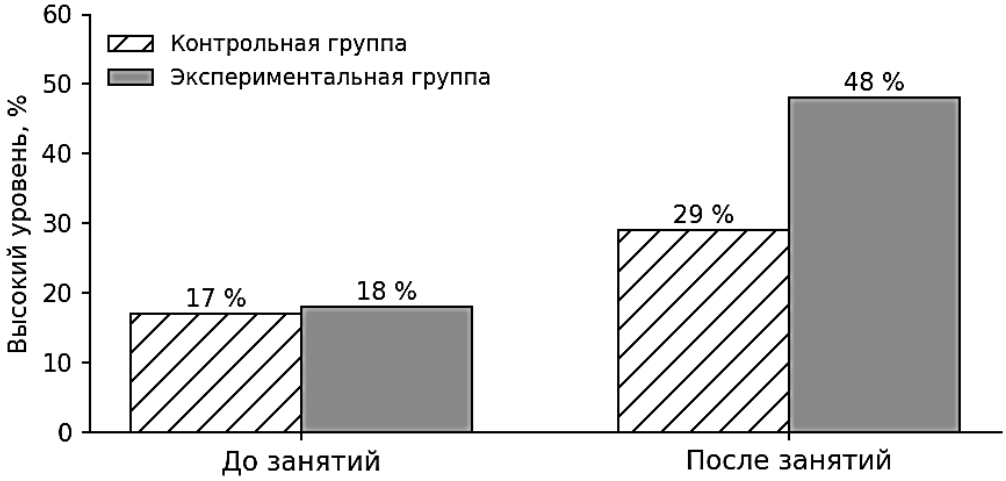
Уровень познавательного интереса до и после занятий [3]

Уровень интереса	**Контр. до**	**Эксп. до**	**Контр. после**	**Эксп. после**
Высокий	17 %	18 %	29 %	48 %
Средний	50 %	39 %	46 %	33 %
Низкий	33 %	43 %	25 %	19 %

Высокий уровень в экспериментальной группе вырос с 18 до 48 %, в контрольной – с 17 до 29 %, то есть на 30 и 12 процентных пунктов соответственно (расчёт автора по данным таблицы). Доля низкого уровня снизилась с 43 до 19 % и с 33 до 25 %. На старте группы были сопоставимы ($\chi^2 = 0{,}92$; $p = 0{,}63$), а после занятий различие между ними значимости не достигло ($\chi^2 = 1{,}92$; $p = 0{,}38$) [3].

Поэтому корректнее говорить о тенденции, а не о доказанном эффекте. Выборка мала (27 и 24 человека), эксперимент длился один учебный год и проходил в одной школе, предметные знания не проверялись. Рост показателей в контрольной группе показывает, что часть эффекта дают сами занятия, а не

оборудование. Кроме того, экспериментальная группа начинала с более низкого уровня интереса, и это могло увеличить прирост.



Доля школьников с высоким уровнем познавательного интереса

Следует учитывать и природу самих данных. Школьные датчики не заменяют аттестованные средства измерений, поэтому их показания пригодны для обучения и для предварительной оценки, но не для официальных заключений о состоянии среды. Это стоит прямо говорить школьникам: сравнение результата с нормативом учит не только читать график, но и оценивать точность прибора и достоверность вывода. Вторая практическая проблема – время учителя: подготовка оборудования, проверка его работы и адаптация заданий требуют часов, которые необходимо закладывать в нагрузку.

Для практики опыт даёт несколько выводов. Задачи лучше привязывать к объектам школы и местным условиям. Необходима подготовка педагога и методические материалы [3]. При дальнейшем изучении эффекта следует включать несколько школ, увеличивать выборку и дополнять опросник проверкой знаний. Тогда цифровые лаборатории можно будет оценивать не по впечатлению, а по измеримым результатам.

Список литературы

1. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года: утв. Президентом РФ 30.04.2012.

2. Захлебный А.Н. Концепция экологического образования в системе общего образования / А.Н. Захлебный, Е.Н. Дзятковская, Л.В. Шмелькова, А.А. Мамченко. – М.: ИСРО РАО, 2022. – 9.с.

3. Кириллова Т.С. Роль цифровых лабораторий в формировании познавательного интереса школьников во внеурочной деятельности по экологии / Т.С. Кириллова // Цифровая гуманитаристика и технологии в образовании (DHTE 2025): сб. статей. – М.: МГППУ, 2025. – С. 170-182.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БИОЭКОНОМИКИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

К ВОПРОСУ О ПОДБОРЕ РАСТЕНИЙ ПРИ ОЗЕЛЕНЕНИИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А.М. Захарова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье исследуется проблема подбора растений при озеленении городских территорий, включая анализ основных экологических, климатических и биологических факторов, влияющих на рост и развитие зелёных насаждений, выявление проблем, связанных с загрязнением воздуха, состоянием почвы, устойчивостью растений к неблагоприятным условиям, заболеваниям и вредителям, а также обоснование принципов выбора видов с учётом особенностей городской среды, требований к уходу и необходимости сохранения видового разнообразия.*

Озеленение городских территорий играет важную роль в улучшении экологической обстановки, формировании комфортной городской среды и повышении качества жизни населения. Деревья, кустарники и травянистые растения способствуют задержанию пыли, смягчению воздействия высоких температур, снижению шума и улучшению внешнего облика города. Однако эффективность озеленения во многом зависит от правильного подбора видов с учётом природных условий, антропогенной нагрузки и особенностей городской застройки.

Одной из основных проблем является то, что растения, хорошо развивающиеся в естественных условиях, не всегда способны выживать в городе. Загрязнение воздуха, уплотнение почвы, недостаток влаги, перепады температур и ограниченное пространство для роста могут приводить к ослаблению растений и их преждевременной гибели. Поэтому при проектировании озеленения необходимо учитывать комплекс экологических, биологических и практических факторов.

В городах растения подвергаются воздействию выхлопных газов, промышленных выбросов и дорожной пыли. Эти факторы могут повреждать листья, снижать интенсивность фотосинтеза и замедлять рост растений. Для решения проблемы следует подбирать виды, устойчивые к загрязнению воздуха и запылению, а вдоль автомобильных дорог создавать многоярусные посадки из деревьев и кустарников. При этом необходимо учитывать особенности участка и устойчивость конкретных видов к загрязняющим веществам [1].

Не все растения способны переносить характерные для конкретного региона морозы, летнюю жару, резкие перепады температур и продолжительные засушливые периоды. Использование неподходящих видов может приводить к подмерзанию, повреждению побегов и снижению декоративности насаждений.

Решением является подбор растений с учётом климатической зоны, зимостойкости, засухоустойчивости и местных погодных условий. Предпочтение следует отдавать видам и сортам, успешно развивающимся в аналогичных климатических условиях [2].

Городские почвы часто отличаются уплотнением, недостаточным содержанием органического вещества, засолением и загрязнением различными веществами. Кроме того, растения могут страдать от недостатка или избытка влаги, а также от неподходящей кислотности почвы. Для решения этой проблемы необходимо оценивать состав, влажность, кислотность и степень уплотнения грунта перед посадкой. При необходимости следует улучшать структуру почвы, организовывать дренаж и подбирать виды, соответствующие существующим почвенным условиям.

Молодые деревья имеют недостаточно развитую корневую систему и могут повреждаться или наклоняться под воздействием сильных ветров. Особенно высок риск на открытых площадках и территориях с ограниченным объёмом почвы. Для повышения устойчивости необходимо выбирать виды, приспособленные к местным ветровым условиям, и обеспечивать правильную посадку. В первые годы важно закреплять молодые деревья при необходимости, обеспечивать их полив и контролировать состояние корневой системы [3].

Некоторые виды растений подвержены грибковым заболеваниям, бактериальным инфекциям и повреждениям насекомыми-вредителями. Массовое использование одного восприимчивого вида может способствовать быстрому распространению заболевания и привести к значительным потерям зелёных насаждений. Для снижения риска необходимо выбирать устойчивые виды и сорта, использовать качественный посадочный материал и регулярно осматривать растения. Важную роль играют разнообразие посадок и своевременные профилактические мероприятия [3].

При озеленении городов нередко используют ограниченное количество видов деревьев и кустарников, поскольку они хорошо известны и относительно просты в уходе. Однако однообразные посадки повышают риск массового поражения насаждений вредителями и заболеваниями, а также снижают устойчивость городской экосистемы. Для решения этой проблемы необходимо формировать разнообразные растительные сообщества, сочетая деревья, кустарники и травянистые растения с разными биологическими характеристиками. При этом важно учитывать совместимость растений и особенности местной флоры [4].

При проектировании озеленения важно учитывать будущую высоту, ширину кроны и особенности корневой системы растений. Крупные деревья, посаженные слишком близко к небольшим деревьям и кустарникам, могут затенять их и ограничивать доступ к свету, воде и питательным веществам. Кроме того, корни и кроны способны создавать конфликты с тротуарами, зданиями и инженерными коммуникациями. Решением является предварительное планирование схемы посадок с учётом размеров растений во взрослом состоянии, рекомендуемых расстояний и потребности каждого вида в освещении [1].

Разные растения предъявляют неодинаковые требования к поливу, обрезке, подкормкам и защите от вредителей. В условиях ограниченного финансирования городские службы могут отдавать предпочтение видам, которые отличаются устойчивостью и не требуют сложного ухода. Однако выбор исключительно неприхотливых растений может ограничить декоративное и экологическое разнообразие территории. Поэтому необходимо подбирать виды с учётом доступных ресурсов для обслуживания, обеспечивая полив в период укоренения, санитарную обрезку и регулярный контроль состояния насаждений.

Рельеф территории, уклон поверхности и глубина залегания грунтовых вод влияют на распределение влаги, аэрацию почвы и развитие корневых систем. На возвышенных и открытых участках растения могут испытывать недостаток воды, тогда как в понижениях возможно переувлажнение и застой влаги. Для решения проблемы необходимо предварительно обследовать участок, оценить особенности рельефа и водного режима, а затем выбирать растения, соответствующие местным условиям. При необходимости следует предусматривать дренаж или другие меры по регулированию влажности [2].

Таким образом, подбор растений для озеленения городских территорий представляет собой комплексную задачу, требующую учёта экологических, климатических, почвенных и биологических факторов. Ошибки при выборе видов могут приводить к гибели насаждений, увеличению затрат на их содержание и снижению эффективности озеленения.

Для создания устойчивой городской среды необходимо подбирать растения в соответствии с условиями конкретного участка, учитывать их размеры во взрослом состоянии, устойчивость к неблагоприятным факторам, потребности в уходе и взаимодействие с другими видами. Особое значение имеют поддержание видового разнообразия и предотвращение распространения инвазивных растений. Грамотный подход к подбору растительности позволяет формировать долговечные, экологически устойчивые и эстетически привлекательные городские пространства.

Список литературы

1. Теодоронский В.С. Озеленение населённых мест: учебное издание по вопросам проектирования озеленения и подбора ассортимента растений / В.С. Теодоронский, И.О. Боговая. – М.: Агропромиздат, 1990. – С.45-47.

2. Теодоронский В.С. Озеленение населённых мест. Градостроительные основы: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Садово-парковое и ландшафтное строительство» / В.С. Теодоронский, Г.П. Жеребцова. – М.: Академия, 2010. – 254 с.

3. Правила создания, охраны и содержания зелёных насаждений в городах Российской Федерации. МДС 13-5.2000: утверждены приказом Госстроя России от 15.12.1999 № 153.

4. СП 475.1325800.2020. Парки. Правила градостроительного проектирования и благоустройства. – Свод правил, содержащий требования и рекомендации по проектированию парковых территорий и подбору растений с учётом условий среды.

АРХИТЕКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ, ПОВЫШАЮЩИЕ ВОВЛЕЧЕННОСТЬ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В РАЗДЕЛЬНЫЙ СБОР МУСОРА

М.А. Зяблова, В.А. Зверева
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматривается влияние архитектурных и визуальных решений, а также способы мотивации людей к раздельному сбору отходов. Большое внимание уделяется внешнему облику контейнеров, его функциональности и местоположению в среде города.*

Раздельный сбор отходов – это не просто разделение мусора по категориям, а сложный поведенческий процесс. В условиях ограниченного времени и высокой нагрузки человек должен моментально принять решение о рассортировке того или иного предмета.

В 2022 году был проведен опрос среди жителей Санкт-Петербурга. Статистика показала, что 90 % опрошенных поддерживают идею многопоточных раздельных контейнеров. Спустя время после установки оборудования и проведения эколого-просветительских кампаний оказалось, что информированность граждан повышает число людей, сортирующих отходы. Эти данные показывают, что смешанное накопление отходов связано не с нежеланием людей, а с барьерами восприятия, создаваемые самой средой. Целями данной статьи являются анализ визуальных и архитектурных решений, снижающих эти барьеры и превращение процесса сортировки из осознанного усилия в автоматическое действие, которое будет соответствовать контексту среды.

Первые шаги, которые необходимо выполнить – это изменить дизайн контейнеров для раздельного сбора и их расположение. Визуальное оформление должно интуитивно подталкивать пользователя к правильному выбору, а местоположение быть удобно и логично. Сознательное решение принимается из контекста.

Также возможно применение ассоциаций, при разработке внешнего облика контейнера. Их можно разделить на несколько категорий. Первая – использование разных форм отверстий. Для бумаги – длинная узка полоска, для пластиковых бутылок – круг диаметром 8 сантиметров, широкое прямоугольное – для общего мусора. Дополнительно такое решение не позволит выбросить отход в неподходящую по размеру прорезь. Вторая – цветовое кодирование. Например, для сбора бумаги выбрать синий цвет, а для пластика – оранжевый или желтый. В целом, это достаточно мощный инструмент для навигации. Однако все цветовые кода должны быть согласованы между собой. Для эффективности цветовой кодировки необходимо дополнительно обозначать соответствующими цветами напольную разметку, указатели, информационные стенды, дополнительно выделять зону сбора на фоне окружающей среды. Еще одним ассоциативным инструментом являются конкретные изображения. Мозг

человека устроен таким образом, что, видя реалистичную знакомую картинку, он вмиг узнает ее и принимает решение. Текст, в свою очередь, требует больше усилий и, следовательно, времени, а условные символы могут неправильно восприняться.

Необходимо придерживаться трёх-четырёх видов сортировочных контейнеров, иначе велик риск игнорирования сортировки.

Еще одним методом привлечения к массовому сбору отходов является социальное доказательство. Задача планировщиков среды – чаще косвенно подталкивать людей наблюдать друг за другом и повторять. Если расположить контейнеры на достаточно открытом пространстве, то людям проще будет понять принцип деления мусора, а также инстинктивно присоединяться к большинству. Благодаря скульптурам из переработанных материалов или различных счетчиков количества переработки, горожане с большей радостью присоединятся к коллективной задаче. Правильная формулировка обращений к жителям также увеличит интерес и желание к многопоточному разделению мусора.

Для упрощения и скорости восприятия места сбора отходов необходимо придерживаться структуре навигации. На расстоянии 10-20 метров от контейнеров установить крупные указатели с цветовым кодированием, в 3-5 метрах от места сбора использовать напольную разметку, зонирование, информационные стенды, а меньше 1 метра ввести конкретные изображения, форму отверстий и тактильные подсказки.

Важно сделать упор на понятную стандартизацию и детализацию. Пользователю должен быть полностью понятен алгоритм действий.

При размещении разных типов контейнеров возможно применить принцип контекста. Например, рядом с автоматами с напитками разместить контейнер только для пластиковых бутылок с ассоциативным изображением. Человек не будет думать о классификации отхода, а просто совершит действие.

Обратная связь также может повысить мотивацию к раздельному сбору. Можно внедрить цифровые интерфейсы. Умный контейнер будет самостоятельно вести подсчет выкинутых отходов и благодарить людей за участие в экологии.

Таким образом, мы видим, что архитектура среды и дизайн играют важную роль в создании среды, положительно влияющей на экологическое положение человечества. Все вышеперечисленные способы визуальной мотивации поспособствуют неосознанному формированию правильной привычки людей.

Список литературы

1. Экологическое движение // Раздельный сбор // URL: https://rsbor.ru/projects/research/ (Дата обращения 1.10.2026г.)

2. Наумик Н.А. //Раздельный сбор мусора как психологическая проблема // URL: https://school-science.ru/14/8/49769?ysclid=mvfpdyskpv52215096 (Дата обращения 1.10.2026г.)

3. Шелехова М. // Раздельный сбор мусора: как не запутаться в цветах контейнеров // URL: https://gortorgsnab.ru/articles/razdelnyy-sbor-musora-kak-ne-zaputatsya-v-tsvetakh-konteynerov/ (Дата обращения 1.10.2026г.)

4. Один серый, другой синий: как и зачем сортировать отходы в России URL: https://green.reo.ru/howto/tpost/5cfez7iaa1-odin-serii-drugoi-sinii-kak-i-zachem-sor (Дата обращения 1.10.2026г.)

5. Преликова Е.А. Эколого-экономические приоритеты раздельного сбора отходов: [арх. 17 июля 2019] / Е.А. Преликова, В.В. Юшин, Ю.В. Вертакова // Лесотехнический журнал. – 2019. – С.27-29.

6. Алексеенко В.Б. Эколого-экономическое обоснование применения раздельного сбора ТБО: [арх. 25 февраля 2020] / В.Б. Алексеенко, Н.Ю. Сопилко, А.К. Балалаев, С.М. Лисицкая // Вестник Российского университета дружбы народов. – 2009. – С. 36-44.

ГАРМОНИЧНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АРХИТЕКТУРЫ С ПРИРОДНЫМИ СТИХИЯМИ (СОЛНЦЕ, ВОЗДУХ, РАСТИТЕЛЬНОСТЬ, ОГОНЬ, ВОДА, ЗЕМЛЯ)

С.С. Цесько
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Статья посвящена изучению вопросов гармоничного взаимодействия архитектуры с элементами природы, такими как солнце, воздух, растительность, огонь, вода и земля.*

Архитектура всегда существовала в диалоге с природой: человек строил укрытия от ветра и дождя, использовал тепло солнца, опирался на рельеф и материалы местности. Гармоничное взаимодействие с природными стихиями – это не просто эстетика, а основа устойчивой, функциональной и долговечной среды.

Солнечная энергия задаёт настроение фасадов, а также напрямую диктует, как здание будет работать: сколько тратить на отопление, не перегреется ли летом, насколько комфортно будет внутри.

Окна-экраны, солнечные панели – всё это способы «подружиться» со светом и теплом, чтобы снизить зависимость от искусственных источников энергии и создать комфортный микроклимат.

Воздух – это и климат, и ресурс для естественной вентиляции, и фактор нагрузок на конструкции. Ветрозащиту обеспечивают плотной застройкой с наветренной стороны, зелёными экранами, ветрозащитными стенами. В то же время в жарком климате используют продуваемые дворы и галереи для естественного охлаждения. А продуманные проёмы, шахты, атриумы и перепады высот создают тягу без энергозатрат. Это особенно важно для общественных зданий и жилых комплексов.

Если на участке есть крупные растительность, кустарники или ценные

растения, их положение напрямую диктует, где разместить дом, дорожки, зоны отдыха. Иногда архитекторы «обходят» старые деревья, а в частных проектах создают внутренний дворик вокруг ствола. Если планируется «зелёное» решение (экстенсивная или интенсивная зелёная крыша, вертикальный сад), нужно заложить дополнительную нагрузку на несущие конструкции.

Растения создают тень, влияют на температуру и влажность вокруг здания. При проектировании учитывают, как зелень будет менять световой режим помещений (например, не закроет ли дерево окна гостиной в зимний период), и как это скажется на энергопотреблении (нужна ли дополнительная теплоизоляция или системы вентиляции)

В архитектуре «огонь» чаще всего понимается в контексте пожарной безопасности. В строительстве используют огнезащиту (облицовки, штукатурки, вспучивающиеся покрытия), так как у разных материалов разная огнестойкость. Здания делят на пожарные отсеки противопожарными стенами и перекрытиями с нормируемыми пределами огнестойкости. Делают несколько рассредоточенных эвакуационных выходов, чтобы при пожаре можно было уйти альтернативными путями.

Вода в грунте (грунтовые воды, верховодка, капиллярная влага) напрямую определяет тип и глубину фундамента, а также необходимость защитных мероприятий. Также она ускоряет старение материалов, поэтому выбор делают с учётом влагостойкости и морозостойкости.

Земля в архитектуре – это и основание, и часть формы здания. Взаимодействие с рельефом позволяет снизить энергозатраты, повысить устойчивость и органично вписать объект в ландшафт. На крутых склонах применяют ступенчатую застройку или подпорные стены, чтобы уменьшить объём земляных работ и сохранить естественный дренаж. В частном и малоэтажном строительстве это ещё и способ органично вписать дом в ландшафт.

В заключение необходимо отметить, что гармоничное взаимодействие архитектуры с природными стихиями – это синтез науки, инженерии и искусства. Учёт рельефа, климата, водных и ветровых режимов, солнечной радиации позволяет создавать здания, которые не противостоят природе, а сотрудничают с ней. Такой подход снижает эксплуатационные затраты, повышает комфорт и долговечность, уменьшает экологический след.

В архитектуре это необходимость междисциплинарной работы: климатология, геология, теплотехника, светотехника и экология становятся неотъемлемой частью проектирования. Именно в этом балансе рождается устойчивая и человечная среда.

Список литературы

1. Дорожкина Е.А. Конструктивные проблемы «зеленой» архитектуры / Е.А. Дорожкина // журнал Урбанистика, 2017. – №3. – С. 45-49.

2. Пушилина Ю.Н. Экологические основы архитектурного проектирования: учеб. пособие / Ю.Н. Пушилина. – Тула: Аквариус, 2015. – С.44-47.

3. Павлова В.А. Зеленые технологии и природа внутри здания / В.А. Павлова, А.А. Кашицына // Московский архитектурный институт (государственная академия). – Москва, 2019. – С.45.

4. Долаева З.Н. Экологическое строительство / З.Н. Долаева, А.М. Капланова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2022. – № 47 (442). – С. 60-62. – URL: https://moluch.ru/archive/442/96742.

5. Винницкий М.В. Аквaморфная эстетика в архитектуре прибрежных ареалов водоемов / М.В. Винницкий, Е.А. Ржакова // журнал академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. – 2024. – № 4. – С. 17-22.

ОЗЕЛЕНЕНИЕ ЗДАНИЙ И УЛИЦ КАК ЭЛЕМЕНТ ЗЕЛЁНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА

С.Е. Сапронова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматривается роль озеленения зданий и улиц в формировании комфортной и устойчивой городской среды. Анализируются основные функции зелёных насаждений, включая улучшение микроклимата, снижения уровня шума и запылённости, защиту от перегрева и создание комфортных общественных пространств. Рассматриваются современные приёмы озеленения зданий.*

Современный город представляет собой сложную систему, в которой архитектура, транспорт, общественные пространства и природные компоненты должны взаимодействовать между собой. Одним из главных компонентов этой системы является озеленение. Однако зачастую оно воспринимается только как декоративный элемент: высадить деревья вдоль дороги, постелить газон или разместить цветники.

Основная проблема заключается в том, что озеленение зданий и улиц часто проектируется отрывочно, без связи с архитектурой, транспортом, пешеходными маршрутами и общей системой зелёных пространств города. В результате отдельные растения не формируют полноценной комфортной среды.

В условиях плотной застройки сокращается количество свободных территорий, а площадь асфальта и бетона увеличивается. Это приводит к перегреву городской среды, ухудшению качества воздуха и снижению комфорта для пешеходов.

Правильно организованное озеленение способно одновременно выполнять несколько функций: очищать воздух от пыли, снижать температуру, создавать тень, уменьшать шум, защищать от ветра и формировать места для отдыха.

Таким образом, зелёные насаждения необходимо рассматривать не как украшение, а как часть экологической и социальной инфраструктуры города.

При недостатке свободных территорий часть озеленения можно переносить непосредственно на здания. Одним из наиболее распространённых

приёмов является вертикальное озеленение, которое применяется на фасадах, балконах, лоджиях и террасах.

Можно выделить несколько основных решений:

* зелёный фасад – использование вьющихся растений, формирующих растительный покров;

* «вертикальный лес» – размещение деревьев и кустарников на балконах и террасах.

* зелёная стена – вертикальные модули или контейнеры с растениями;

Однако такие решения требуют инженерного обоснования. Необходимо предусматривать системы полива и дренажа, учитывать нагрузку на конструкции, возможность обслуживания фасада и требования пожарной безопасности. Также учтем и достаточно высокую стоимость данного решения.

Поэтому вертикальное озеленение должно закладываться уже на стадии архитектурного проектирования, а не добавляться к готовому зданию.

Не менее важную роль играет озеленение улиц. Деревья и кустарники могут формировать зелёные коридоры, связывающие различные общественные пространства города.

Для этого используются аллеи, бульвары, рядовые посадки деревьев, живые изгороди, газоны, цветники и озеленённые разделительные полосы. Особенно эффективны посадки между проезжей частью и тротуаром: они одновременно создают тень, защищают пешеходов от шума и пыли и визуально отделяют транспортную зону.

При выборе растений необходимо учитывать климат, загрязнение воздуха, состояние почвы, потребность во влаге и размеры растения во взрослом состоянии. Также важно следить, чтобы деревья не закрывали окна зданий, не мешали движению и не повреждали инженерные сети.

Современный подход предполагает переход от отдельных зелёных участков к непрерывной системе озеленения. Парк может соединяться с жилым районом через бульвар, затем бульвар – с озеленённой улицей и дворами жилых домов.

Так формируется зелёный каркас города, который одновременно улучшает экологию и создаёт комфортные пешеходные маршруты.

Особенно важно связывать озеленение с общественными пространствами: площадями, остановками, детскими и спортивными площадками, зонами отдыха и входами в общественные здания.

Основная проблема заключается не только в количестве зелёных насаждений, а в отсутствии комплексного подхода к их проектированию.

Зачастую сначала проектируются здания, дороги и парковки, а озеленению отводятся оставшиеся свободные участки. В результате растения размещаются там, где осталось место, а не там, где они могли бы максимально улучшить микроклимат и комфорт городской среды.

Поэтому необходимо перейти от принципа «посадить растения» к принципу «спроектировать зелёную инфраструктуру».

Озеленение зданий и улиц влияет не только на внешний облик города, но

и на его экологическое состояние, микроклимат и комфорт жителей.

Эффективная система должна объединять деревья, кустарники, газоны, вертикальное озеленение, дворы, улицы, скверы и парки в единую структуру. При этом необходимо учитывать климат, инсоляцию, безопасность, инженерные требования и последующий уход.

Таким образом, озеленение – это не декоративное дополнение к архитектуре, а полноценный инструмент формирования устойчивой, комфортной и здоровой городской среды.

Список литературы

1. Бирюков Л.Е. Основы планировки и благоустройства населенных мест и промышленных территорий: учеб. пособие для вузов / Л.Е. Бирюков. – М.: Высшая школа, 1978. – 232 с.

2. Боговая И.О. Озеленение населенных мест / И.О. Боговая, В.С. Теодоронский. – Лань, 2010. – 240 с.

3. Бутусов Х.А. Элементы благоустройства сельских населенных мест / Х.А. Бутусов, Ю.А. Новоселов, С.П. Гапон. – Россельхозиздат,1981. – 120 с.

4. Бутягин В.А. Планировка и благоустройство городов / В.А. Бутягин. – Стройиздат, 1974. – С.5.

5. Велихов Л.А. Основы городского хозяйства / Л.А. Велихов. – М.: Наука, 1996. – 470 с.

6. Горбачев В.Н. Архитектурно-художественные компоненты озеленения городов / В.Н. Горбачев. – Издательство: Высшая школа, 1983 г. 207 с.

7. Горохов В.А. Инженерное благоустройство городских территорий [Текст]: учеб. пособие для вузов по спец. «Гор. стр-во» / В.А. Горохов, Л.Б. Лунц, О.С. Расторгуев, под общ. ред. Д.С. Самойлова, 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 389 с.

8. Горохов В.А. Инженерное благоустройство городских территорий и населенных мест / В.А. Горохов, О.С. Расторгуев. – 4-е Изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1994. – 457 с.

9.Денисов В.Н., Денисов И.Н., Благоустройство жилых территорий [Текст] / В.Н. Денисов, И.Н. Денисов, Половцев, А.И. Макаров, В.Т. Евдокимов. – СПб.: МАНЭБ, 2004. – 94 с.

10. Николаевская И.А. Благоустройство городов [Текст]: учебник для строит. техникумов / И.А. Николаевская, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая шк., 1990. – 159 с.

11. Николаевская И.А. Благоустройство территорий [Текст]: учеб. пособие для сред. проф. образования / И.А. Николаевская. – 3-е изд., стер. – М.: Академия, 2007. – 268 с.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ЭЛЕМЕНТЫ ЛАНДШАФТА

Е.К. Сибилева
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматриваются понятие пространственного разнообразия ландшафта, основные природные и антропогенные элементы его структуры, а также их значение для устойчивости экосистем и сохранения биологического разнообразия. Анализируются влияние фрагментации местообитаний, возможности оценки ландшафтной неоднородности с использованием геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования, а также подходы к экологически обоснованному планированию территорий.*

Ландшафт представляет собой территориальный комплекс, в пределах которого взаимосвязаны рельеф, климатические условия, воды, почвы, растительность, животный мир и деятельность человека. Его экологические свойства определяются не только набором компонентов, но и тем, как они распределены в пространстве, каковы их размеры, форма, взаимное расположение и степень связанности. Поэтому пространственное разнообразие следует рассматривать как важную характеристику организации ландшафта, влияющую на движение воды и веществ, локальные микроклиматические условия, распространение организмов и способность территории сохранять свои функции при внешних воздействиях. С.В. Осипов подчёркивает необходимость единого подхода к классификации природных, изменённых и полностью преобразованных ландшафтных комплексов, поскольку в реальной среде естественные и созданные человеком элементы нередко функционируют в составе одной системы [3].

Пространственное разнообразие проявляется на нескольких уровнях. На локальном уровне оно выражается в чередовании влажных и сухих участков, лесных опушек, лугов, водоёмов, склонов с различной экспозицией и участков с неодинаковыми почвенными условиями. На региональном уровне важны соотношение лесных массивов, сельскохозяйственных земель, рек, болот, населённых пунктов и других типов землепользования. Важны как состав территории, то есть наличие разных типов природных и антропогенных участков, так и конфигурация: крупные ли они, вытянутые или компактные, изолированы ли друг от друга и имеются ли между ними экологические связи. При этом высокое разнообразие само по себе не всегда означает высокое качество среды: множество мелких фрагментов, разделённых дорогами и застройкой, может свидетельствовать о разрушении целостных местообитаний. Экологическая оценка должна учитывать одновременно разнообразие, состояние и связность элементов ландшафта.

В ландшафтной экологии территорию часто рассматривают как сочетание трёх основных элементов: отдельных участков, экологических коридоров и матрицы. Участки – это отдельные природные территории, например леса, луга или болота, которые служат местом обитания и размножения живых организмов.

Экологические коридоры связывают такие территории между собой и помогают животным и растениям перемещаться между ними. Примерами коридоров могут быть растительность вдоль рек, лесополосы и живые изгороди. Матрица – это основной тип территории, окружающий участки и коридоры. Например, в сельской местности матрицей могут быть поля, а в городе – здания и дороги. На границах разных природных сред, например между лесом и лугом, образуются переходные зоны, называемые экотонами. В таких зонах могут различаться освещённость, влажность, температура и виды организмов. Экотоны способны создавать условия для обитания дополнительных видов, однако изменение природной среды может отрицательно влиять на организмы, чувствительные к таким изменениям.

Структура ландшафта влияет на устойчивость экосистем и состояние биоразнообразия. Разнообразие рельефа, почвенных условий и микроклимата позволяет существовать видам с различными экологическими требованиями. Даже небольшие природные элементы в преобразованных человеком территориях могут служить убежищами для растений и животных. Так, исследование небольших природных форм рельефа на равнинных территориях показало, что различия экспозиции склонов, температуры, влажности и свойств почв создают в пределах небольшой площади разные микроместообитания и поддерживают специфические сообщества растений [4]. В то же время уничтожение местообитаний и их разделение на изолированные участки затрудняют перемещение организмов, уменьшают доступные ресурсы и усиливают краевые эффекты. Обобщение долгосрочных исследований фрагментации демонстрирует, что её последствия могут выражаться в снижении биоразнообразия и нарушении экосистемных функций, включая накопление биомассы и круговорот питательных веществ [5]. Следовательно, сохранение пространственного разнообразия должно сочетаться с поддержанием достаточно крупных природных территорий и экологических связей между ними.

Для изучения ландшафтной структуры применяются полевые наблюдения, картографический анализ, геоинформационные системы (ГИС), а также материалы спутниковой и беспилотной съёмки. Данные дистанционного зондирования позволяют выявлять типы растительного покрова, оценивать состояние участков и отслеживать изменения землепользования на больших территориях. В работе А.Г. Осипова, В.В. Дмитриева и В.Ф. Ковязина предложена методика анализа экосистемного разнообразия ландшафтов с использованием цифровых моделей рельефа, автоматизированного распознавания растительности и вегетационных индексов; её апробация проводилась на территории Ленинградской области [2]. Количественные показатели целесообразно дополнять качественной оценкой состояния экосистем, полевыми обследованиями и анализом связности. Э.А. Лозбенева отмечает, что при оценке ландшафтов следует учитывать не только отдельные измеряемые характеристики, но и общую структуру территории, разнообразие перспектив, растительности, рельефа и степень антропогенного преобразования [1]. Совместное применение этих подходов позволяет различать природное

разнообразие, поддерживающее экологические процессы, и искусственное дробление территории, которое может снижать её функциональную целостность.

Практическая охрана пространственного разнообразия предполагает учёт ландшафтной структуры при размещении жилья, дорог, промышленных объектов и сельскохозяйственных угодий. В первую очередь необходимо сохранять крупные массивы естественной растительности, водно-болотные угодья, речные долины и другие участки, имеющие важное значение для поддержания местообитаний и регулирования водного режима. Между разобщёнными природными территориями целесообразно сохранять или восстанавливать экологические коридоры – прибрежные полосы, лесополосы, полосы естественной растительности вдоль полей и небольшие природные участки. При этом проектные решения должны учитывать местные условия: один и тот же элемент может выполнять разные функции в лесном, сельскохозяйственном или городском ландшафте. В населённых пунктах значимую роль играют парки, водоёмы, озеленённые улицы и непрерывные зелёные маршруты; в аграрных районах – защитные полосы, луга, небольшие водоёмы и сохранённые участки естественной растительности. Эффективность мер следует оценивать не только по площади озеленения или числу природных объектов, но также по их состоянию, взаимному расположению и способности поддерживать экологические процессы.

Как итог, пространственное разнообразие и элементы ландшафта формируют единую систему, от которой зависят условия обитания видов, устойчивость природных процессов и степень воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду. Для экологически обоснованного управления недостаточно учитывать отдельные компоненты территории: необходимо исследовать их сочетания, размеры, конфигурацию, состояние и связность. Совмещение полевых исследований, ГИС-технологий и дистанционного зондирования помогает выявлять ценные участки, оценивать трансформацию ландшафтов и обосновывать меры по сохранению природных связей. При планировании территорий приоритет следует отдавать сохранению крупных природных массивов, защите малых местообитаний и восстановлению экологических коридоров. Такой комплексный подход позволяет согласовать хозяйственное освоение с задачами сохранения биоразнообразия и поддержания экологической устойчивости ландшафтов.

Список литературы.

1. Лозбенева Э.А. Методические подходы к оценке эстетических свойств ландшафтов / Лозбенева Э.А. // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2022. – Т. 30, № 2. – С. 116-126.

2. Осипов А.Г. Методика анализа экосистемного разнообразия ландшафтов региона по материалам дистанционного зондирования / А.Г. Осипов, В.В. Дмитриев, В.Ф. Ковязин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331, № 10. – С. 49-57.

3. Осипов С.В. О единой классификации природных и антропогенных ландшафтных комплексов / С.В. Осипов // Известия РАН. Серия географическая. – 2023. – Т. 87, № 2. – С. 322-336.

4. Deák B. Linking environmental heterogeneity and plant diversity: The ecological role of small natural features in homogeneous landscapes / B. Deák [et al.] // Science of the Total Environment. – 2021. – Vol. 763.

5. Haddad N. M. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems / N.M. Haddad [et al.] // Science Advances. – 2015. – Vol. 1, No. 2.

ОЗЕЛЕНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КАК СРЕДСТВО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ

Е.С. Плясунова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматривается озеленение городской территории как одно из средств экологической компенсации негативного воздействия градостроительной деятельности. Анализируются экологические, санитарно-гигиенические и социальные функции зеленых насаждений, а также основные приемы их использования в архитектурно-градостроительном проектировании. Особое внимание уделяется сохранению существующей растительности, компенсационной высадке деревьев и формированию устойчивой зеленой инфраструктуры города.*

Городская среда представляет собой сложную систему, в которой природные и антропогенные компоненты находятся во взаимодействии. Развитие территорий, строительство зданий, создание транспортных магистралей и инженерных коммуникаций способствуют развитию инфраструктуры, однако одновременно приводят к сокращению площади естественных ландшафтов, увеличению количества искусственных покрытий и изменению экологических условий города.

Одним из доступных средств снижения негативного воздействия градостроительной деятельности является озеленение. Зеленые насаждения формируют благоприятный микроклимат, способствуют снижению уровня шума, задержанию пыли и части загрязняющих веществ, а также создают затененные пространства. Данные функции позволяют рассматривать озеленение как важную составляющую качества городской среды [1; 4].

Особое значение озеленение приобретает при увеличении площади застройки и сокращении территорий с естественным почвенным покровом. Газоны, древесно-кустарниковые группы и зеленые полосы способствуют задержанию атмосферных осадков и уменьшению объема дождевой воды, стекающей по поверхности земли. Благодаря этому зеленые территории могут снижать нагрузку на системы отвода дождевых вод и вероятность локального подтопления. Таким образом, озеленение выполняет не только декоративную, но и водорегулирующую функцию [3].

В архитектурно-градостроительном проектировании озеленение может

рассматриваться как часть зеленой инфраструктуры города. К ее основным элементам относятся парки, скверы, бульвары, городские леса, озелененные дворы, защитные полосы и прибрежные территории. Их взаимосвязанная система формирует экологический каркас города и участвует в организации комфортной городской среды [1].

При проведении строительных и реконструктивных работ возникает необходимость удаления существующих зеленых насаждений. В таких случаях применяется компенсационное озеленение, направленное на восстановление озелененных территорий взамен утраченных. Например, нормативные документы Москвы предусматривают проведение компенсационного озеленения при утрате зеленых насаждений в процессе градостроительной деятельности [2].

Однако компенсационное озеленение не должно сводиться только к количественному подсчету высаженных деревьев. При оценке утраченных насаждений целесообразно учитывать их возраст, размер, состояние, площадь кроны, породный состав и экологическую значимость. Возрастное дерево, сформировавшее полноценную тень и являющееся частью городской экосистемы, невозможно полностью заменить небольшим саженцем сразу после его посадки. Поэтому важными условиями компенсации являются не только количество посадочного материала, но и качество последующего ухода [2; 4].

Важным принципом экологически ориентированного проектирования является сохранение существующих деревьев. Архитектурно-планировочные решения следует разрабатывать с учетом расположения ценных насаждений. Корректировка формы здания, перенос проездов и инженерных сетей, а также организация защитных зон позволяют уменьшить объем вырубки и сохранить природный потенциал территории [3; 4].

При создании новых зеленых территорий необходимо учитывать климатические условия, состав почвы, степень освещенности, ветровой режим и интенсивность использования территории. Предпочтение следует отдавать растениям, устойчивым к городским условиям.

Использование многоуровневых посадок, включающих деревья, кустарники и травянистые растения, позволяет сформировать более устойчивую и разнообразную зеленую среду, чем преимущественное использование газонов [3; 4]. Зеленые насаждения улучшают микроклимат, регулируют сток дождевых вод, способствуют снижению загрязнения воздуха, поддерживают разнообразие видов и создают условия для отдыха населения. Эффективность озеленения зависит от комплексного подхода, включающего сохранение существующей растительности, грамотное размещение новых насаждений, подбор устойчивых видов и организацию последующего ухода.

В итоге современное озеленение должно рассматриваться не как второстепенное благоустройство, выполняемое после завершения строительства, а как равноправная часть архитектурно-планировочного решения. Только при таком подходе возможно сформировать городскую среду, сочетающую функциональность, визуальную привлекательность и экологическую устойчивость.

Список литературы

1. Котлярова С.Н. Зеленая инфраструктура городской среды: проблемы оценки / С.Н. Котлярова // Экономика и управление. – 2020. – Т. 26, № 10. – С. 1102-1108. – DOI: 10.35854/1998-1627-2020-10-1102-1108.

2. Постановление Правительства Москвы от 29.07.2003 № 616-ПП «О совершенствовании порядка компенсационного озеленения в городе Москве» (с изменениями и дополнениями).

3. Приказ Госстроя РФ от 15.12.1999 № 153 «Об утверждении Правил создания, охраны и содержания зеленых насаждений в городах Российской Федерации».

4. Нефёдов В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды / В.А. Нефёдов. – СПб., 2002. – 295 с.

ОРГАНИЧНОЕ ВПИСЫВАНИЕ ЗДАНИЙ В ОКРУЖАЮЩЕЕ ПРОСТРАНСТВО

К.Б. Чайка
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматриваются принципы органичного вписывания зданий в окружающее пространство, анализируются архитектурные приёмы взаимодействия с природным ландшафтом, включая использование рельефа, растительности, естественного освещения и природных материалов. Особое внимание уделяется преимуществам и ограничениям различных подходов, а также возможностям применения современных архитектурных решений с учётом особенностей территории, экологических требований и потребностей человека.*

Архитектура меняет пространство, в котором существует человек. Однако удачное здание не обязательно должно становиться главным объектом окружающего пейзажа. Иногда его выразительность заключается именно в том, насколько естественно оно взаимодействует с природой, рельефом и существующей застройкой. Такой подход лежит в основе органической архитектуры – направления, в котором здание рассматривается не как самостоятельный объект, а как часть более сложной среды.

Органичное вписывание в ландшафт не сводится к использованию натуральных материалов или озеленению фасадов. Оно начинается задолго до строительства – с изучения места. Рельеф, направление солнечного света, движение воздуха, характер растительности и даже привычные маршруты людей могут влиять на расположение здания и его форму. Вместо того чтобы полностью подчинять территорию архитектурному замыслу, проектировщик ищет решение, позволяющее использовать её особенности.

Например, на участке с выраженным перепадом высот здание можно расположить ступенчато, повторяя линии склона. В лесной местности – сохранить часть существующих деревьев и включить их в композицию двора.

В городской среде задача будет иной: здесь важно учитывать масштаб соседних сооружений, характер улиц и сложившуюся архитектурную идентичность. Во всех случаях речь идёт не о копировании окружения, а о поиске равновесия между новым объектом и уже существующим пространством.

Одним из наиболее известных примеров такого взаимодействия стал «Дом над водопадом» Фрэнка Ллойда Райта в американском штате Пенсильвания. Построенный в 1930-х годах, он расположен непосредственно над водным потоком среди леса и скал. Горизонтальные бетонные террасы выступают над окружающим ландшафтом, а каменные элементы перекликаются с природной фактурой участка. Вода здесь не просто создаёт красивый вид из окна: её присутствие определяет восприятие дома и становится частью повседневного опыта его обитателей. Архитектура не пытается раствориться в природе, но вступает с ней в выразительный диалог.

Этот пример показывает важную особенность органического подхода: гармония не означает незаметность. Здание может обладать ярким характером, необычной формой и современной конструкцией, оставаясь при этом связанным с местом. Иногда такую связь создаёт композиция объёмов, иногда – материал, цвет или расположение окон. Важен не отдельный приём, а то, насколько обоснованно он выбран.

Другой путь интеграции архитектуры в окружающую среду – использование самого рельефа в качестве элемента проекта. Например, дом Green Line в Польше, созданный бюро Mobius Architekci, частично скрыт в ландшафте и имеет озеленённую крышу. Растительный покров визуально объединяет сооружение с окружающей территорией, а архитектурные решения отсылают к традиционным сельским постройкам региона. Благодаря этому дом воспринимается не как случайно появившийся на участке объект, а как продолжение местного ландшафта и архитектурного контекста.

Озеленённые крыши и фасады стали одним из заметных инструментов современной архитектуры. Они помогают связывать постройки с природным окружением, особенно в условиях плотной городской застройки, где площадь открытого грунта ограничена. При грамотном устройстве такие поверхности способны задерживать часть дождевой воды и уменьшать нагрев кровли. Однако зелёная крыша – не универсальное решение: она требует расчёта нагрузки на конструкции, качественной гидроизоляции, дренажа и подходящих растений. Без этих условий визуальный эффект может оказаться кратковременным, а эксплуатация – слишком затратной.

Не менее важна связь здания с окружающей средой через свет и открытые пространства. Террасы, внутренние дворики, панорамные окна и переходы между помещениями и садом позволяют включить пейзаж в архитектурную композицию. При этом чрезмерное остекление не всегда оправданно: в зависимости от климата оно может приводить к перегреву помещений летом и увеличению теплопотерь зимой. Поэтому задача архитектора состоит не в том, чтобы максимально открыть здание природе, а в том, чтобы сделать это с учётом реальных условий эксплуатации.

Показателен и отель Amangiri в штате Юта, США. Его архитектура формируется во взаимодействии с пустынным ландшафтом: сдержанная цветовая гамма, бетонные поверхности и лаконичные объёмы перекликаются с окружающими скалами. Проект не имитирует природные формы буквально, но учитывает их масштаб и выразительность. Это иной способ органичной интеграции: вместо озеленения и визуального растворения в природе используется точное соответствие архитектурного образа характеру местности.

Подобные решения имеют значение не только для внешнего облика зданий. Правильная ориентация помещений, использование дневного света, естественного проветривания и защита от прямого солнечного излучения могут снижать потребность в искусственном освещении и кондиционировании. Сохранение деревьев и естественного рельефа помогает уменьшить вмешательство в существующую экосистему. В городах озеленённые дворы и крыши дополнительно создают пространства для отдыха и смягчают визуальную плотность застройки.

При этом экологичность архитектуры нельзя оценивать исключительно по внешнему виду. Натуральные материалы могут требовать сложного ухода, озеленение – дополнительного полива, а необычные конструкции – увеличенных затрат на строительство и ремонт. Поэтому органичное проектирование предполагает оценку не только эстетического результата, но и всего жизненного цикла здания: от выбора материалов до дальнейшей эксплуатации.

В конечном счёте архитектура становится частью окружающего пространства тогда, когда учитывает его особенности, а не пытается без необходимости их преодолеть. Для этого не требуется отказываться от современных форм или стремиться полностью скрыть здание среди деревьев. Гораздо важнее найти точное решение для конкретного места — такое, при котором сооружение сохраняет собственную выразительность, поддерживает характер ландшафта и остаётся комфортным для человека.

Список литературы

1. *Лозбенева Э.А. Методические подходы к оценке эстетических свойств ландшафтов / Э.А. Лозбенева // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2022. – Т. 30, № 2. – С. 116-126.*

2. Осипов С.В. О единой классификации природных и антропогенных ландшафтных комплексов / С.В. Осипов // Известия РАН. Серия географическая. – 2023. – Т. 87, № 2. – С. 322-336.

3. ARCHITIME.RU. Материал об архитектуре и ландшафте: https://www. architime. ru/ specarch/top_10_landscape/architecture_and_landscape.htm.

4. Losko. «5 признаков органической архитектуры»: https://losko.ru/5-signs-of-organic-architecture/

5. SCI-ARTICLE.RU. Научная публикация: https://sci-article.ru/stat.php?i= 1703527414.

6. Dlubal. Материал об органической архитектуре: https://www.dlubal. com/ ru/ novosti-i-sobytija/novosti/blog/000137.

АНАЛИЗ ИСТОРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ САДОВ, ПАРКОВ И ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

А.В. Белоусова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье исследуется тема возникновения садов, парков и озеленения, включая анализ исторических причин их формирования, систематизацию факторов, влияющих на развитие и изменение структуры и функций, а также выявление современных проблем и способов их решения.*

Сады, а затем и парки стали неотъемлемой частью жизни человека ещё с древнейших времен. Их возникновение связано одновременно и с материальной, и с духовной потребностями человека. Сады позволяли собирать урожай фруктов, укрываться от палящего солнца, делать в засушливых регионах более влажный климат. Они были центральным элементом, создающим эстетически приятную среду и атмосферу уединенности с природой, то есть способствовали формированию комфортных условий существования.

Чтобы понимать логику современных тенденций развития садов и парков, рассмотрим несколько исторических периодов их формирования. В Древнем Египте парки делились на три типа: сады в дворцово-храмовых комплексах, в резиденциях фараонов и могильные сады. Основной их функцией была идеализация загробной жизни, также немаловажное место отводилось религиозно-ритуальной функции. Яркий пример такого сада – сад при храме Амона-Ра в Карнаке (рис. 1), где аллеи из фиговых пальм и платанов посвящены богине Хатхор. Там выращивали цветы для религиозных ритуалов (тмин, анис, кориандр), а в тенистых уголках жили священные животные, такие как ибисы и павианы.



Рис. 1. Сад при храме Амона-Ра в Карнаке

В эпохе Возрождения мастера черпали вдохновение в садах Древней Греции и Рима. Активно использовались античные статуи, фонтаны, каскады. Религиозная символика сохранила свое влияние при проектировании садов. Одним из примеров может служить сад у виллы д'Эсте в Тиволи (рис. 2) с огромным количеством фонтанов, а ключевой элемент – статуя Геракла, от которой вели две дороги: одна – к Добродетели, другая – к Пороку. На центральной оси стоит статуя Венеры, воплощающая собой возможность выбора между Любовью Земной и Небесной.



Рис. 2. Сад у виллы д'Эсте в Тиволи

В эпоху промышленной революции сильно поменялось отношение к садам. Религиозные сюжеты стали уходить на второй план, с ростом населения, в том числе и рабочего, всё более острой становилась потребность в местах отдыха для широких слоев населения. Так начали появляться общественные парки – крупные озелененные участки, доступные для отдыха всех горожан. Для улучшения условий труда промышленники обустраивали парковые зоны рядом со своими фабриками. Массово начали появляться сады при больницах. Примером такого парка является Центральный парк в Нью-Йорке (рис. 3). Парк обустроен так, чтобы сделать максимально комфортную среду для отдыха и прогулок, где отсутствуют религиозные статуи, сюжеты и особые смыслы. Дорожки сделаны так, чтобы «спрятать» городское движение внутри парка. Устроены водоемы (самый крупный – водохранилище Жаклин Кеннеди Онассис), лужайки, зоопарк и спортивные площадки.

Какие же тенденции развития современных садов и парков можно выявить, оглядываясь на многовековой опыт и историю? С развитием технологий естественный рельеф дополняется искусственным. Идет развитие парков на рекультивируемых территориях (карьерах и оврагах), вводятся элементы геопластики. На смену религиозности, потерявшей свою функциональную актуальность в сфере садово-паркового искусства, пришла экологизация – идея о сохранении и воссоздании естественного ландшафта.



Рис. 3. Центральный парк в Нью-Йорке

В следствие расширения крупных городов остро встает вопрос территории, а точнее ее отсутствия. В больших городах с плотной застройкой места для озеленения почти нет, поэтому для выхода из такой ситуации и экономии земли парки размещают не только на «земле», но и на крышах зданий (рис. 4), что позволяет сэкономить огромное количество пространства, занимаются устройством озелененной кровли над подземными объектами и проектированием мини-парков.



Рис. 4. «Зеленая крыша»



Рис. 5. Paley Park

Мини-парки – одно из самых ярких явлений современной ландшафтной архитектуры. Это высокотехнологичные и концептуальные озелененные территории небольшой площади, где в организации пространства задействован каждый квадратный метр, имеющий свою автономную функциональную значимость. Первый мини-парк площадью 390 кв. метров открылся в 1967 году в Нью-Йорке на Манхэттене (рис. 5). Появление мини-парков в контексте вопроса современного озеленения ознаменовало переход к функциональному эко-урбанизму, когда фокус с гигантских парковых пространств переходит к локальным «точкам» благоустройства внутри уплотненной застройки (рис. 6, 7). Внимание здесь уделяется не масштабу, а текстурам, деталям и атмосфере. Основными инструментами создания мини-парков являются легкая

трансформируемая мебель, арт-объекты, умный свет и вертикальное озеленение, решающее проблему дефицита площади. Немаловажным фактором является экологическая роль таких пространств: это локальное снижение теплового эффекта в городской застройке, а также организация сбора и фильтрации дождевой воды. Но для городского жителя мини-парки – это в первую очередь способ «перезагрузки» в течение перенасыщенного информацией буднего дня. Даже кратковременный отдых, например по пути на работу, является необходимым для стабильного психологического состояния современного человека. А благодаря своей компактности, мини-парки можно размещать достаточно часто, чтобы каждый желающий имел возможность погрузиться в атмосферу уединения с природой в удобный ему момент.





Рис. 6, 7. Мини-парки в городской застройке

Но несмотря на многостороннее развитие современного озеленения, замечается возврат к традициям, например создание озелененных внутренних дворов – патио, вышеуказанные «зеленые крыши», применение топиарного искусства и т.д. Примером такого сада служит московский парк «Зарядье», в котором создается гармоничный союз природы, истории и технологий. В нем устроены ландшафтные зоны, множество различных павильонов и «парящий мост» - смотровая площадка.

Исходя из всего перечисленного можно сказать, что современное садово-парковое искусство продолжит развиваться, опираясь на традиции и опыт предыдущих поколений. Но появление всё большего количества современных экологических проблем требует предусмотрения новых актуальных решений. Поэтому создание садов и парков будет продолжать совершенствоваться, стараясь сделать среду проживания горожан всё более экологически чистой, комфортной и доступной.

Список литературы

1. Пушилина Ю.Н. Комплексный подход к созданию и благоустройству среды, окружающей человека / Ю.Н. Пушилина // Инновационные наукоемкие технологии: доклады VI международной научно-практической конференции; под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Инновационные технологии, 2019. – С. 57-60.

2. Пушилина Ю.Н. Применение зеленых насаждений в архитектуре / Ю.Н. Пушилина // Инновационные наукоемкие технологии: доклады VI международной научно-практической конференции; под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Инновационные технологии, 2019. – С.47-50.

3. https://ru.wikipedia.org (дата обращения 01.10.2026.)

4. Белова А.А. Экологическое строительство: западный и российский опыт [Электронный ресурс] / А.А. Белова // RMNT. RU https://www.rmnt. ru/story/realty/ekologicheskoe-stroitelstvo-zapadnyy-irossiyskiy-opyt. 367711/ (дата обращения 01.10.2026.)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АРХИТЕКТУРНОГО, ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО И ДИЗАЙНЕРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ

А.А. Бихнер
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматриваются экологические методы архитектурного, градостроительного и дизайнерского проектирования, направленные на устойчивое территориальное развитие городов. Особое внимание уделяется формированию зелёной инфраструктуры, сохранению природных компонентов городской среды, рациональному использованию земельных ресурсов и экологической компенсации.*

Современный город подразумевает под собой сложную систему, в которой природные и антропогенные компоненты находятся в непрерывном взаимодействии. Строительство зданий, а также развитие инфраструктуры приводят к уменьшению естественных ландшафтов и ухудшению экологического состояния территории. Исходя из этого архитектурное и градостроительное проектирование должно основываться на принципах экологической устойчивости.

Одним из самых важных направлений экологического проектирования является формирование зелёной инфраструктуры города – взаимосвязанной системы парков, скверов, бульваров, городских лесов, озеленённых дворов и защитных полос [1; 4]. Зелёные насаждения улучшают микроклимат, задерживают пыль и загрязняющие вещества, снижают уровень шума и перегрев зданий [4; 5]. Озеленённые территории выполняют водорегулирующую функцию: газоны и участки с естественным почвенным покровом задерживают атмосферные осадки и снижают нагрузку на ливневую канализацию [1; 6].

Основным экологическим принципом территориального развития является сохранение природного потенциала территории. При разработке проектов необходимо учитывать существующие деревья, рельеф и водные объекты. Сохранение ценных насаждений требует изменения формы здания или переноса проездов, однако такой подход позволяет сохранить сформировавшуюся экосистему.



Рис. 1. Экологичное проектирование

В случае удаления зелёных насаждений должна применяться экологическая компенсация – восстановление растительности взамен уничтоженных деревьев и кустарников. Компенсация не должна сводиться только к количественному подсчёту саженцев. Необходимо учитывать возраст, размер, состояние и экологическую значимость утраченных насаждений [2; 3].

При создании новых зелёных территорий предпочтение следует отдавать видам, устойчивым к загрязнению воздуха и перепадам температур. Более устойчивой является многоуровневая система озеленения, включающая деревья, кустарники и травянистые растения [3; 6].

Таким образом, экологические принципы должны применяться на всех этапах проектирования. Городская зелёная инфраструктура должна рассматриваться как важная часть архитектурно-планировочной структуры, а не как дополнительный элемент благоустройства. Сохранение существующих насаждений, создание экологических каркасов и организация компенсационного озеленения позволяют сформировать городскую среду, сочетающую функциональность и экологическую устойчивость.

Список литературы

1. Котлярова С.Н. Зелёная инфраструктура городской среды: проблемы оценки / С.Н. Котлярова // Экономика города. – 2024. – № 2. – С.12-18.

2. Зелёная инфраструктура как инструмент устойчивого развития урбанизированных территорий // Вестник СГУГИТ. – 2023. – Т. 28, № 5. – С. 140-150.

3. Бобылев С.Н. Развитие «зелёной» инфраструктуры в городах / С.Н. Бобылев, И.С. Завалеев, А.И. Завалеева, И.Ю. Ховавко // Научные исследования экономического факультета. – 2022. – Т. 14. – Вып. 3. – С. 48-61.

4. Казарян Р.А. Экологический каркас города или зелёный пояс / Р.А. Казарян, В.В. Хачатрян // Вестник Евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 1. – С.48-49.

ПРИРОДНЫЕ АНАЛОГИ И АНАЛОГИИ В АРХИТЕКТУРЕ КАК СПОСОБЫ ЗАИМСТВОВАНИЯ ИДЕЙ У ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

З.В. Анохина
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматривается применение природных аналогов и аналогий в современном строительстве и архитектуре в рамках направления архитектурной бионики. Изучены основные цели, задачи и способы заимствования идей у живой природы: от простого копирования внешнего вида до создания прочных несущих конструкций и систем микроклимата зданий. Разбираются известные примеры использования природных принципов в мировой и отечественной архитектуре (высотные башни, сетчатые оболочки, большепролетные крыши и естественная вентиляция).*

Ключевые слова: *архитектурная бионика; природные аналоги; формообразование; строительные конструкции; экологическая безопасность; компьютерное моделирование; энергоэффективность; градостроительство.*

Одним из главных требований к современному строительству является экологическая безопасность, то есть максимальная совместимость здания с окружающей природной средой, а также его надежность при разумной экономии материалов [1, 2]. В условиях быстрого роста городов особое значение приобретает обращение к опыту живой природы. За миллионы лет развития природа создала идеальные механизмы прочности, защиты от перепадов температур и экономии ресурсов. Направление науки, которое изучает и переносит законы живой природы в архитектуру и строительство, называется архитектурной бионикой [3].

Целью данного исследования является анализ использования природных аналогов и аналогий в архитектуре, а также изучение способов переноса полезных свойств растений и животных на современные здания и строительные конструкции.

Задачи исследования:

- изучение основных законов развития природы и строения живых организмов;
- разделение природных аналогий по видам и способам их применения в проектировании;
- разбор реальных примеров зданий, построенных по природным принципам;
- определение роли современных компьютерных программ при переносе природных форм в строительство.

Использование природных аналогий опирается на математические закономерности роста живых организмов (симметрию, пропорции золотого сечения) и позволяет строителям и архитекторам:

- анализировать климат и рельеф участка застройки, подбирая подходящие природные образцы;

- создавать модели зданий, где нагрузка распределяется равномерно, как в живых организмах;
- рассчитывать поведение высотных и большепролетных зданий при сильном ветре или землетрясениях;
- разрабатывать удобные и экономные системы вентиляции и обогрева, снижающие вред для экологии города.

В современной архитектуре выделяют три основных уровня использования природных аналогов (рис. 1):

1. Формально-образный уровень. Основан на внешнем сходстве здания с природным объектом – раковиной, цветком, кристаллом, крылом птицы или деревом. Здесь форма нужна прежде всего для красоты и необычного облика здания (например, стиль модерн или постройки архитектора А. Гауди).
2. Конструктивно-тектонический уровень. Предполагает заимствование внутреннего устройства природных каркасов (строение костей, стеблей растений, паутины, пчелиных сот) для расчета несущих конструкций. Главная задача здесь – получить максимальную прочность и жесткость здания при минимальном расходе бетона и металла [4].
3. Функционально-экологический уровень. Рассматривает здание как единый «организм», который способен сам поддерживать комфортную температуру внутри, проветриваться, собирать дождевую воду и вырабатывать энергию без лишних затрат электричества [5].



Рис.1. Уровни применения природных аналогов в архитектуре (разработано автором)

Рассмотрим, как эти уровни работают на практике в реальных инженерных и архитектурных проектах.

В строительстве высотных зданий классическим природным образцом служит стебель злаковых растений (пшеницы, ржи, камыша, бамбука). При очень малой толщине по сравнению с высотой стебель легко выдерживает сильные порывы ветра и вес колоса, сгибаясь, но не ломаясь. Это происходит за счет того, что стебель полый внутри, самые прочные волокна расположены у его внешних стенок, а по всей высоте есть поперечные перегородки – узелки жесткости. Этот природный принцип лег в основу проектирования телевизионных башен, дымовых труб и современных небоскребов [3, 6]. Отличным отечественным примером является Останкинская телебашня в Москве (конструктор Н.В. Никитин). Подобно стеблю растения, башня представляет собой полую железобетонную трубу, внутри которой натянуты прочные стальные тросы (как волокна в стебле), а само сооружение опирается на неглубокий кольцевой фундамент. В знаменитом небоскребе «Тайбэй 101» (Тайвань), специальные технические этажи связывают центр здания с внешними колоннами, работая точно так же, как узелки на стебле бамбука, что помогает гасить раскачивание при ураганах и землетрясениях.

В области сетчатых оболочек и большепролетных крыш первопроходцем в нашей стране стал инженер В.Г. Шухов, чьи сетчатые стальные башни и перекрытия во многом опередили свое время [7]. В современной архитектуре ярким примером такого подхода является 40-этажный небоскреб «Мэри-Экс» (арх. Н. Фостер) в Лондоне. Прототипом здания стала глубоководная морская губка («корзинка Венеры»). Ее решетчатый скелет из переплетенных под углом волокон позволяет выдерживать огромное давление воды на дне океана. В конструкции небоскреба внешняя стальная сетка из диагональных балок работает по тому же принципу: она берет на себя весь вес здания и ветровую нагрузку. Благодаря этому внутри здания не понадобились лишние колонны, а обтекаемая форма уменьшает силу ветра и направляет воздух в шахты для естественного проветривания, экономя до 40 % энергии. При создании широких крыш и куполов строители часто берут за основу лист гигантской амазонской кувшинки. Снизу этот лист покрыт сетью расходящихся от центра и круговых прожилок-ребер, благодаря которым тонкий лист держит на воде вес до 50 кг. По этой схеме инженер П.Л. Нерви создавал свои знаменитые железобетонные купола с ребрами жесткости для спортивных арен [8].

Примером функционально-экологического подхода является бизнес-центр Eastgate в Зимбабве (арх. М. Пирс) [9]. Прототипом для системы вентиляции этого здания послужили высокие термитники. Насекомые поддерживают внутри кургана постоянную температуру около +30 °С, хотя снаружи она скачет от +2 °С ночью до +40 °С днем. Это получается за счет толстых глиняных стенок и продуманной сети сквозных воздушных каналов. Архитектор перенес эту идею в проект здания: за ночь массивные бетонные стены и полы охлаждаются уличным воздухом, а днем забирают на себя лишнее тепло из офисов, после чего нагретый воздух сам поднимается вверх и выходит через трубы на крыше. В итоге в здании вообще нет обычных кондиционеров, и оно тратит на 90 % меньше электричества, чем соседние дома [9]. Другой интересный пример –

«дышащие» фасады зданий, скопированные с обычной сосновой шишки. Чешуйки шишки сами закрываются в сырую погоду и раскрываются в сухую. По этому принципу создают фасадные панели из тонкой многослойной древесины: когда на улице меняется влажность и припекает солнце, деревянные створки сами сгибаются или выпрямляются, регулируя свет и проветривание внутри здания вообще без датчиков, моторов и проводов.

Научная новизна современных разработок в архитектурной бионике связана с переходом к компьютерным технологиям и созданию умных материалов:

- изучены свойства природных материалов для создания новых строительных смесей (например, создан самовосстанавливающийся био-бетон с бактериями, которые при попадании воды сами «залечивают» мелкие трещины известняком, а также фасадные краски с «эффектом листа лотоса», от которых грязь отскакивает вместе с каплями дождя) [10];
- разработаны компьютерные методы расчета сложных сетчатых крыш и фасадов;
- доказана польза применения искусственных нейронных сетей (ИНС) для облегчения строительных конструкций.

Для компьютерного моделирования таких зданий сегодня используются современные программы: Rhinoceros 3D с дополнением Grasshopper (для создания сложных природных форм), расчетные программы ANSYS, ЛИРА-САПР и SCAD Office (для проверки прочности каркаса), а также программы продувки в виртуальной аэродинамической трубе (CFD), которые показывают, как ветер будет обтекать здание [11].



Рис. 2. Схема проектирования здания на основе природного аналога (разработано автором)

Особую роль сегодня играют искусственные нейронные сети и программы автоматической оптимизации формы деталей [12]. Такие программы работают по принципу роста живой кости: костная ткань в организме сама уплотняется там, где нагрузка больше. Инженер задает в программе размеры будущей колонны или балки и указывает нагрузки. Программа сама добавляет материал в самых нагруженных местах и убирает лишний металл или бетон оттуда, где он не работает, создавая легкие ажурные конструкции, похожие на ветви деревьев (рис. 2). Если затем напечатать такие узлы или колонны на строительном 3D-принтере из бетона или металла, можно сэкономить от 35 до 50 % стройматериалов без потери прочности.

Подводя итог, можно сказать, что использование природных аналогов и аналогий в архитектуре давно перестало быть просто красивым декором. Сочетание природных секретов прочности с современным компьютерным моделированием помогает инженерам и архитекторам строить здания нового поколения — надежные, экономные в обслуживании и безопасные для окружающей среды и здоровья людей.

Список литературы

1. Тетиор А.Н. Архитектурно-строительная экология: учеб. пособие для вузов / А.Н. Тетиор. – М.: Академия, 2008. – 360 с.

2. Пушилина Ю.Н. Организация и формирование искусственной среды на основе комплексного экологического подхода / Ю.Н. Пушилина // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – Вып. 7, ч. 2. – С. 145-151.

3. Лебедев Ю.С. Архитектурная бионика / Ю.С. Лебедев; под ред. Ю.С. Лебедева. – М.: Стройиздат, 1990. – 269 с.

4. Кривошапко С.Н. Бионические формы и оболочки в современной архитектуре / С.Н. Кривошапко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 4. – С. 4-14.

5. Теличенко В.И. Управление экологической безопасностью строительства: учеб. пособие / В.И. Теличенко, М.Ю. Слесарев, В.Ф. Стойков. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 328 с.

6. Никитин Н.В. Останкинская телевизионная башня / Н.В. Никитин. – М.: Стройиздат, 1972. – 216 с.

7. Шухов В.Г. Избранные труды. Строительная механика / В.Г. Шухов; под ред. А.Ю. Ишлинского. – М.: Наука, 1977. – 193 с.

8. Нерви П.Л. Строить правильно / П.Л. Нерви; пер. с итал. – М.: Госстройиздат, 1956. – 146 с.

9. Pawlyn M. Biomimicry in Architecture / M. Pawlyn. – London: RIBA Publishing, 2016. – 176 p.

10. Jonkers H.M. Self Healing Concrete: A Biological Approach / H.M. Jonkers // Self Healing Materials. – Dordrecht: Springer, 2007. – P. 195-204.

11. Волкодав И.А. Параметрическая архитектура и бионический дизайн / И.А. Волкодав, В.А. Волкодав // Архитектура и современные информационные технологии (AMIT). – 2019. – № 2 (47). – С. 240-252.

12. Xie Y.M. Evolutionary Structural Optimization / Y.M. Xie, G.P. Steven. – London: Springer-Verlag, 1997. – 188 p.

ВИДЕОЭКОЛОГИЯ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ КОМФОРТНОЙ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

В.М. Хромушкина
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматривается проблема видеоэкологии как одного из факторов формирования комфортной архитектурно-градостроительной среды. Анализируются особенности визуального восприятия человеком окружающего пространства, рассматриваются понятия гомогенной и агрессивной визуальной среды, а также их проявления в современной архитектуре. Особое внимание уделяется влиянию однообразной застройки, крупных монотонных поверхностей, повторяющихся элементов фасадов и визуального загрязнения на восприятие городской среды. Рассматриваются архитектурные приёмы, позволяющие повысить визуальное качество пространства и создать более гармоничную среду для человека.*

Вопрос взаимодействия человека с окружающей средой традиционно рассматривается с точки зрения экологической безопасности, качества воздуха и воды, уровня шума и других факторов. Однако не менее важную роль играет визуальная среда, окружающая человека в повседневной жизни. Именно её изучением занимается видеоэкология - научное направление, рассматривающее взаимодействие человека с окружающей его видимой средой. В условиях современной урбанизации данная проблема приобретает особую актуальность, поскольку человек большую часть времени проводит в искусственно сформированном архитектурном пространстве.

Визуальная среда города складывается из множества элементов: зданий и сооружений, фасадов, улиц, площадей, рекламных конструкций, малых архитектурных форм, озеленения и элементов благоустройства. Их сочетание определяет характер пространства и влияет на то, насколько комфортным оно воспринимается человеком. В архитектуре особенно важны масштаб, ритм, цвет, фактура и разнообразие элементов, поскольку именно они создают визуальный образ городской среды.

Одной из основных проблем, рассматриваемых в рамках видеоэкологии, является появление гомогенных и агрессивных визуальных полей. Гомогенная визуальная среда характеризуется недостатком зрительных элементов. К её примерам можно отнести большие глухие стены, монолитные стеклянные поверхности, протяжённые заборы и другие однообразные плоскости. Такие поверхности практически не имеют визуального разнообразия и могут создавать ощущение монотонности пространства.

Противоположной проблемой являются агрессивные визуальные поля, которые формируются большим количеством одинаковых элементов, расположенных с определённым повторяющимся ритмом. Например, подобный эффект может возникать на фасадах многоэтажных зданий с большим количеством одинаковых окон, при использовании однотипных балконов, облицовочных элементов или других повторяющихся деталей. При

значительной протяжённости такого фасада визуальная среда становится чрезмерно однообразной и навязчивой.

Особенно заметна проблема видеоэкологии в современной многоэтажной застройке. Стремление к экономичности строительства и стандартизации архитектурных решений приводит к распространению типовых зданий, в которых фасады формируются преимущественно повторением одинаковых элементов. При этом визуальное качество архитектуры может отходить на второй план. В результате отдельные здания теряют индивидуальность, а городская среда становится менее выразительной и разнообразной.

Для предотвращения подобных явлений необходимо учитывать видеоэкологические требования уже на этапе архитектурного проектирования. Одним из способов является членение крупных фасадных поверхностей. Использование различных материалов, цветовых решений, глубины фасада, балконов, лоджий, ниш и выступающих элементов позволяет уменьшить монотонность и сформировать более сложную визуальную структуру здания.

Важную роль играет и озеленение. Деревья, кустарники, вертикальное озеленение и благоустроенные общественные пространства позволяют смягчить восприятие крупных архитектурных объектов. Природные формы отличаются большим разнообразием и могут создавать необходимый визуальный контраст с геометричными формами современной архитектуры. Кроме того, включение природных элементов способствует формированию более комфортного и эмоционально благоприятного городского пространства.

Ещё одним способом повышения качества визуальной среды является использование разнообразного ритма и масштаба архитектурных элементов. При проектировании фасада важно избегать чрезмерно частого и механического повторения одинаковых деталей. Вместо этого можно использовать чередование элементов, изменение их размеров, глубины и расположения. Такой приём позволяет сохранить целостность архитектурного решения, одновременно обеспечивая необходимое визуальное разнообразие.

Не менее важна организация пространства на уровне улиц и общественных территорий. Архитектурные объекты должны рассматриваться не изолированно, а как часть единой городской композиции. Сочетание зданий различной высоты, озеленения, малых архитектурных форм, общественных пространств и элементов благоустройства позволяет сформировать более разнообразную визуальную среду. При этом необходимо учитывать масштаб человека, поскольку именно человек является непосредственным пользователем архитектурного пространства.

Таким образом, видеоэкология является важным направлением, которое необходимо учитывать при современном архитектурном и градостроительном проектировании. Качество визуальной среды определяется не только эстетическими характеристиками отдельных зданий, но и их взаимодействием между собой, с природным окружением и человеком. Избегание чрезмерной монотонности, рациональное использование ритма и масштаба, разнообразие фасадов, применение природных элементов и грамотное благоустройство способны повысить комфорт городской среды.

В итоге учёт принципов видеоэкологии позволяет перейти от простого создания функциональных зданий к формированию гармоничной и психологически комфортной архитектурной среды. Современная архитектура должна учитывать не только технические и экономические требования, но и особенности человеческого восприятия. Комплексный подход к формированию визуальной среды способен сделать город более выразительным, разнообразным и комфортным для повседневной жизни человека.

Список литературы

1. Филин В.А. Видеоэкология. Что для глаза хорошо, а что – плохо / В.А. Филин. – М.: Видеоэкология, 2006. – 512 с.

2. Филин В.А. Видеоэкология и архитектура / В.А. Филин. – М.: Московский центр «Видеоэкология», 1995. – 52 с.

3. Филин В.А. Автоматия саккад / В.А. Филин. – М.: Издательство МГУ, 2002. – 240 с.

4. Семина Н. Что для глаза хорошо, что для глаза плохо / Н. Семина, В. Филин // Здоровье детей. – 2005. – № 16. – С. 56-58.

5. https://videoecology.com/ Видеоэкология (Дата обращения 12.10.2026г.)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОНЦЕПЦИЯ «ЖИЗНИ НА ПРИРОДЕ». ПРИМЕРЫ ЭКОПОСЕЛЕНИЙ

Е.В. Снурницына
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *Рассматривается взаимосвязь информационных технологий и концепции жизни на природе в условиях современного общества. Анализируются возможности применения цифровых систем в организации экологически устойчивых поселений, включая управление энергоресурсами, водоснабжением и жилой средой.*

Актуальность темы обусловлена ростом интереса к экологичному образу жизни, сокращению потребления природных ресурсов и поиску альтернативных моделей расселения. Развитие цифровых технологий позволяет уменьшить зависимость человека от городской инфраструктуры, сохраняя возможности для работы, обучения и социального взаимодействия. При этом проживание на природе требует не только использования современных технологий, но и рациональной организации территории, сохранения природного ландшафта и создания необходимой инфраструктуры.

Методологическая база представленной статьи заключается в анализе материалов об экопоселениях и принципах устойчивого развития, сравнительное рассмотрение существующих примеров и систематизация основных направлений применения информационных технологий.

Концепция жизни на природе предполагает создание среды, в которой комфорт проживания сочетается с бережным отношением к окружающей среде.

В отличие от традиционного представления о загородной жизни, современные экопоселения могут использовать цифровые решения для обеспечения повседневных потребностей жителей. Высокоскоростной интернет и средства дистанционной коммуникации позволяют работать и обучаться вне крупных городов, а автоматизированные системы помогают контролировать потребление ресурсов.

Одним из основных направлений является управление энергетическими системами. Использование солнечных панелей в сочетании с интеллектуальными приборами учёта позволяет отслеживать выработку и расход электроэнергии. Датчики и автоматизированные контроллеры могут применяться для регулирования отопления, освещения и вентиляции. Водосберегающие устройства, системы контроля протечек и автоматического полива способствуют сокращению нерационального использования воды.

При проектировании экопоселений также могут применяться геоинформационные системы (ГИС), позволяющие учитывать рельеф, существующую растительность, инсоляцию и особенности территории. Это помогает выбирать места для размещения зданий и инженерных объектов с учётом природных условий. Информационное моделирование зданий (BIM) позволяет анализировать архитектурные и инженерные решения, а также оценивать особенности дальнейшей эксплуатации объектов.

Примеры экопоселений**.** Одним из известных примеров является Финдхорн, расположенный в Шотландии. История сообщества началась в 1962 году. В дальнейшем оно стало развиваться как модель экологически ориентированного проживания, основанная на рациональном использовании ресурсов, экологичном строительстве, органическом земледелии и совместной деятельности жителей. Опыт Финдхорна показывает, что устойчивое поселение формируется за счёт сочетания природосберегающих практик, организации общественной жизни и технических решений. Цифровые технологии в подобных проектах могут применяться для контроля инженерных систем и обмена знаниями между участниками сообщества.

Другим примером является Ауровиль, расположенный в штате Тамилнад в Индии. Основанный в 1968 году, он представляет собой международное сообщество, ориентированное на поиск форм общественной организации. На территории Ауровиля развиваются сельскохозяйственные проекты, восстановление лесных участков и различные подходы к рациональному использованию природных ресурсов. Применение цифровых инструментов позволяет расширять возможности картографирования территории, планирования сельскохозяйственной деятельности и распространения экологических знаний.

Рассмотренные примеры различаются по истории и организации, однако оба демонстрируют важность комплексного подхода к развитию поселений. Экологическая устойчивость определяется не только наличием современных технологий, но и отношением жителей к природной среде, организацией хозяйственной деятельности и особенностями планировки территории.

В заключении необходимо отметить, что проведённый анализ показывает, что информационные технологии создают дополнительные возможности для реализации концепции жизни на природе. Автоматизированное управление ресурсами, дистанционная коммуникация и цифровые инструменты проектирования позволяют повышать комфорт проживания и рациональнее использовать природные ресурсы. Опыт Финдхорна и Ауровиля демонстрирует различные подходы к организации экологически ориентированной среды.

Вместе с тем внедрение технологий не гарантирует устойчивости поселения без грамотного планирования, сохранения природного ландшафта и учёта потребностей жителей. Следовательно, наиболее перспективным является подход, при котором цифровые решения рассматриваются как инструмент поддержки экологически обоснованной организации территории, а не как самостоятельная цель развития.

Список литературы

1. Пушилина Ю.Н. Экологические основы архитектурного проектирования: учеб. пособие / Ю.Н. Пушилина. – Тула: Аквариус, 2015. – С.44-47.

2. Findhorn Ecovillage. Официальный сайт экопоселения. URL: https://www.ecovillagefindhorn.org/ (дата обращения: 19.10.2026).

3. Auroville. Официальный сайт международного сообщества. URL: https://www.auroville.org/ (дата обращения: 19.10.2026).

4. United Nations. The Sustainable Development Goals. URL: https://sdgs.un.org/goals (дата обращения: 19.10.2026).

5. Global Ecovillage Network. Официальный сайт международной сети экопоселений. URL: https://ecovillage.org/ (дата обращения: 19.10.2026).

6. Дорожкина Е.А. Конструктивные проблемы "зеленой" архитектуры / Е.А. Дорожкина // журнал Урбанистика, 2017 – №3. – С. 45-49.

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ САМЫХ ГРЯЗНЫХ ГОРОДОВ МИРА

Е.А. Случанова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматривается проблема загрязнения окружающей среды в крупнейших городах мира на примере Индии и Китая. Основное внимание уделяется загрязнению атмосферного воздуха, поскольку оно представляет серьёзную угрозу здоровью населения и устойчивому развитию городских территорий. На основе международных экологических отчётов анализируются показатели концентрации мелкодисперсных частиц PM2.5, рассматриваются причины загрязнения, включая промышленные выбросы, автомобильный транспорт, сжигание топлива, строительную деятельность и природные факторы.*

Загрязнение окружающей среды является одной из наиболее серьёзных глобальных проблем современности. Рост численности городского населения,

развитие промышленности, увеличение количества транспортных средств и повышение потребления энергии создают значительную нагрузку на природные системы. Особенно остро эти процессы проявляются в крупных городских агломерациях, где сосредоточены промышленные предприятия, транспортная инфраструктура и миллионы жителей. Понятие «самый грязный город мира» не имеет единственного универсального определения. Экологическое состояние населённого пункта можно оценивать по уровню загрязнения атмосферного воздуха и водных ресурсов, объёму бытовых отходов, состоянию почв и санитарной инфраструктуры. Однако для международного сравнения городов часто используется показатель загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами PM2.5. Актуальность данной темы обусловлена тем, что загрязнённый воздух отрицательно влияет на здоровье населения, увеличивает расходы на здравоохранение и снижает качество жизни. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), воздействие загрязнения атмосферного воздуха связано с развитием сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, инсульта и рака лёгких [1].

Критерии оценки загрязнения городов. Для объективного анализа необходимо использовать измеримые экологические показатели. Одним из наиболее значимых является концентрация PM2.5 – мелкодисперсных частиц диаметром не более 2,5 микрометра. Благодаря небольшому размеру эти частицы способны проникать глубоко в дыхательную систему и представлять опасность для здоровья человека. Источниками PM2.5 являются сжигание угля, нефти и других видов топлива, промышленные выбросы, автомобильный транспорт, строительная пыль и открытое сжигание отходов. На концентрацию загрязняющих веществ также влияют погодные условия, скорость ветра, осадки и особенности рельефа. В рекомендациях ВОЗ, опубликованных в 2021 году, установлено ориентировочное рекомендуемое значение среднегодовой концентрации PM2.5 на уровне 5 мкг/м³. Для среднесуточной концентрации рекомендовано значение 15 мкг/м³ [1]. Эти показатели служат ориентиром для защиты здоровья населения, хотя их достижение требует значительного сокращения выбросов. Для сравнения городов можно использовать данные международной организации IQAir, которая публикует ежегодные отчёты о качестве воздуха. В отчёте 2025 World Air Quality Report, опубликованном в марте 2026, представлены данные мониторинга за 2025 год по 9 446 городам в 143 странах, регионах и территориях [2]. Согласно этому отчёту, только 14 % исследованных городов соответствовали рекомендованному ВОЗ уровню среднегодовой концентрации PM2.5. Это свидетельствует о широком распространении проблемы загрязнения воздуха. При этом необходимо учитывать, что подобные рейтинги характеризуют конкретный показатель, а не общее состояние городской среды. Высокая концентрация PM2.5 не позволяет автоматически сделать вывод о качестве питьевой воды, количестве мусора или состоянии санитарной инфраструктуры. Поэтому рейтинг загрязнения воздуха следует рассматривать как один из инструментов экологического анализа.

Наиболее загрязнённые города Индии. Индия относится к числу стран, в

которых проблема загрязнения атмосферного воздуха особенно актуальна. Быстрая урбанизация, высокая плотность населения, использование ископаемого топлива, промышленное производство и интенсивное движение транспорта создают значительную экологическую нагрузку. Согласно отчёту IQAir за 2025 год, наиболее загрязнённым городом в рейтинге стала Лони, расположенная в индийском штате Уттар-Прадеш. Среднегодовая концентрация PM2.5 там составила 112,5 мкг/м³. Этот показатель более чем в 22 раза превышает рекомендованный ВОЗ среднегодовой уровень в 5 мкг/м³ [1; 2]. Высокая концентрация загрязняющих веществ в индийских городах объясняется сочетанием нескольких факторов. К ним относятся выбросы автомобильного транспорта, деятельность промышленных предприятий, строительная пыль, использование твёрдого топлива и сжигание отходов. В отдельных регионах дополнительное влияние оказывает сжигание сельскохозяйственных остатков. Важную роль играют и метеорологические условия. В периоды слабого ветра загрязняющие вещества могут накапливаться в приземном слое атмосферы. Зимой температурные инверсии затрудняют вертикальное перемешивание воздуха, что способствует формированию смога. Другим примером является Газиабад, также расположенный в штате Уттар-Прадеш. В отчёте IQAir за 2025 год среднегодовая концентрация PM2.5 в городе составила 89,2 мкг/м³ [2]. Существенное влияние на качество воздуха оказывают промышленность, транспортная нагрузка, строительные работы и распространение пыли. Особого внимания заслуживает Нью-Дели – столица Индии. Город и окружающая его агломерация регулярно сталкиваются с эпизодами сильного загрязнения воздуха, особенно осенью и зимой. Проблема обусловлена не только местными выбросами, но и переносом загрязняющих веществ из соседних районов.

Поэтому эффективные меры должны охватывать всю агломерацию и прилегающие территории. Загрязнение в Индии не ограничивается атмосферным воздухом. В отдельных городах серьёзной проблемой остаётся загрязнение водных ресурсов бытовыми и промышленными стоками. Недостаточная мощность очистных сооружений, быстрое увеличение объёмов отходов и недостатки городской инфраструктуры усиливают экологическую нагрузку. Таким образом, экологические проблемы индийских городов обусловлены сочетанием экономических, демографических и инфраструктурных факторов. Их решение требует согласованных действий органов власти, предприятий и населения.



Рис.1. Загрязненная часть территории города Индии

Экологические проблемы городов Китая. Китай является одной из крупнейших промышленных экономик мира. Развитие тяжёлой промышленности, энергетики и транспортной инфраструктуры в течение длительного времени сопровождалось значительным загрязнением окружающей среды. В последние годы страна реализует масштабные программы по сокращению выбросов, развитию возобновляемой энергетики и улучшению качества воздуха, однако в некоторых регионах экологические проблемы сохраняются. Показательным примером является Хотан, расположенный в Синьцзян-Уйгурском автономном районе Китая. По данным IQAir, среднегодовая концентрация PM2.5 в городе в 2025 году составила 109,6 мкг/м³, что позволило ему занять второе место в мировом рейтинге наиболее загрязнённых городов [2]. При анализе экологической ситуации в Хотане необходимо учитывать не только антропогенные, но и природные факторы. Город расположен в засушливом регионе, где пыльные бури и перенос минеральной пыли могут существенно влиять на качество воздуха. При этом воздействие природной пыли сочетается с загрязнением, возникающим вследствие отопления, транспорта и хозяйственной деятельности. Другой известный пример – Пекин, столица Китая. В прошлом город неоднократно сталкивался с серьёзными эпизодами смога, связанными с использованием угля, промышленными выбросами и автомобильным транспортом. Ситуацию усугубляли выбросы из соседних промышленных районов и неблагоприятные метеорологические условия. Для улучшения качества воздуха в Китае применялись меры по модернизации энергетики и промышленности, ограничению наиболее загрязняющих видов топлива, расширению общественного транспорта и усилению контроля за выбросами. Эти меры способствовали улучшению качества воздуха в ряде городов по сравнению с наиболее неблагоприятными периодами предыдущих десятилетий. Однако сохраняются региональные различия и сезонные эпизоды загрязнения. Экологические проблемы Китая также включают образование больших объёмов промышленных и бытовых отходов, загрязнение водных объектов и высокую потребность в природных ресурсах. Для уменьшения негативного воздействия необходимо совершенствовать очистку промышленных стоков, повышать эффективность переработки отходов и сокращать зависимость от загрязняющих источников энергии. Сравнение Индии и Китая показывает, что даже при различиях в экономике и природных условиях обе страны сталкиваются с необходимостью сочетать промышленное развитие с защитой окружающей среды. Опыт Китая демонстрирует важность долгосрочных государственных программ, тогда как индийский пример подчёркивает необходимость решения проблем транспорта, энергетики и городской инфраструктуры одновременно.

Последствия загрязнения окружающей среды. Загрязнение воздуха оказывает серьёзное воздействие на здоровье человека. Мелкодисперсные частицы PM2.5 могут проникать в глубокие отделы лёгких, а часть содержащихся в них загрязняющих веществ способна попадать в кровоток. Длительное воздействие загрязнённого воздуха связано с повышенным риском

сердечно-сосудистых заболеваний, хронических болезней дыхательной системы и рака лёгких [1]. Наиболее уязвимыми группами являются дети, пожилые люди и люди с хроническими заболеваниями. Высокая концентрация загрязняющих веществ может вызывать раздражение дыхательных путей, усиливать симптомы астмы и ухудшать общее самочувствие. При продолжительном воздействии загрязнённого воздуха повышаются риски развития серьёзных заболеваний. Загрязнение городской среды имеет и экономические последствия. Увеличение заболеваемости приводит к росту расходов на медицинскую помощь, снижению производительности труда и увеличению числа пропусков учёбы и работы. Кроме того, неблагоприятная экологическая обстановка может снижать привлекательность города для туристов, специалистов и инвесторов. Не менее значимы последствия для природных экосистем. Промышленные выбросы и сточные воды могут загрязнять почвы и водоёмы, отрицательно влиять на растительность и ухудшать условия существования животных. Неправильное обращение с отходами способствует распространению загрязняющих веществ и создаёт дополнительные санитарные риски. Важно учитывать и социальное неравенство. Жители районов, расположенных рядом с автомагистралями, промышленными предприятиями и несанкционированными свалками, нередко подвергаются более интенсивному воздействию загрязняющих факторов. Поэтому экологическая политика должна учитывать не только средние показатели по городу, но и состояние отдельных районов.



Рис. 2. Загрязнение воздуха (Китай)

Основные направления решения проблемы. Для улучшения экологической ситуации в наиболее загрязнённых городах необходимо применять комплексные меры. Во-первых, следует сокращать промышленные выбросы. Для этого необходимо модернизировать предприятия, внедрять современные системы очистки газов, повышать энергоэффективность оборудования и усиливать контроль за соблюдением экологических требований. Во-вторых, важным направлением является развитие общественного транспорта. Метрополитен, электрические автобусы, железнодорожное сообщение и безопасная велосипедная инфраструктура позволяют уменьшить зависимость населения от личных автомобилей. Дополнительный эффект даёт обновление автомобильного парка и внедрение более строгих стандартов выбросов. В-третьих, необходимо ускорять переход к более чистой энергетике. Развитие солнечных и ветровых электростанций, повышение эффективности использования электроэнергии и

сокращение сжигания угля способны снизить загрязнение атмосферы. При этом энергетические изменения должны сопровождаться модернизацией предприятий и систем отопления. В-четвёртых, следует улучшать управление отходами и водными ресурсами. Раздельный сбор мусора, переработка вторичного сырья, безопасная утилизация опасных отходов и модернизация очистных сооружений позволяют уменьшить загрязнение почв и водоёмов. Необходимо также предотвращать открытое сжигание отходов. В-пятых, важную роль играет экологический мониторинг. Системы измерения качества воздуха позволяют выявлять источники загрязнения, информировать население и оценивать эффективность природоохранных мероприятий. Публикация достоверных данных способствует повышению прозрачности экологической политики. Наконец, необходимо развивать международное сотрудничество. Загрязнение воздуха может распространяться за пределы административных границ, поэтому совместные программы мониторинга, обмен технологиями и согласование экологических мер способны повысить эффективность борьбы с загрязнением.

Проведённый анализ показывает, что загрязнение окружающей среды остаётся одной из наиболее серьёзных проблем крупных городов мира. Примеры Лони и Газиабада в Индии, а также Хотана в Китае демонстрируют масштаб проблемы загрязнения атмосферного воздуха. Данные IQAir за 2025 год свидетельствуют о том, что в отдельных городах среднегодовая концентрация PM2.5 многократно превышает рекомендованный ВОЗ уровень. Основными причинами загрязнения являются промышленные выбросы, транспортная нагрузка, сжигание топлива, строительная пыль, недостатки системы обращения с отходами и неблагоприятные метеорологические условия. При этом соотношение факторов различается в зависимости от географического положения, структуры экономики и уровня развития городской инфраструктуры. Загрязнение отрицательно влияет на здоровье населения, увеличивает экономические расходы и наносит ущерб природным экосистемам. Поэтому решение данной проблемы требует системного подхода, основанного на современных технологиях, эффективном законодательстве и достоверных экологических данных. Таким образом, улучшение качества городской среды возможно при условии последовательного сокращения выбросов, развития чистой энергетики, совершенствования общественного транспорта и безопасного обращения с отходами. Экологическая безопасность должна рассматриваться как необходимая составляющая устойчивого развития городов и повышения качества жизни населения.

Список литературы

1. World Health Organization. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Geneva: World Health Organization, 2021. ISBN 978-92-4-003422-8. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228.

2. IQAir. 2025 World Air Quality Report. Опубликован 24 марта 2026 г. URL: https://www.iqair.com/newsroom/waqr-2025-pr

3.IQAir. World's Most Polluted Cities. Исторические данные о среднегодовой концентрации PM2.5 в городах мира за 2017–2025 гг.
URL: https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities.

4. Health Effects Institute. State of Global Air. Ежегодный проект по оценке воздействия загрязнения воздуха на здоровье населения.
URL: https://www.stateofglobalair.org/.

5. United Nations Environment Programme. Pollution and Health. Материалы Программы ООН по окружающей среде о загрязнении окружающей среды и мерах по его сокращению.
URL: https://www.unep.org/.

6. Гинзбург А.С., Докукин С.А. Влияние теплового загрязнения атмосферы на климат города (оценки с помощью модели COSMO-CLM) / А.С. Гинзбург, С.А. Докукин // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 57, №. 1. – С. 53-66.

7. Константинов П.И. Исследования городского климата в Российской Федерации в начале XXI века / П.И. Константинов, М.И. Варенцов, А.А. Бакланов // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2025. – Т. 61, №. 6. – С. 833-852.

АНАЛИЗ И ПРИМЕРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ГОРОДОВ РОССИИ

А.А. Симонова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье исследуется тема загрязнения городов России, включая примеры и анализ причин загрязнения, выявление отрицательного влияния загрязнения на здоровье человека, а также возможные решения проблемы.*

Несмотря на внедрение мероприятий, ориентированных на сокращение вредных выбросов, экологическая обстановка во многих городах России продолжает ухудшаться с каждым днем. Наиболее значительные проблемы связаны с загрязнением атмосферного воздуха, водных ресурсов и земли.

Такая ситуация чаще всего встречается в крупных промышленных городах, в которых предприятия металлургической, химической, нефтеперерабатывающей и других отраслей оказывают существенное влияние на природную среду, из-за чего возникает потенциальная угроза для здоровья населения.

Уровень экологической безопасности российских городов неодинаков и определяется совокупностью природных и антропогенных факторов. В то время как в некоторых районах экологическая нагрузка находится на относительно приемлемом уровне, в промышленных центрах концентрация производственных объектов и интенсивность хозяйственной деятельности способствуют формированию неблагоприятной экологической ситуации. В связи с этим особую значимость приобретает изучение факторов, обусловливающих

длительное сохранение загрязнения, а также анализ результативности существующих природоохранных мероприятий.

К числу основных факторов, оказывающих негативное влияние на окружающую среду, относятся функционирование промышленных предприятий и энергетического комплекса, автомобильный транспорт, сельскохозяйственное производство, образование отходов и разработка месторождений полезных ископаемых. Воздействие указанных источников приводит к поступлению загрязняющих веществ в атмосферу, гидросферу и почвенный покров. В результате нарушается естественное состояние экосистем, снижается качество природных ресурсов и возникают риски для здоровья людей.

Среди российских городов, которые нередко рассматриваются в контексте повышенной экологической нагрузки, выделяют Норильск, Красноярск, Новокузнецк, Челябинск, Магнитогорск и Братск. Существенную роль в формировании экологических проблем этих территорий играют развитая металлургическая промышленность, деятельность энергетических объектов, транспортная система и применение угля в качестве топлива. Дополнительным фактором в отдельных городах выступают метеорологические условия, ограничивающие рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере и способствующие их накоплению.

Поступление вредных химических соединений в атмосферный воздух способно отрицательно сказываться на состоянии здоровья человека. В частности, воздействие загрязнителей может сопровождаться нарушениями работы органов дыхания, возникновением головных болей, аллергических проявлений и снижением защитных функций организма. Загрязнение водоёмов и почв представляет отдельную опасность, поскольку токсичные компоненты могут попадать в организм человека при употреблении загрязнённой питьевой воды и продуктов питания. Продолжительный контакт с промышленными загрязнителями связывают с увеличением вероятности развития заболеваний сердечно-сосудистой системы и некоторых видов онкологических патологий. Наиболее уязвимыми группами населения при этом являются дети, лица пожилого возраста и люди, имеющие хронические заболевания.

Для решения проблемы загрязнения стоит придерживаться таких направлений, как модернизация промышленности через переход на наилучшие доступные технологии и квотирование выбросов, замена угольного и дровяного отопления в частном секторе на газ и электричество, обновление общественного транспорта электробусами и троллейбусами, развитие раздельного сбора и переработки мусора со строительством сортировочных заводов, ликвидация свалок, реконструкция очистных сооружений и массовое озеленение городов.

Список литературы

1.Федеральная служба государственной статистики. Охрана окружающей среды в России. 2024: статистический сборник. – М.: Росстат, 2024. – 118 с. – С. 14-22, 40-48, 76-83..

2. Долгушина Н.А. Оценка загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Челябинской области и неканцерогенных рисков

здоровью населения / Н.А. Долгушина, И.А. Кувшинова // Экология человека. – 2019. – Т. 26, № 6. – С. 17-22.

3. Ефимова Н.В. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Братска на основе анализа многолетних наблюдений / Н.В. Ефимова, В.С. Рукавишников // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 9. – С. 998-1003.

4. Юркевич Н.В. Техногенное воздействие на окружающую среду в российской Арктике на примере Норильского промышленного района / Н.В. Юркевич, И.Н. Ельцов, В.Н. Гуреев [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 12. – С. 234-240.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КРОВЛИ С ЭКСТЕНСИВНЫМ И ИНТЕНСИВНЫМ ОЗЕЛЕНЕНИЕМ: ОСОБЕННОСТИ, ОБСЛУЖИВАНИЕ И ПРИМЕРЫ

М.В. Сергеев
Тульский государственный университет
г. Тулы

Аннотация. *Статья освещает вопросы эксплуатации кровли с экстенсивным и интенсивным озеленением, рассматриваются особенности, обслуживание и приводятся примеры.*

Зелёная кровля – это многослойная система, включающая гидроизоляцию, защиту от корней, дренаж, фильтрующий слой, субстрат и растительность. Она позволяет уменьшить нагрев кровли, задерживать часть дождевой воды и создавать дополнительные зелёные пространства.

Долговечность такой кровли зависит от правильной эксплуатации: регулярных осмотров, контроля водоотвода, ухода за растениями и сохранения целостности гидроизоляции. Объём работ определяется типом озеленения, климатом и назначением здания.

Экстенсивное озеленение предполагает небольшой слой субстрата и неприхотливые растения: седумы, засухоустойчивые травы и почвопокровные виды. Такая кровля требует относительно небольшого ухода и обычно применяется на гаражах, частных домах и технических зданиях.

Полуинтенсивное озеленение предусматривает более глубокий субстрат и разнообразные растения: многолетники, декоративные злаки и небольшие кустарники. Необходимость полива и ухода выше, чем у экстенсивной системы.

Интенсивное озеленение представляет собой полноценный сад с газонами, кустарниками, деревьями, дорожками и зонами отдыха. Оно требует усиленного контроля конструкций, регулярного полива и комплексного ландшафтного обслуживания.

Типовая конструкция включает несущую основу, гидроизоляцию, корнезащиту, дренаж, фильтрующий слой, субстрат и растения. Конкретный состав определяется проектом.

Кровлю рекомендуется осматривать не реже одного раза в сезон, а также

после сильных ливней, штормов и других неблагоприятных погодных событий. При осмотрах проверяют состояние растений, субстрата, гидроизоляции в доступных местах, примыканий, парапетов и элементов благоустройства.

Экстенсивные кровли после укоренения обычно нуждаются в поливе преимущественно во время продолжительной засухи. Полуинтенсивные системы требуют более регулярного контроля влажности, а интенсивные – постоянного сезонного ухода, особенно за газонами, кустарниками и деревьями.

Необходимо удалять сорняки, сухостой и опавшую листву, восстанавливать оголённые участки, выполнять санитарную обрезку и проверять исправность автоматического полива.

Воронки, водостоки и аварийные переливы необходимо регулярно очищать от мусора и растительных остатков. Засорение водоотвода может вызвать застой воды, переувлажнение конструкции и протечки.

При обнаружении влаги внутри здания, повреждений примыканий или деформаций кровельных слоёв следует провести обследование и устранить причину дефекта. Ремонт гидроизоляции должен выполняться без повреждения соседних элементов кровельного пирога.

При расчёте нагрузки учитывают массу всех слоёв, водонасыщенного субстрата, растений, снега, оборудования и людей. Увеличивать толщину грунта, устанавливать тяжёлые конструкции или менять покрытие без инженерной оценки нельзя.

Работы на высоте выполняют с соблюдением требований охраны труда, используя предусмотренные проектом ограждения и страховочные системы.

Практические примеры.



Рис. 1. Пример экстенсивной кровли частного гаража

На плоской кровле устраивают гидроизоляцию с корнезащитой, дренаж, фильтрующий слой и небольшой объём специального субстрата. Высаживают седумы и засухоустойчивые растения.

Обслуживание включает сезонные осмотры, удаление сорняков, очистку воронок и полив при длительной засухе. Основная задача – сохранить растительный покров и обеспечить свободный отвод воды.

На крыше размещают цветники, декоративные злаки и многолетники, предусматривая технические проходы и доступ к водоприёмным устройствам. Полив организуют вручную или автоматически.



Рис. 2. Полуинтенсивная кровля административного здания

В течение сезона удаляют сорняки, обрезают отцветшие растения, проверяют влажность субстрата и состояние дренажа. Весной восстанавливают повреждённые посадки, осенью очищают водостоки.



Рис. 3. Интенсивная кровля жилого комплекса или гостиницы

На кровле создают сад с газонами, кустарниками, деревьями, дорожками и зонами отдыха. Конструкция должна учитывать водонасыщенную массу субстрата, снеговые и эксплуатационные нагрузки.

Обслуживание включает регулярный полив, стрижку газонов, обрезку растений, контроль устойчивости деревьев, очистку водоотвода и проверку дорожек, ограждений и освещения. Зимой организуют контроль снеговой нагрузки и безопасного доступа.

Сезонный график обслуживания:

- Весна: осмотр после зимы, очистка воронок, восстановление субстрата и растений, проверка полива.
- Лето: контроль влажности, полив, удаление сорняков, уход за газонами и кустарниками.
- Осень: удаление листвы, очистка водостоков, санитарная обрезка, подготовка полива к зиме.
- Зима: контроль снеговой нагрузки, проверка безопасности и регламентированная уборка снега при необходимости.

Нормативные ориентиры:

При проектировании и эксплуатации зелёных кровель следует учитывать:

- ГОСТ Р 58875-2020 «Зелёные» стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования.
- СП 17.13330.2017 «Кровли» с действующими изменениями.
- СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» с действующими изменениями.

Дополнительно могут применяться методические рекомендации FLL Green Roof Guidelines по проектированию, устройству и обслуживанию зелёных кровель.

Выводы и рекомендации:

Экстенсивное озеленение подходит для объектов с ограниченным бюджетом на содержание, полуинтенсивное – для декоративных кровель с умеренным уходом, интенсивное – для полноценных садов и общественных пространств.

Для надёжной эксплуатации необходимо разработать график осмотров, поддерживать исправность дренажа, контролировать состояние гидроизоляции и не допускать увеличения нагрузок без инженерной оценки. Ответственность за уход за растениями и техническое состояние кровли следует закрепить за назначенной эксплуатирующей организацией.

Список литературы

1. *Безуглова О.С. Урбопочвоведение / О.С. Безуглова, С.Н. Горбов, И.В. Морозов, Д.Г. Невидомская. – 2012. – 264 с.*
2. *Гинзбург А.С. Влияние теплового загрязнения атмосферы на климат города (оценки с помощью модели COSMO-CLM) / А.С. Гинзбург, С.А. Докукин // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 57, №. 1. – С. 53-66. https://doi.org/10.31857/S0002351521010053.*
3. *ГОСТ Р 58875-2020. Зеленые стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования. 2020. 54 с.*
4. *Дьячкова О.Н. Организационно-технологическая надежность городских озелененных пространств. Промышленное и гражданское строительство / О.Н. Дьячкова. – 2022. – С. 61-67. https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.07.61-67.*
5. *Жданова И.В. Экологические и эстетические аспекты применения вертикального озеленения и зелёных крыш в жилых зданиях / И.В. Жданова, А.А. Кузнецова, Е.Д. Дорофеева. – 2019. – 53-59 с.*
6. *Мягков М.С. Экологические последствия мезоклиматических аномалий Московского мегаполиса / М.С. Мягков // Экология урбанизированных территорий. – 2006. – №. 4. – С. 28-34.*
7. *Росстандарт. ГОСТ Р 58875-2020 «Зелёные» стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования. Официальная карточка документа: protect.gost.ru.*

ЭКОЛОГО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ АДАПТАЦИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ: ВНЕДРЕНИЕ «ЗЕЛЕНО-ГОЛУБОЙ» ИНФРАСТРУКТУРЫ КАК ОБЯЗАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ю.Н. Пушилина, А.В. Погодаева
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация**. В статье рассматриваются актуальные вопросы введения принципов экологической устойчивости в градостроительное проектирование. Анализируется концепция «зелено-голубой» инфраструктуры как эффективного инструмента адаптации городской среды. Предлагается пересмотр традиционных нормативов проектирования в пользу природно-ориентированных решений, обеспечивающих синергию экологических, социальных и экономических эффектов.*

***Ключевые слова**: экологические основы градостроительства, климатическая адаптация, «зелено-голубая» инфраструктура, устойчивое развитие территорий, городской остров тепла, природно-ориентированные решения.*

Современный этап развития урбанизированных территорий характеризуется беспрецедентным давлением на экосистемы. Согласно данным ООН, более половины населения планеты проживает в городах, которые генерируют до 70 % парниковых газов. Ключевой задачей становится не только минимизация негативного воздействия, но и активная адаптация городского пространства к неизбежным изменениям климата. Традиционные подходы к проектированию, основанные на инженерных методах защиты природных элементов от городской застройки, оказываются неэффективными. В связи с этим возникает необходимость перехода к методам, где природные процессы становятся основой проектных решений.

Классическая модель «серой» инфраструктуры (асфальт, бетон, ливневая канализация) приводит к нарушению естественного водообмена, формированию устойчивых зон перегрева и деградации почвенного покрова. В условиях роста частоты волн жары и ливневых осадков такие территории становятся зонами повышенного риска. Экологические основы градостроительного проектирования требуют учета этих факторов на стадии предпроектного анализа и разработки генерального плана.

Под «зелено-голубой» инфраструктурой понимается взаимосвязанная сеть природных и полуприродных элементов, включающая:

– «зеленые» компоненты: парки, скверы, зеленые крыши и фасады, уличное озеленение, биотопы;

– «голубые» компоненты: реки, пруды, водно-болотные угодья, системы дождевых садов, дренажные каналы и водопроницаемые покрытия.

Данный подход позволяет рассматривать воду и растительность не как второстепенные декоративные элементы, а как базовую несущую систему городской экологии.

Внедрение элементов «зелено-голубой» инфраструктуры в проектные решения позволяет решить ряд актуальных проблем:

– регулирование микроклимата: испарение влаги с поверхностей водоемов и транспирация растений снижают температуру воздуха в приземном слое на 2-4°С, что критически важно для борьбы с «островами тепла»;

– управление ливневыми стоками: «голубые» элементы (дождевые сады, биодренажные канавы) обеспечивают естественную инфильтрацию и задержание осадков, снижая нагрузку на ливневую канализацию и риск городских подтоплений;

– сохранение биоразнообразия: создание непрерывных экологических коридоров вдоль водных объектов и озелененных зон позволяет поддерживать популяции насекомых, птиц и мелких млекопитающих в условиях плотной застройки;

Для реализации данного подхода необходимо внесение изменений в нормативно-правовую базу и методологию проектирования:

– введение обязательных требований к коэффициенту экологической эффективности территории (доля «зелено-голубых» поверхностей);

– разработка местных нормативов градостроительного проектирования, учитывающих ландшафтно-климатические особенности конкретного региона;

– использование методов имитационного моделирования (например, моделирование ветровых потоков и тепловых полей) для оценки эффективности проектных решений на стадии концепции.

Таким образом, переход от фрагментарного озеленения к системной «зелено-голубой» инфраструктуре позволяет создать устойчивую среду, способную противостоять климатическим стрессам. Я считаю, что будущее городов зависит от того, насколько успешно мы сможем встроить природные механизмы саморегуляции в искусственную среду обитания человека. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку экономических стимулов для застройщиков и создание единой методологии оценки экосистемных услуг в градостроительстве.

Список литературы

1. Потапов А.Д. Экология: учебник / А. Д. Потапов. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 528 с.

2. Ильина, И. Н. Трансформация подходов к развитию «умного города» – Москва: Изд. дом Высшей школы экономики, 2023. – 248 с. – URL: https://id.hse.ru/data/2022/12/09/1716799916/Ильина_Коно-текст_сайт.pdf (дата обращения: 13.10.2026).

3. Теличенко В.И. Анализ и синтез образов экологически ориентированных инновационных технологий строительного производства / В.И. Теличенко, А.А. Лапидус, М.Ю. Слесарев // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 8. – С. 1298-1305. – URL: https://doi.org/10.22227/1997-0935.2023.8.1298-1305 (дата обращения: 13.10.2026).

4. Формирование климатически устойчивого будущего – новая Стратегия ЕС по адаптации к изменению климата / Европейская комиссия. – Брюссель:

Европейская комиссия, 2021. – 27 с. – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0082 (дата обращения: 13.10.2026).

5. Climate-ADAPT: Европейская платформа по адаптации к климату / Европейское агентство по окружающей среде. – Копенгаген: ЕАОС, 2012-2026. – URL: https://climate-adapt.eea.europa.eu/ (дата обращения: 13.10.2026).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АРХИТЕКТУРНОГО, ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО И ДИЗАЙНЕРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ

Ю.Н. Пушилина, П.Е. Бобкова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматриваются экологические методы архитектурного, градостроительного и дизайнерского проектирования, исследуются экологические принципы территориального развития городов.*

Современное градостроительное проектирование переживает фундаментальный сдвиг: от парадигмы «застройка любой ценой» к парадигме «устойчивость как основа». Здания и строительство сегодня отвечают за 37 % глобальных выбросов CO_2 и почти 50 % добычи материалов [1]. Ежедневно в мире строится около 12,7 млн м² новых площадей – это эквивалент добавления целого Парижа почти каждую неделю [2]. При таких темпах экологические принципы перестают быть «пожеланием» и становятся условием выживания городов.

Ключевые экологические принципы территориального развития сформировались на пересечении международных руководств и локальной практики. ООН-Хабитат выделяет несколько основополагающих направлений: проектирование компактных городских форм с низким углеродным следом, размещение застройки в зонах с невысоким риском, сохранение и восстановление качественных общественных пространств и зелёных территорий, а также планирование улиц, побуждающих к ходьбе и использованию общественного транспорта [3]. Эти принципы не существуют изолированно – они образуют систему, где каждый элемент усиливает остальные.

Принцип ландшафтосообразности заслуживает отдельного внимания. Исследования показывают, что градостроительная ткань должна «следовать» рельефу: в нижней части ландшафта плотность застройки минимизируется, уступая место озеленённым рекреационным зонам, тогда как на возвышенностях допускается более плотная застройка. Такое зонирование не только сохраняет природный каркас, но и снижает риски подтопления, сохраняет видовые точки и создаёт естественную вентиляцию города.

Полицентрическая модель как альтернатива моноцентричному росту набирает всё больше сторонников. Исследователи предлагают рассматривать

города не как «точки», а как сетевые экологические регионы, где производственные, рекреационные и экологические функции распределены сбалансированно [1]. Это противостоит стихийному разрастанию пригородов, которое ведёт к росту энергопотребления на транспорт, деградации зелёных поясов и «вымыванию» функций из центра [4].

Однако насколько эти принципы эффективны на практике? Глобальный статус-отчёт по зданиям и строительству 2025-2026 показывает противоречивую картину. С одной стороны, энергоёмкость зданий снизилась на 8,5 % за десятилетие, а сертификация «зелёных» зданий выросла почти втрое [2]. С другой – прогресс замедлился: инвестиции в энергоэффективность должны более чем удвоиться, достигнув 5,9 трлн долларов к 2030 году, чтобы удержать климатические цели в пределах досягаемости [2]. Рынок растёт, но недостаточно быстро.

Экономические барьеры остаются главным тормозом. Сертификация LEED Gold добавляет 8-12 % к строительному бюджету, а консультационные услуги по моделированию и верификации могут превышать 50 000 долларов на проектах среднего масштаба [1]. Для доступного жилья это критический барьер. В то же время ужесточение регулирования – директивы ЕС требуют нулевых операционных выбросов для всех новых зданий после 2030 года – создаёт риск «замороженных активов» для тех, кто не успевает адаптироваться [2]. Регулирование становится не только экологическим, но и финансовым инструментом.

Альтернативы существуют и активно развиваются. Там, где международные сертификаты (LEED, BREEAM) оказываются слишком дорогими или неадаптированными, локальные системы – например, индийская GRIHA – предлагают более доступные и климатически релевантные решения [3]. Исследования подчёркивают: «зелёная» архитектура не универсально переносима; она должна быть строго адаптирована к местным экологическим и институциональным реалиям [2]. В России это особенно актуально: климатическое разнообразие и различия в градостроительной культуре требуют собственных подходов, а не копирования европейских моделей.

Влияние на текущую ситуацию в проектировании уже ощутимо. Концепция «15-минутного города» – когда всё необходимое доступно в пределах пешей прогулки – переосмысляет саму структуру городской ткани [5]. Зелёные насаждения рассматриваются не как украшение, а как инфраструктура: они обеспечивают микроклиматический комфорт, очищают воздух, снижают шум и создают психоэмоциональную разгрузку [5]. Инвесторы начинают понимать, что комфортная среда окупается через капитализацию проектов [5].

Тем не менее, остаются нерешённые противоречия. Полицентричность требует координации между муниципалитетами, чего в российских условиях добиться сложно. Ландшафтосообразность конфликтует с экономическим давлением застройщиков, стремящихся максимизировать плотность. «Умные ландшафты» с автоматизированными системами полива и освещения требуют

постоянного финансирования эксплуатации – статья расходов, которую многие проекты не закладывают на этапе планирования.

Список литературы

1. U.S. Green Building Council. Forging resilience: Peter Templeton outlines forces reshaping green building in Europe. – 2026. – P.25-27.

2. Guil-Laynez Á. A narrative review of the socioeconomic and regulatory drivers shaping global green architecture / Á. Guil-Laynez [et al.] // Discover Sustainability. – 2026. – P. 77.

3. Большаков А.Г. Противоречия устойчивого развития градостроительной формы (на примере Иркутска) / А.Г. Большаков // Градостроительство и архитектура. Москва. 2024. – С. 98-114.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ МАТЕРИАЛОВ: ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА СТРОИТЕЛЬНЫХ И ОТДЕЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЁТОМ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

И.Д. Пономарев
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматриваются особенности рационального выбора строительных и отделочных материалов с позиции их экономической эффективности и экологической безопасности. Материал анализируется на протяжении всего жизненного цикла, начиная с добычи сырья и производства и заканчивая эксплуатацией, повторным использованием и утилизацией. Отдельное внимание уделяется сроку службы изделий, затратам на обслуживание, энергоэффективности, безопасности для человека и возможности переработки.*

Выбор материалов оказывает значительное влияние на качество будущего здания. От применяемой продукции зависят не только стоимость строительства и внешний вид объекта, но также его долговечность, эксплуатационные характеристики и уровень комфорта внутри помещений. Кроме того, производство и использование материалов связаны с потреблением природных ресурсов, энергии и воды, поэтому их подбор должен осуществляться с учётом экологических последствий.

Традиционная оценка чаще всего основывается на первоначальной стоимости материала. Однако такой подход не всегда позволяет определить его реальную экономическую выгоду. Дешёвая продукция может быстрее изнашиваться, требовать частого ремонта или замены, что в дальнейшем увеличивает общие расходы. Поэтому при проектировании целесообразно учитывать совокупную стоимость материала за весь период его эксплуатации.

Для комплексного анализа применяется оценка жизненного цикла — Life Cycle Assessment (LCA). Данный метод рассматривает весь путь материала: получение исходного сырья, изготовление, упаковку, транспортировку, монтаж,

эксплуатацию, ремонт, демонтаж и дальнейшее обращение с отходами. Оценка жизненного цикла помогает сопоставить различные материалы не только по цене, но и по расходу энергии, объёму выбросов, потреблению ресурсов и возможности повторного применения [1].

Первое внимание следует уделять происхождению сырья. Более рациональным решением может быть использование местных материалов, поскольку сокращение расстояния перевозки уменьшает транспортные расходы и связанные с ними выбросы. Положительно оцениваются также материалы, в составе которых используются вторичные ресурсы: переработанный металл, стекло, древесное сырьё и отдельные виды полимеров. Их применение позволяет сократить объём отходов и снизить потребность в добыче новых природных ресурсов.

Существенное влияние на окружающую среду оказывает процесс производства. Некоторые материалы требуют большого количества тепловой и электрической энергии, воды или химических компонентов. Поэтому перед покупкой желательно изучить сведения о технологии изготовления, составе продукции и наличии экологических сертификатов. Экологические декларации позволяют получить информацию о воздействии материала на разных стадиях его жизненного цикла и сравнить его с аналогами.

Одним из главных показателей экономической эффективности является срок службы. Материал, сохраняющий свои свойства в течение длительного времени, реже нуждается в замене и ремонте. Это особенно важно для фасадных покрытий, кровельных систем, напольных материалов, теплоизоляции и инженерных элементов. В некоторых случаях более дорогая продукция оказывается выгоднее, поскольку расходы на её обслуживание и обновление в течение всего периода эксплуатации значительно ниже.

При выборе отделочных материалов необходимо учитывать их влияние на качество внутренней среды. Для жилых помещений предпочтительны изделия с низким уровнем выделения летучих органических соединений, устойчивые к эксплуатации и безопасные при обычных условиях использования. В качестве возможных решений можно рассматривать водно-дисперсионные краски, керамическую плитку, натуральную древесину, пробковые покрытия и гипсовые изделия при условии подтверждения их соответствия требованиям безопасности [6].

Отдельное значение имеет теплоизоляция здания. Качественная теплоизоляционная система уменьшает потери тепла через стены, крышу, полы и перекрытия. Благодаря этому сокращается потребление энергии на отопление в холодный период и охлаждение помещений летом. При этом нельзя оценивать утеплитель только по его сопротивлению теплопередаче. Следует также учитывать энергоёмкость производства, устойчивость к влаге, срок службы, возможность демонтажа и способ последующей утилизации.

Рациональный выбор предполагает и сокращение строительных отходов. Этой цели способствуют модульные и разборные конструкции, ремонтопригодные покрытия, а также материалы, которые можно заменить

частично, без демонтажа всей системы. Повторное использование кирпича, древесины, металла, стекла и некоторых видов керамики снижает объём отходов и уменьшает потребность в выпуске новой продукции. Такой подход соответствует принципам циркулярной экономики, при которой материалы сохраняют ценность как можно дольше [5].

Экономическая эффективность материала складывается из нескольких показателей. К ним относятся цена приобретения, затраты на доставку и монтаж, необходимость специального оборудования, срок службы, расходы на обслуживание, потребление энергии и стоимость демонтажа. Дополнительно следует учитывать возможность ремонта, повторного применения и переработки. Поэтому сравнение только по цене за единицу продукции может привести к ошибочному решению.

Для выбора наиболее подходящего материала можно составить таблицу критериев и оценить каждый вариант по пятибалльной шкале. В неё могут входить стоимость, долговечность, экологическая безопасность, энергоёмкость производства, транспортная доступность, ремонтопригодность и возможность переработки. Итоговая оценка позволит определить материал, наиболее соответствующий условиям конкретного проекта. При этом значимость критериев может изменяться в зависимости от назначения здания, климата, бюджета и требований к эксплуатации.

Таким образом, экономичный материал – это не обязательно самый дешёвый вариант. Его эффективность определяется тем, насколько рационально он используется на всех этапах жизненного цикла. Комплексный анализ позволяет уменьшить расходы на строительство и обслуживание, повысить энергоэффективность здания, сократить количество отходов и снизить негативное воздействие на природу. Применение долговечных, безопасных и перерабатываемых материалов формирует основу устойчивого строительства, в котором экономические интересы сочетаются с комфортом человека и ответственным использованием природных ресурсов.

Список литературы

1. Микульский В.Г. Строительные материалы: учеб. пособие / В.Г. Микульский [и др.]. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004 – 536 с.

2. Киреева Ю.И. Строительные материалы: учеб. пособие / Ю.И. Киреева. – Минск: Новое знание, 2005 – 400 с.

3. Айрапетова Г.А. Строительные материалы: учеб. пособие / Г.А. Айрапетова, Г.В. Несветаева. – Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2004 – 608 с.

4. Косых А.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Искусственные и природные строительные материалы и изделия : учеб. пособие / А.В. Косых, Н.А. Лохова, И.А. Макарова. – Братск: БрГТУ, 2003 – 175 с.

5. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие / И.А. Рыбьев. – М.: Высш. шк., 2004 – 701 с.

6. Попов Л.Н. Строительные материалы: учебник / Л.Н. Попов, И.Л. Попов. – М.: ГУП ЦНН, 2000 – 384 с.

7. Основин В.Н. Справочник по строительным материалам и изделиям / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Д.С. Дубаго. – Ростов н/Д: Изд-во «Феникс», 2005 – 443 с.

8. Жизненный цикл и его оценка как инструмент экологического анализа: методическое пособие. URL: https://op.vlsu.ru/fileadmin/Programmy/Magistratura/05.04.06/Metod_doc/Ucheb_posob_JizCikl_050406_2016.pdf.pdf. (Дата обращения 11.10.2026г.)

«АРХИТЕКТУРА ОТВЕРЖЕННЫХ»: СОЦИАЛЬНАЯ ЖИЗНЬ САМОВОЛЬНО ЗАНЯТЫХ ПРОСТРАНСТВ

Е.Н. Щемелинина
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматривается неформальная архитектура, ее роль в формировании социальных связей, передаче практических навыков, взаимопомощи и развитии неформальных сообществ на примере промышленного города Тулы, а так же противоречие между традиционным градостроительным восприятием таких пространств как депрессивных территорий и их реальной социальной ценностью, анализируется проблема разрушения сложившихся сообществ в результате сноса и благоустройства подобных объектов.*

В Туле, как и во многих других старых промышленных городах, существует неформальная архитектура: гаражи, погреба, самодельные мастерские, заброшенные заводские корпуса и пустующие территории. Часто такие места воспринимаются как городской упадок, однако за их непривлекательным внешним видом скрывается активная социальная жизнь. Гаражные кооперативы Мясново, Криволучья и Перекопа можно рассматривать не только как хозяйственные территории, но и как места общения, взаимопомощи и передачи навыков.

Неформальная архитектура включает пространства, которые создаются самостоятельно или организуются людьми, вне процессов профессионального проектирования. С точки зрения градостроительства такие территории могут выглядеть хаотичными и неухоженными. Однако социальная экология предлагает оценивать их не только по внешнему виду, но и по тому, какие функции они выполняют в жизни общества.

Гаражи нередко становятся своеобразными мужскими клубами, где люди общаются, ремонтируют автомобили и помогают друг другу. Особое значение гаражи имеют для передачи знаний между поколениями, отцы и дедушки обучают детей работе с инструментами, ремонту и самостоятельному решению бытовых задач. Таким образом, гараж становится не только хозяйственным объектом, но и пространством неформального образования, представляя собой сложившуюся социальную экосистему.

Заброшенные заводские корпуса, склады и бывшие производственные площадки также могут приобретать новые социальные функции. Иногда они становятся местами творчества и встреч для художников, музыкантов, скейтеров и других неформальных сообществ. Заброшенные промзоны становятся убежищем для бездомных животных. В отличие от официальных общественных площадок, они не всегда имеют заранее установленный сценарий поведения, что создаёт условия для экспериментов и самовыражения.

Однако заброшенные здания могут представлять опасность из-за повреждённых конструкций и загрязнения. Поэтому их социальная ценность не означает, что необходимо сохранять их в небезопасном состоянии. Важно искать способы адаптации таких объектов с учётом экологических требований.

Снос гаражных кооперативов и заброшенных объектов часто объясняется стремлением улучшить внешний облик города. На месте неухоженных территорий появляются парки, жилые комплексы и благоустроенные пространства. Но визуальное улучшение не всегда означает сохранение социальной ценности. Если гаражный массив десятилетиями служил местом общения и взаимопомощи, его уничтожение может разрушить привычные связи между людьми.

Однако неформальные пространства могут создавать экологические и санитарные проблемы: накапливать отходы, загрязнять почву, нарушать правила использования территории и затруднять доступ к инженерным коммуникациям. Следовательно, их сохранение должно сопровождаться оценкой безопасности и состояния окружающей среды.

Решением может стать комплексное преобразование подобных территорий. Оно предполагает улучшение освещения, организацию сбора отходов, обеспечение безопасности и адаптацию пригодных зданий к новым функциям. При этом необходимо учитывать мнение людей, которые уже используют эти пространства.

«Архитектура отверженных» является важной частью городской среды, поскольку они могут поддерживать социальные связи. Город создаётся не только архитекторами и чиновниками, но и людьми, которые ежедневно наполняют его пространство жизнью. Поэтому развитие городской среды должно учитывать не только эстетику и экономическую эффективность, но и социальные функции территорий, ставших частью повседневной жизни жителей.

Список литературы

1. Пушилина Ю.Н. Осуществление экологического контроля в сфере строительства / Ю.Н. Пушилина // Современные проблемы экологии: доклады XX Междунар. науч.-технич. конференции под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Инновационные технологии, 2018. – С. 89-91.

2. Пушилина Ю.Н. Развитие систем экологического мониторинга в зонах возведения и функционирования строительных комплексов и сооружений / Ю.Н. Пушилина // Интернет-журнал «Науковедение». – Том 9, №4 (2017г.). Объём 0,533 Мгб. https://naukovedenie.ru/PDF/80TVN417.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

3. Пушилина Ю.Н. Организация и формирование искусственной среды на основе комплексного экологического подхода / / Ю.Н. Пушилина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Серия / ТулГУ. – Тула., 2016. – Вып.7,ч.2. – С. 145-151.

4. Официальный сайт правительства Российской Федерации [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://government.ru (Дата обращения 7.03.2021).

5.https://bfometr.ru/blog/neformalnaya-arhitektura-v-rossii?ysclid=mvpri0mb7e283594000 (Дата обращения 12.10.2026г.)

6.https://cyberleninka.ru/article/n/gorodskie-ruiny-vizualnost-sotsialnyh-smyslov/viewer(Дата обращения 12.10.2026г.)

ВНЕДРЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ В АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

М.М. Свирилина
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация**. В статье рассматриваются основные направления внедрения экологических инноваций в архитектуре и строительстве. Анализируются энергоэффективное проектирование, применение экологичных материалов, использование возобновляемых источников энергии и интеграция природных элементов в городскую среду.*

Строительная отрасль истощает природные ресурсы и загрязняет окружающую среду на всех этапах своего жизненного цикла от возведения зданий до их многолетней эксплуатации, что выводит вопросы экологической стороны архитектуры на передний план. Новые принципы проектирования, закладывают экологическую эффективность будущего здания задолго до начала непосредственных строительных работ. Именно эта предварительная стадия, т.е. этап концептуальной проработки объекта, определяет его дальнейшее воздействие на биосферу, минимизируя неизбежный ущерб от антропогенной нагрузки на экосистему.

Энергоэффективность зданий сегодня опирается на теплоизоляцию и пассивное проектирование, базовые принципы современной строительной физики, т. е. комплекс инженерных и планировочных решений, направленных на сохранение тепла. Помимо этого, грамотная конфигурация объекта способна минимизировать теплопотери, увеличить время естественной инсоляции и снизить общую нагрузку на инженерные системы. Например, жилой комплекс Nieuw Bergen выделяется своей крышей, рассчитанной под направление солнечного света. Высаженные на его поверхности зеленые насаждения позволяют поглотить количество углекислого газа, соразмерное количеству, поглощаемому этим же участком, не занятым зданием.

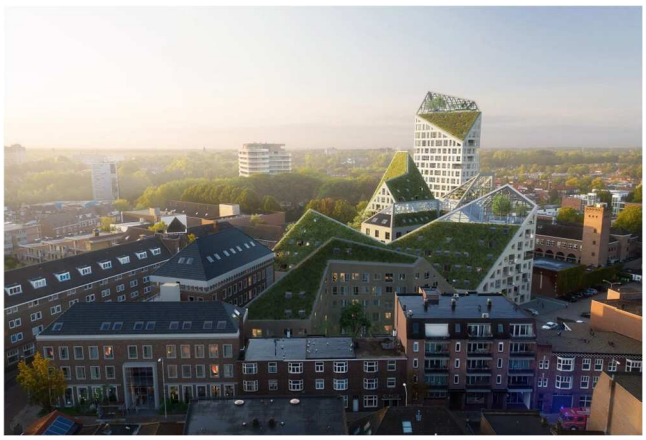


Рис. 1. ЖК Nieuw Bergen, Эйндховен (Нидерланды).
Проект роттердамского бюро MVRDV

Другим направлением является применение возобновляемых источников энергии. Солнечные панели и тепловые насосы позволяют частично обеспечивать потребности здания в энергии и уменьшить зависимость от традиционных источников. Но эффективность этих систем зависит от климатических условий, особенностей участка и качества проектирования, поэтому их необходимо рассматривать как часть общей стратегии энергоэффективности.

Экономия водных ресурсов выступает фундаментальным элементом экологичного проектирования через внедрение специальных инженерных систем (оборотное водоснабжение и локальные очистные сооружения), т.е. комплекс практических способов снижения потребления питьевой воды на объекте, направленный на рациональное использование пресной воды.

Интересную идею предложили компании BOGL, WSP Danmark и Lendager Group, создав проект «Двор будущего». Отличительной чертой этого двора стала сложная система сбора дождевой воды, которая скапливается в искусственном водоёме, что позволит снизить нагрузку на инженерные сети и, как следствие, оптимизировать их работу. Помимо этого, эту систему можно использовать для выращивания водных растений. Следуя этому направлению, идею можно адаптировать и под иные «водные» вопросы.



Рис. 2. Двор будущего. Копенгаген (Дания). Проект компаний BOGL,
WSP Danmark и Lendager Group

Не менее важен выбор строительных материалов. Производство цемента, металла и стекла требует значительных энергетических затрат. Перспективными решениями становятся использование древесины из ответственно управляемых лесных ресурсов, переработанного сырья и конструкций, допускающих повторное применение. Тем не менее при оценке экологичности материала необходимо учитывать не только его происхождение, но и долговечность, безопасность для здоровья, затраты на транспортировку и возможность утилизации. Например, материал с низкой стоимостью производства не обязательно будет наиболее рациональным, если он быстро теряет свои свойства и требует частой замены. Поэтому важно оценивать полный жизненный цикл здания – от получения сырья до демонтажа конструкций. Так набирают популярность многослойные каркасные конструкции, позволяющие комбинировать полезные свойства разных материалов, достигая максимальной эффективности по нескольким параметрам, например, легкость и скорость в сборке быстровозводимых конструкций позволит уменьшить экономические и человеческие затраты на сборку, которые можно перераспределить на более дорогостоящие экологические нововведения.

Экология города представляет собой сложную систему, требующую комплексного подхода, охватывающего как отдельные здания, так и всю городскую среду в её совокупности. Устойчивость городской застройки зависит от множества факторов: транспортной доступности и обязательного сохранения природных зон.

Архитектурная среда обогащается природными компонентами ради очевидных экологических преимуществ, хотя эффективность внедряемых экоинноваций оказывается ограничена множеством технических и климатических факторов. Подобная сложность принимаемых решений требует междисциплинарного согласования проектов на каждом этапе – от зарождения идеи до её реализации в городской застройке.

Экологичность здания зависит от взаимной согласованности инженерных решений, а не от простого набора «зеленых» технологий, каждая из которых имеет свои ограничения, вроде неспособности солнечных панелей покрыть все теплопотери. Этот тезис необходим в работе для перевода дискуссии от количественного накопления экотехнологий к системному подходу в проектировании.

Экологическая оценка архитектурных решений представляет собой сложную процедуру, которая требует комплексного анализа ресурсов и отходов через инструмент оценки жизненного цикла метод, охватывающий все этапы существования объекта от добычи материалов до его окончательной утилизации. Функциональные экологические элементы здания напрямую формируют его уникальную художественную концепцию и внешний облик, подчиняя эстетическую сторону строения соображениям его рационального взаимодействия с окружающей средой. Подобный экологический подход значительно расширяет возможности архитектурного проектирования, открывая перед мастерами новые выразительные средства и принципы формообразования,

хотя на практике подобный синтез утилитарного и прекрасного долгое время воспринимался скептически.

Экологические инновации представляют собой комплекс проектных и инженерных решений, направленных на минимизацию вреда природе через энергоэффективность и интеграцию природных элементов. Подобная деятельность требует комплексного подхода охватывающего все этапы проектирования ради максимальной результативности. Возникает вопрос, насколько далеко способна зайти эта практика в современных условиях. Без системного применения экологических инноваций невозможно достичь подлинной гармонии между искусственной средой обитания и хрупкими экосистемами, хотя отдельные технологические элементы уже активно внедряются на практике повсеместно.

Экологичность прочно закрепилась в статусе базового критерия качества наряду с привычными требованиями к строительству, тогда как проектирование переориентируется на бережное взаимодействие с ресурсами и территорией благодаря внедрению экостандартов, т. е. специальных норм снижения нагрузки на окружающую среду.

Список литературы

1. Пушилина Ю.Н. Организация и формирование искусственной среды на основе комплексного экологического подхода / Ю.Н. Пушилина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2016. – Вып. 7. – Ч. 2. – С. 145=151.

2. Пушилина Ю.Н. Осуществление экологического контроля в сфере строительства / Ю.Н. Пушилина // Современные проблемы экологии: доклады XX Международной научно-технической конференции / под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Инновационные технологии, 2018. – С. 89-91.

3. Пушилина Ю.Н. Применение экологичных строительных материалов / Ю.Н. Пушилина // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник научных трудов XV Международной конференции. – Минск: БНТУ, 2019. – Т. 1. – С. 394-398.

4. Пушилина Ю.Н. Экология и экологическая безопасность в градостроительстве (на примере Тульской области): монография / Ю.Н. Пушилина. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2021. – 317 с.

5. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с последующими изменениями).

6. Рахманов П.А. Экологические технологии в строительстве: устойчивое развитие и зелёные здания / П.А. Рахманов, Ш. Рахманбердиев, А. Атамырадов // Инновационная наука. 2024. Научная статья по строительству и архитектуре. Анисимова И.И. «Уникальные дома от Райта до Гери». – М.: Архитектура-С, 2009. – С.17-19.

ОРГАНИЗАЦИЯ ГОРОДСКОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ: ВИДЫ, ПРИЕМЫ, НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Ю.Н. Пушилина, О.Д. Наумова
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В работе рассматривается городское озеленение как одна из базовых составляющих экологического каркаса населённого пункта. Даётся характеристика стационарного и мобильного озеленения, а также их частных форм – крышного и вертикального. Обобщаются применяемые на улицах и в общественных пространствах приёмы размещения растительности.*

Ключевые слова*: озеленение города, стационарные посадки, мобильные формы озеленения, вертикальное озеленение, крышное озеленение, нормативы, экологический каркас, благоустройство.*

Зелёный фонд города выполняет не только эстетическую задачу. Растительность участвует в формировании микроклимата, снижает уровень шума и загрязнения, создаёт условия для отдыха и тем самым входит в число базовых элементов экологического каркаса. Чем плотнее застройка и сильнее человеческое влияние на среду – тем острее становятся все эти задачи. Цель работы – упорядочить представления о видах озеленения, охарактеризовать современные приёмы его организации и обобщить действующие нормативные ограничения [1].

Всегда поражает, как многообразно можно озеленять город: даже на уровне базовой классификации выделяют два главных подхода – стационарный и мобильный. Первый – классика: дерево или куст высаживается прямо в землю. Второй – вариант для гибких пространств: растения размещают в контейнерах, вазонах, кадках – всё это легко переставить или убрать при необходимости. Думаю, многие замечали такие передвижные «островки» на пешеходных улицах или у входов в здания; их особенно выручают там, где копать бессмысленно – скажем, из-за коммуникаций под землёй или особенного рельефа [1].

Совсем другая история – крышное и вертикальное озеленение. Крыши современных зданий (если они не слишком крутые) всё чаще покрыты ковром седума или даже целыми мини-лугами – особенно это любят архитекторы новых ЖК и офисов. С фасадами ситуация интереснее: когда свободной земли не осталось (пример знаком почти всем центрам крупных городов), на помощь приходят «зелёные стены». В 2024-м появился отдельный стандарт безопасности для таких конструкций – теперь у них определены чёткие технические требования [3].

Что касается приёмов размещения зелёных насаждений, тут богатейшая палитра: от массивов и аллей до отдельных «солитёров» и шпалер вдоль дорожек. Даже посадочные схемы разнятся: рядовые посадки хороши для строгих городских бульваров; букетные группы больше подойдут там, где хочется создать ощущение лёгкой небрежности. [4].

Уличное озеленение требует точного расчёта: мало просто воткнуть саже-

нец между тротуаром и дорогой. Нужны газоны в разделительных полосах, цветники у перекрёстков, крупномеры у фасадов учреждений; то есть зелень интегрируется буквально во все уголки общественного пространства. Вертикальное озеленение опор освещения или подпорных стенок обычно доверяют лианам и «вьюнкам» – те же девичьи виноградыотлично справляются с задачей [5].

При озеленении бульваров формируют полосы насаждений, отделяющие внутреннюю территорию от улицы. Перед крупными общественными зданиями предусматривают широкие видовые разрывы, фонтаны и цветники. В скверах используют приёмы, позволяющие зрительно расширить озеленяемое пространство [5].

Очень жизненный пример перемены подхода – Тульский проспект Ленина. Раньше там был плотный строй лип; но болезнь деревьев – тиростромоз – вынудила пересмотреть концепцию полностью. Кое-что удалось пересадить на окраину города, в Ильинское, а центральную часть пришлось оформлять мобильными вазонами с сезонными цветами. По обочинам установлено 20 сборных каменных вазонов из бетона с каменной примесью; обсуждается их применение в зимних световых композициях и высадка в кадки декоративно-лиственных пород. Это не только косметическое решение: когда высокие деревья погибают, их невозможно заменить сразу новыми полноценными насаждениями – нужны годы для восстановления тех же климатических функций [6].

Есть целый пласт нормативов, который определяет правила по части озеленения города. Нормативную основу задаёт СП 42.13330 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» [1]. При детальном рассмотрении генплана любого российского города, получится, что минимум 55 % территории должен занимать зелёный фонд разных типов; для жилых районов чуть меньше – четверть площади под зелёные насаждения [1].

Парки и скверы рассчитывают индивидуально от количества жителей: условно говоря, каждому горожанину полагается определённая «порция» городской природы. Для крупнейших, крупных и больших городов норматив равен 10 м²/чел. для общегородских территорий и 6 м²/чел. для жилых районов. Для городов-курортов нормы разрешено повышать, но не более чем на 50 %. Если в городе есть предприятия, для которых требуется санитарно-защитная зона шире 1 км, уровень озеленённости застройки следует увеличивать не менее чем на 15 % [1].

Отдельные ограничения касаются расстояний между растениями и постройками: никто не хочет выяснять через десять лет после посадки дерева, что его корни прорвали фундамент дома. Тут как раз работают жёсткие нормативы: от наружной стены здания до оси ствола дерева должно быть не менее 5,0 м, до кустарника – не менее 1,5 м. Эти значения относятся к деревьям с диаметром кроны до 5 м; для более крупных крон нормативы увеличиваются [1].

При проектировании учитывают размеры комов, посадочных ям и траншей, ориентировочную долю озеленения на участках разного функционального назначения, а также параметры сортировки посадочного материала.

Особенно строго подходят к санитарным защитным зонам промышленных предприятий – их приходится окружать настоящими зелёными барьерами из устойчивых к выбросам пород (не всякая берёзка выдержит этот фронт). Площадь озеленения СЗЗ определяется по СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200: для предприятий IV и V классов – не менее 60 % площади, для предприятий II и III классов – не менее 50 % [2]. Для СЗЗ подбирают растения, устойчивые к загрязнению атмосферы и почвы промышленными выбросами [2].

Как хорошо видно на примере металлургического предприятия «Тулачермет», озеленение промышленных зон выполняет далеко не декоративную роль. Здесь зелёные щиты защищают окрестные деревни от шумовых волн и вредных примесей воздуха; поэтому важно выбирать виды растений, специально закалённых против агрессивной среды (сплошное эстетство тут будет вредно). Эти зоны должны проектироваться с учётом всей системы расселения вокруг завода [2].

При неблагоприятных техногенных и климатических воздействиях рекомендуется создавать защитные насаждения. Если действует несколько факторов, следует выделять ведущий по интенсивности и (или) наиболее значимый для функционального назначения территории [1].

Вообще организация городского озеленения напоминает шахматную партию на огромной доске: каждому элементу находят своё место в условиях постоянно меняющейся городской среды. Среди новых тенденций явно виден интерес к модульному озеленению (когда элементы можно быстро менять местами под задачу праздников или смены сезонов), расширению вертикальных систем и тотальному вниманию к юридическим деталям работы с растительностью [3-6].

Качественная продуманная система зелёных насаждений буквально делает жизнь в городе здоровее и приятнее на всех уровнях. Судя по всему, развитие зелёного каркаса дальше будет идти рука об руку с технологическими инновациями и переосмыслением стандартов под новые экологические вызовы времени [3–6].

Список литературы

1. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 декабря 2016 г. № 1034/пр. – Москва: Стандартинформ, 2016.

2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25 сентября 2007 г. № 74.

3. ГОСТ Р 71332-2024. «Зеленые» стандарты. Вертикальное озеленение фасадов зданий и сооружений. Технические и экологические требования: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта. – Москва: Российский институт стандартизации, 2024.

4. Бондарева Э.Д. Проектирование городских улиц и дорог: учебное пособие / Э.Д. Бондарева. – Москва: КНОРУС, 2025. – 320 с.

5. Мартяхин Д.С. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие / Д.С. Мартяхин, А.В. Косцов, С.С. Мордвин. – Москва: МАДИ, 2018. – 68 с.

6. Каменные вазоны для каменных джунглей. О новых малых архитектурных формах в центре оружейной столицы // Вести-Тула. [Электронный ресурс] https://vestitula.ru/lenta/69270?ysclid=mvqx6q2mjb931506373 (дата обращения: 27.10.2026).

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АРХИТЕКТУРНОГО, ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО И ДИЗАЙНЕРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДОВ

Т.П. Назарова
Тульский государственный университет,
г. Тула

***Аннотация**. В статье рассматриваются основные экологические методы архитектурного, градостроительного и дизайнерского проектирования. Особое внимание уделяется принципам рационального использования территорий, сохранению природного каркаса городов, развитию зелёной инфраструктуры, снижению транспортной нагрузки и эффективному использованию природных ресурсов. Рассматриваются способы повышения энергоэффективности зданий, рационального использования воды и строительных материалов, а также повторного использования существующей застройки. Показано значение комплексного экологического подхода для формирования комфортной, безопасной и устойчивой городской среды.*

Современное развитие городов сопровождается увеличением антропогенной нагрузки на окружающую среду. Рост городской застройки, развитие транспорта и инженерной инфраструктуры приводят к сокращению природных территорий, загрязнению воздуха и воды, повышению уровня шума и изменению микроклимата. Поэтому экологические принципы становятся важной частью современного архитектурного и градостроительного проектирования [5].

Экологический подход предполагает комплексное рассмотрение территории с учётом природных условий, климата, существующих экосистем, транспортной системы и потребностей населения. Основная задача экологического проектирования заключается в создании комфортной и безопасной городской среды при минимальном негативном воздействии на природу [5].

Одним из основных принципов является «рациональное использование территории». Чрезмерное расширение города приводит к увеличению протяжённости дорог и инженерных сетей, а также к сокращению природных и сельскохозяйственных земель. Поэтому современное градостроительство предусматривает более эффективное использование уже освоенных территорий, реконструкцию существующих районов и ограничение чрезмерного расползания городской застройки [4, 5].

Важное значение имеет сохранение «природного каркаса территории». Леса, водоёмы, реки, овраги, парки и другие природные объекты необходимо учитывать как полноценную часть городской структуры. Их сохранение способствует поддержанию биоразнообразия и улучшению микроклимата [5, 6].

Особое место занимает формирование «зелёного каркаса города», включающего парки, скверы, бульвары, лесопарки и озеленённые улицы. Зелёные территории выполняют не только рекреационную, но и экологическую функцию: снижают перегрев, задерживают пыль, улучшают качество воздуха и создают благоприятные условия для отдыха населения. UN-Habitat рассматривает зелёную инфраструктуру и природные решения как важные инструменты повышения устойчивости городов к климатическим изменениям [6].

При проектировании необходимо учитывать природно-климатические особенности территории. Ориентация зданий, их высота и плотность застройки влияют на инсоляцию, естественное проветривание и микроклимат. Грамотное расположение зданий позволяет обеспечить достаточное количество солнечного света и одновременно снизить перегрев территории [3, 5].

Важным экологическим направлением является «снижение транспортной нагрузки». Для этого необходимо развивать общественный транспорт, пешеходные и велосипедные маршруты. Жилые районы должны иметь удобную связь с объектами повседневного обслуживания – магазинами, школами, детскими садами, спортивными и общественными объектами. Это позволяет уменьшить зависимость населения от личного автомобиля и снизить выбросы загрязняющих веществ [5].



Рис. 1. Пример озеленения урбанизированной территории

Озеленение улиц также является важной частью экологического проектирования. Деревья создают тень, уменьшают нагрев покрытий, способствуют снижению уровня шума и улучшают визуальное восприятие городской среды. Поэтому озеленение следует рассматривать не только как декоративный элемент, но и как функциональную часть городской инфраструктуры [6].

Экологические принципы распространяются на использование энергии, воды и строительных материалов. На уровне архитектурного проектирования снизить энергопотребление можно за счёт правильной ориентации здания, качественной теплоизоляции, энергоэффективного остекления, естественного освещения и современных инженерных систем [2, 3].

При выборе строительных материалов необходимо учитывать их долговечность, происхождение, возможность повторного использования и утилизации. Такой подход позволяет уменьшить количество отходов и снизить воздействие строительства на окружающую среду [2].

Важным направлением является рациональное использование дождевой воды. Большое количество асфальтированных и других водонепроницаемых поверхностей препятствует её естественному проникновению в грунт. Для решения этой проблемы могут применяться водопроницаемые покрытия, дождевые сады, озеленённые понижения рельефа и другие элементы зелёной инфраструктуры [6].

Российские нормативные документы также закрепляют экологические требования к объектам недвижимости и принципы рационального использования природных ресурсов. В частности, ГОСТ Р 54964-2023 рассматривает экологические требования к объектам недвижимости с учётом их воздействия на окружающую среду [1].

На уровне отдельного здания экологический подход направлен на снижение энергопотребления, рациональное использование ресурсов и создание комфортной среды для человека. Важными характеристиками экологической архитектуры являются естественное освещение и проветривание, теплоэффективность, использование долговечных материалов и снижение водопотребления [2, 3].

Экологический дизайн касается также организации общественных пространств. Они должны быть доступными, безопасными и удобными для различных групп населения. Использование озеленения, природных материалов и элементов благоустройства позволяет улучшить визуальные и микроклиматические характеристики пространства [3, 6].

Отдельное значение имеет «повторное использование существующих зданий». Реконструкция и приспособление уже существующей застройки позволяют сохранить конструкции и инженерную инфраструктуру, сократить расход строительных материалов и уменьшить количество отходов. Поэтому экологическое проектирование связано не только с созданием новых объектов, но и с рациональным использованием уже сформированной городской среды [2, 5].

В итоге, экологические методы архитектурного, градостроительного и дизайнерского проектирования являются важной частью устойчивого развития современных городов. К основным принципам относятся рациональное использование территории, сохранение природных объектов, формирование зелёного каркаса, развитие общественного транспорта и пешеходной инфраструктуры, эффективное использование энергии и воды, применение долговечных материалов и повторное использование существующей застройки [1-6].

Экологичный город – это не просто территория с большим количеством зелёных насаждений. Это комплексная система, в которой архитектура, транспорт, инженерная инфраструктура, природные территории и общественные пространства взаимодействуют между собой. Применение экологических принципов позволяет одновременно снизить нагрузку на окружающую среду и повысить качество жизни населения [5, 6].

Список литературы

1. ГОСТ Р 54964-2023. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости.

2.ГОСТ Р 57274.2-2016. Устойчивое развитие в строительстве. Часть 2. Принципы оценки экологических показателей.

3. ГОСТ Р 71472-2024. Экологические требования к объектам недвижимости. Экологически ориентированная архитектура с применением высоких технологий.

4. СП 42.13330.2026. Градостроительство. Планировка и застройка территорий.

5. UNEP.Integrating the Environment in Urban Planning and Management: Key Principles and Approaches for Cities in the 21st Century. 2013.p.117-123.

6. UN-Habitat.Integrating Nature-based Solutions into Urban & Territorial Planning: Building Biodiverse & Resilient Cities. 2025.p.14-16.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ АКТИВНОЙ УРБАНИЗАЦИИ И РОСТА ПЛОТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

П.Д. Старухина
Тульский государственный университет,
г. Тула

Аннотация. *В статье рассматривается влияние высотной застройки на экологическое состояние городской среды в условиях активной урбанизации и роста плотности населения. Анализируются основные экологические проблемы, связанные с повышенным потреблением природных ресурсов, образованием выбросов газов и изменением микроклимата. Уделяется внимание формированию эффекта городского острова тепла, сокращению озеленённых пространств и изменению водного баланса. Предлагаются способы снижения экологической нагрузки, включающие совершенствование фасадных систем, применение энергоэффективных технологий и сохранение природных компонентов городской среды.*

Высотное строительство стало одним из главных направлений развития и урбанизации городов за последние 100-130 лет. Дефицит земельных участков для малоэтажной застройки и рост численности населения способствуют появлению многоэтажных комплексов – деловых и жилых. Это предоставляет возможность размещения большего количества людей на рабочих местах или в местах жительства. Но какой ценой для окружающей среды даётся использование концентрированной площади?



Рис. 1. Строительство высотного здания: использование бетона и строительной техники

В первую очередь высотные здания требуют больших затрат ресурсов: воды, электроэнергии, кондиционирования и вентиляции, освещения. Оказывается, повышенная нагрузка на инженерные сети и природные ресурсы. Экологическая нагрузка высотного строительства формируется на протяжении всего жизненного цикла здания. Строительные работы от производства материалов и до их перевозки вызывают значительные выбросы углерода, что является важной экологической проблемой нашего времени. На начальном этапе значительная часть выбросов парниковых газов связана с производством строительных материалов, прежде всего цемента, стали и стекла, изготовление которых требует существенных энергетических затрат. Дополнительное воздействие возникает при транспортировке материалов, работе строительной техники и организации строительной площадки.



Рис. 2. Пространственное распределение температуры поверхности в Москве.
Источник: проект «Карта жары» ИПИИР

После ввода объекта в эксплуатацию экологический след определяется потреблением энергии, эффективностью инженерных систем, частотой проведения ремонтных работ и сроком службы конструкций. На завершающем этапе существенное значение приобретают демонтаж здания, образование строительных отходов и возможность повторного использования материалов. Следовательно, оценка экологичности высотного объекта не может ограничиваться показателями энергопотребления в период эксплуатации. Необходим комплексный подход, учитывающий совокупное воздействие здания от производства материалов до окончания его жизненного цикла.

Ещё одной из ведущих экологических проблем, вызванных высотной застройкой, является изменение микроклимата города. В связи с этим используется термин «*городской остров тепла*» – явление, при котором температура в городской застроенной среде оказывается выше, чем на окружающих, менее застроенных, территориях. Высотные здания и прилегающие искусственные поверхности, включая бетон, асфальт и фасадные покрытия, поглощают солнечную энергию, нагреваются и постепенно отдают тепло в окружающую среду. Дополнительный вклад в повышение температуры вносит работа инженерного оборудования. Кондиционеры, вентиляционные установки и другие системы отводят тепло из помещений наружу, что усиливает нагрев уличного пространства за счёт антропогенного тепла. К изменению микроклимата также приводит вырубка деревьев и уменьшение площади открытого грунта, вследствие чего сокращаются возможности естественного охлаждения городской среды.

Помимо воздействия на температурный режим, высотная застройка оказывает существенное влияние на аэродинамические характеристики городской среды. Взаимное расположение зданий и их высота определяют направление и скорость воздушных потоков на уровне улиц и общественных пространств. Вблизи высотных корпусов могут возникать зоны усиленного ветра, турбулентности и локального застоя воздуха. Подобные явления оказывают влияние на комфортность пешеходных пространств, условия естественной вентиляции и распространение загрязняющих веществ. В плотной городской застройке недостаточная циркуляция воздуха может способствовать накоплению выхлопных газов и других загрязнителей в нижнем слое тропосферы. Таким образом, при проектировании высотных зданий необходимо учитывать не только их архитектурную выразительность и функциональность, но и аэродинамическое взаимодействие с окружающей застройкой.

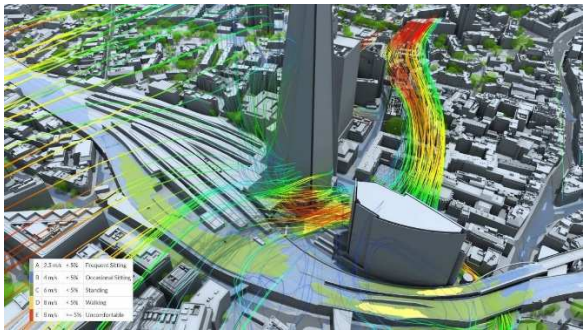


Рис.3. Моделирование ветровых потоков в зоне высотной застройки

Ещё одним аспектом экологического воздействия высотного строительства является изменение состояния природных компонентов городской среды. Возведение крупных зданий и сопутствующей инфраструктуры нередко сопровождается сокращением площади озеленённых территорий, уплотнением почвы и увеличением площади водонепроницаемых покрытий. В результате уменьшается способность территории поглощать атмосферные осадки, усиливается поверхностный сток и возрастает нагрузка на ливневую канализацию. Сокращение растительного покрова снижает интенсивность естественного испарительного охлаждения и ограничивает возможности формирования благоприятного городского микроклимата. Изменение условий освещённости, нарушение связности зелёных пространств и сокращение естественных местообитаний также могут отрицательно влиять на городское биоразнообразие. В связи с этим экологическая оценка высотной застройки должна включать анализ не только самого здания, но и изменений, происходящих на прилегающей территории.



Рис.4. Вертикальное озеленение фасадов жилых высотных зданий

Практический интерес представляет опыт проектирования высотных зданий, в которых архитектурная форма и инженерные системы рассматриваются как взаимосвязанные элементы экологической стратегии. Например, Шанхайская башня в Китае демонстрирует применение двойного фасада, способствующего формированию буферных пространств и снижению отдельных тепловых нагрузок, а также использование энергоэффективных инженерных решений. Подобные примеры позволяют рассматривать форму здания не только как средство создания выразительного архитектурного образа, но и как инструмент регулирования его взаимодействия с внешней средой. Вместе с тем наличие экологических технологий само по себе не гарантирует минимального воздействия на окружающую среду. Для объективной оценки необходимо учитывать фактическое энергопотребление, климатические условия, эксплуатационные характеристики и результаты работы инженерных систем. Сопоставление реализованных объектов позволяет выявить решения, применимые при проектировании новых высотных комплексов с учётом особенностей конкретной городской территории.

Не менее важным условием экологически ответственного высотного строительства является грамотная организация окружающего пространства. При разработке градостроительной концепции необходимо учитывать взаимное

расположение корпусов, инсоляцию общественных территорий, направление преобладающих ветров и условия естественного проветривания. Сохранение существующих деревьев, создание парков, озеленённых кровель и непрерывных зелёных коридоров способствует улучшению микроклимата и поддержанию городского биоразнообразия. Вертикальное озеленение может дополнять эти меры, однако его эффективность зависит от выбора растительных видов, условий освещения, системы полива и требований к обслуживанию. Кроме того, размещение высотных комплексов в районах с развитой общественной транспортной инфраструктурой позволяет снизить зависимость жителей и работников от личного автотранспорта. Таким образом, экологические характеристики высотного строительства определяются не только параметрами отдельных зданий, но и качеством градостроительной организации территории в целом.



Рис. 5. Иллюстрация принципа работы двухслойного фасада



Рис. 6. Пример комплексной организации городской территории с озеленёнными пространствами

Высотные здания, являясь одним из символов современного градостроительства, могут становиться источником серьёзных экологических

проблем при отсутствии комплексного подхода к их проектированию и эксплуатации. Высокая концентрация застройки сопровождается значительным потреблением природных ресурсов, увеличением выбросов парниковых газов, формированием городских островов тепла, изменением ветрового режима и сокращением естественных зелёных пространств. Совокупность этих факторов способна существенно ухудшать экологическое состояние городской среды и снижать комфорт проживания населения. Таким образом, высотная застройка может рассматриваться как потенциальный фактор экологической деградации города, особенно при игнорировании природных условий территории и долгосрочных последствий строительства. Вместе с тем негативное воздействие высотных зданий не является неизбежным: применение энергоэффективных фасадных систем, развитие вертикального и наземного озеленения, сохранение природных территорий и грамотное планирование городской структуры позволяют снизить экологическую нагрузку. Следовательно, основная задача современной архитектуры заключается не только в достижении высоты и плотности застройки, но и в обеспечении экологической устойчивости городской среды.

Список литературы

1. Тетиор А.Н. Социально-экологические основы архитектурно-градостроительного проектирования: учебник для вузов / А.Н. Тетиор. – М. : Академия, 2012. – 238 с.

2. Гиясов Б.И. Роль современной застройки в формировании экологии города Санкт-Петербурга / Б.И. Гиясов, Р.Б. Гиясов // Инженерный вестник Дона. – 2022. – №1. – С.125-129.

3. Ле М.Т. Влияние эффекта острова тепла на экологию мегаполиса / М.Т. Ле, В.В. Алексашина // Проблемы региональной экологии. – 2018. – №3. – С. 56-58.

4. Ле Минь Т. Исследование взаимосвязи городского острова тепла и городского острова загрязнения в Москве / Ле Минь Т., Н.В. Бакаева // XXI век. Техносферная безопасность. – 2024. – Т. 9, № 1. – С. 19-31. – DOI: 10.21285/2500-1582-2024-9-1-19-31.

5. Тетиор А.Н. Пространственные решения современных экологичных небоскребов и компактных городов / Тетиор А.Н. // Жилищное строительство. – 2011.

6. Оленьков В.Д. Расчет ветровых нагрузок с учетом локальных изменений скорости ветра в застройке / В.Д. Оленьков, Н.Т. Тазеев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2023. – С.45-47.

7. Лейкина Д.К. Вертикальное озеленение. Опыт нормирования / Д.К. Лейкина, Г.В. Океанов, А.А. Бенуж // Архитектура и строительство. – 2024. – С.36.

8. Тарасова О.Ю. Экологические аспекты экспертизы проекта строительства многоэтажного жилого дома (на примере жилого дома по ул. Серадзская г. Саранска) / О.Ю. Тарасова, В.А. Фадеева // Вопросы науки и образования. – 2021. – С. 56-61.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Панарин В.М., Маслова А.А., Исаева Ю.Д. Особенности оценки экологических рисков для последующего использования территорий рекультивированных полигонов ТКО как сложной системы …….. 3
Панарин В.М., Маслова А.А., Исаева Ю.Д. Модифицированный системный подход к управлению экологическим риском применительно к полигонам твердых коммунальных отходов ……... 6
Панарин В.М., Еловенко В.В. Обзор распространенных систем автоматического контроля и прогнозирования загрязнений в сбрасываемых стоках …… 8
Панарин В.М., Еловенко В.В. Недостатки существующих систем автоматического мониторинга загрязнений в сбрасываемых стоках …….. 12
Панарин В.М., Яковлев Р.Л. Информационная система контроля газовых потоков в газораспределительных сетях ……. 15
Панарин В.М., Савин А.О. Оптимизация размещения датчиков и виртуальная валидация автономной информационно-измерительной системы мониторинга загрязнения водных объектов …… 19
Неврина С.А., Шапхаев Б.С. Экологические проблемы газодобывающих предприятий на Байкальской природной территории …….. 23
Батыршина Э.Р., Полыгалова Ю.А. Современные подходы к утилизации твердых отходов на примере Свердловской области …….. 29
Кочева М.Н. Утилизация твердых отходов: технологические пути и перспективы ресурсного использования в республике Коми ……. 35
Азматова Р.А., Глушанкова И.С. Интенсификация фентон-очистки нефтехимических сточных вод …….. 41
Моргачева Е.А., Пугачева И.Н., Никулин С.С. Создание эластомерных композиций с применением текстильных отходов …….. 43
Строкин С.В., Флисюк О.М., Леонова О.В., Доровских И.В. Перспективы повышения эффективности подготовки подтоварных вод в резервуарах вертикальных стальных ……... 45
Емельяненко Т.А., Арефьева О.Д., Либанов В.В. Применение твердых добавок в механохимическом синтез кобальтсодержащих фентон-подобных катализаторов …. 49
Лещенко Д.В., Тыщенко В.А., Максимов Н.М., Лещенко Л.Д., Мельников Е.В. Перспективы уменьшения износа гидроциклона при выщелачивании/ биовыщелачивании металлов ……. 51
Исхаков А.Р., Габов Н.Н., Булатова М.Ш., Травкина О.С. Сорбционные характеристики гранулированного иерархического цеолита ZSM-5 по отношению к радионуклидам ^{137}Cs …… 55
Герцен М.М., Переломов Л.В. Влияние температуры на поглощение окситетрациклина природным бентонитом …….. 57
Акбарова А.Ф. Разработка и лабораторная оценка многофункционального реагента для очистки нефтепромысловых сточных вод …….. 59
Лукьянов М.М., Волков А.В. Экологические риски и технологии минимизации загрязнения атмосферы при лакокрасочных работах …….. 62
Ерёмчев И.А., Иванов Р.Д., Волков А.В. Аналитическое обоснование объёма известкового геохимического барьера, обеспечивающего нейтрализацию серной кислоты грунтовых водотоков ……. 67
Волков А.В. Предмет исследований главных направлений техносферной безопасности ……..…… 69

Исаева Ю.Д. Обнаружение залповых выбросов загрязняющих веществ от полигонов твердых коммунальных отходов с использованием алгоритма Isolation Forest ……..……... 71
Маслова А.А., Кондрашов В.А. Система обнаружения и идентификации источников аварийных выбросов в атмосферу с локальным искусственным интеллектом ……. 74
Рылеева Е.М., Гусак А.А. Химические механизмы функционирования биосенсоров для контроля природных и сточных вод …… 77
Маслова А.А., Егоров К.Д. Информационно-измерительная система мониторинга и прогнозирования зон химического заражения при аварийном разрушении хранилищ сжиженного хлора и аммиака БПЛА ……..……. 85
Маслова А.А., Пахомов Е.В. Проектирование и эксплуатация полигонов ТКО: противофильтрационные экраны, системы сбора фильтрата и биогаза …… 87
Панарин В.М., Рылеева Е.М., Дехтяр А.Д., Филимонов А.Д. Возможности и системные ограничения при интеграции биосенсорных систем в малые беспилотные мини лаборатории для непрерывного информационно-измерительного контроля качества поверхностных вод ……..……. 90
Конов М.П. К вопросу о загрязнении городской среды выбросами автотранспорта …. 97
Семичастнова Я.А. Моделирование процессов и систем использование биоиндикаторов для оценки экологического состояния водоёма на примере карьера «Барсуки» Тульской области ……..……. 100
Верховецкий Н.С., Киселёв М.В. Применение природного рассола природного бишофита в сельском хозяйстве в качестве удобрения/мелиоранта …….. 105
Манакова Ю.С., Киселёв М.В. Влияние применения отходов кофейного производства на химический состав соломы пшеницы яровой сорта Харьковская 46 ……..…… 108
Белых Я.Д., Манаков П.С. Мелиоративные свойства и удобрительная ценность отсевов доломита различных месторождений Ленинградской области ……. 110
Салаев И.В., Бобова А.Д. Разработка рецептуры почвогрунта для выращивания многолетних трав ……..…… 114
Гантимуров В.С., Степаненко Л.Г. Оценка биологической эффективности различных марок органоминеральных удобрений после очистки ОСВ при выращивании многолетних трав ……..…… 119
Агапова П.В., Пинаева А.С. Оценка токсичности отходов деревообрабатывающей промышленности ……..…… 122

ТЕХНОЛОГИИ ЗДОРОВЬЯ.
ВЛИЯНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ.
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Панарин В.М., Рылеева Е.М., Голикова В.В., Селиверстова А.П. Проблемы городского шума: источники, воздействие на здоровье, экономические последствия и стратегии снижения ……..……. 127
Коннов В.И., Кирюхина В.А. Оценка устойчивости опор мостов в Забайкалье …….. 133
Панарин В.М., Плющёв А.А. Шум как неблагоприятный фактор городской среды: оценка воздействия на здоровье населения ……..……. 136
Бабаков Е.А., Тюрина Л.А. Риск-ориентированный подход к количественной оценке экологического риска грузовых операций при погрузке нефтяных танкеров на морских терминалах ……..……... 140
Баранов Т.С. Предварительная оценка противотуберкулезной активности тиазольных производных пара-тиоуреидосалициловой кислоты …….. 144

Кузнецова И.И., Культин Д.Ю., Лебедева О.К., Седельников Д.В., Захаров В.Н., Нестеренко С.Н., Кустов Л.М. Скрининг катализаторов для электрохимического процесса фиксации азота (NRR) …… 147
Ширяев А.Д., Дмитриев Д.А., Захаров В.Н., Кузнецова И.И., Культин Д.Ю., Лебедева О.К., Чернышев В.В., Асланов Л.А., Кустов Л.М. Применение различных триазиновых каркасов как новых катализаторов в электрохимическом синтезе аммиака …… 150
Волков А.В. Технология анализа ключевых факторов динамики эпидемических событий, в контексте сценариев развития Европы в 2030-х годах …… 153
Ленин В.А., Небесный К.А. Природные многоосновные гидроксикислоты как противоионы солевых форм разветвлённого олигогексаметиленгуанидина …… 162
Маслова А.А., Волкова А.В. Разработка контрольного листа для оценки экологических аспектов работы участка термической обработки …… 166
Лукьянов М.М., Ирбулатов К.А., Волков А.В. Система мероприятий, обеспечивающая безопасность работы персонала малярного участка, на основе результатов специальной оценки условий труда …… 173
Саратова Е.В. Методы проведения анализа риска …… 176
Маслова А.А., Макерина У.А. Прогнозирование частотных характеристик аварийных процессов на опасных производственных объектах …… 179
Немцова А.М. Освоение подземного пространства как стратегический вектор устойчивого развития городов …… 183
Хуаз С.Х. Влияние микоризного биоудобрения на рост и массу ячменя на торфяном грунте …… 186
Хмелев В.В. Применение новых экологически безопасных видов энергии …… 190

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ

Титов Д.А., Борисова А.В. Беспилотные авиационные системы в мониторинге состостояния окружающей среды …… 193
Гончаров С.П., Почёмин Н.М. Агентные LLM-системы в геоинформационном анализе: автоматизация пространственного анализа для экологических задач …… 196

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В ОБЛАСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИИ

Петрук Н.Н., Гюльмагомедова М.В. Практическая значимость изучения внешних анатомических ориентиров в курсе дисциплин анатомического профиля …… 200
Заживихина Е.И., Маркова С.А., Заживихин Д.А., Николаева П.Е. Расчет электрохимической коррозии …… 202
Путилова Т.А. Экологические аспекты стратегии развития железнодорожного транспорта …… 205
Ерёмчев И.А., Афанасьева Н.Н. Инструменты экологически ориентированного управления организацией …… 207
Кудрявцев М.А., Афанасьева Н.Н. Внедрение и функционирование экологического менеджмента в организации …… 210
Панарин В.М., Дубовицкий А.С. Цифровая лаборатория во внеурочной экологической деятельности школьников …… 214

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БИОЭКОНОМИКИ И УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Захарова А.М. К вопросу о подборе растений при озеленении урбанизированных территорий …… 217

Зяблова М.А., Зверева В.А. Архитектурные решения, повышающие вовлеченность пользователей в раздельный сбор мусора ……. 220
Цесько С.С. Гармоничное взаимодействие архитектуры с природными стихиями (солнце, воздух, растительность, огонь, вода, земля) …….. 222
Сапронова С.Е. Озеленение зданий и улиц как элемент зелёной инфраструктуры современного города …… 224
Сибилева Е.К. Пространственное разнообразие и элементы ландшафта …….. 227
Плясунова Е.С. Озеленение территории города как средство экологической компенсации ……. 230
Чайка К.Б. Органичное вписывание зданий в окружающее пространство …… 232
Белоусова А.В. Анализ истории возникновения садов, парков и озеленения городских территорий ……. 235
Бихнер А.А. Экологические методы архитектурного, градостроительного и дизайнерского проектирования: экологические принципы территориального развития городов …… 239
Анохина З.В. Природные аналоги и аналогии в архитектуре как способы заимствования идей у живой природы …….. 241
Хромушкина В.М. Видеоэкология как фактор формирования комфортной архитектурно-градостроительной среды …….. 246
Снурницына Е.В. Информационные технологии и концепция «жизни на природе». Примеры экопоселений …….. 248
Случанова Е.А. Анализ экологической ситуации самых грязных городов мира ……. 250
Симонова А.А. Анализ и примеры экологически неблагоприятных городов России ……... 256
Сергеев М.В. Эксплуатация кровли с экстенсивным и интенсивным озеленением: особенности, обслуживание и примеры ……. 258
Пушилина Ю.Н., Погодаева А.В. Эколого-градостроительная адаптация городских территорий к климатическим изменениям: внедрение «зелено-голубой» инфраструктуры как обязательного элемента проектирования ……. 262
Пушилина Ю.Н., Бобкова П.Е. Экологические методы архитектурного, градостроительного и дизайнерского проектирования: экологические принципы территориального развития городов ……. 264
Пономарев И.Д. Анализ особенностей материалов: принципы выбора строительных и отделочных материалов с учётом их жизненного цикла и экологического воздействия …….. 266
Щемелинина Е.Н. «Архитектура отверженных»: социальная жизнь самовольно занятых пространств …… 269
Свирилина М.М. Внедрение экологических инноваций в архитектуре и строительстве …….. 271
Пушилина Ю.Н., Наумова О.Д. Организация городского озеленения: виды, приемы, нормативные требования …… 275
Назарова Т.П. Экологические методы архитектурного, градостроительного и дизайнерского проектирования: экологические принципы территориального развития городов ……. 278
Старухина П.Д. Влияние высотной застройки на экологическое состояние городской среды в условиях активной урбанизации и роста плотности населения …….. 281