



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ
ОПЕРАТОР
РОСАТОМ



ИБ ФИЦ Коми
НЦ УрО РАН



ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

МАТЕРИАЛЫ

VII Всероссийской научно-практической конференции
г. Киров, 18–19 ноября 2025 г.

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Федеральный экологический оператор»

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

Региональный оператор по обращению с ТКО – АО «Куприт»

**ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ
С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

Материалы

VII Всероссийской научно-практической конференции

г. Киров, 18–19 ноября 2025 г.

Киров 2025

УДК 628.477(03)

ББК 38.931(03)

Т 384

Ответственный редактор:

Т. Я. Ашихмина, д-р техн. наук, профессор, зав. НИЛ биомониторинга Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук и Вятского государственного университета

Редакционная коллегия:

И. Ф. Чадин, директор, канд. биол. наук, **А. С. Олькова**, профессор, д-р биол. наук, **Е. В. Дабах**, с. н. с., канд. биол. наук, **М. А. Зайцев**, доцент, канд. пед. наук, **Г. Я. Кантор**, с. н. с., канд. техн. наук, **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук, **С. В. Пестов**, н. с., доцент, канд. биол. наук, **В. В. Рутман**, м. н. с., **М. Л. Сазанова**, н. с., канд. биол. наук, **Н. В. Сырчина**, с. н. с., канд. хим. наук, **Е. В. Товстик**, доцент, канд. биол. наук, **А. И. Фокина**, доцент, канд. биол. наук, **О. В. Чернова**, доцент, канд. хим. наук.

Т 384 Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. (г. Киров, 18–19 ноября 2025 г.). – Киров : ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС», 2025. – 117 с.

ISBN 978-5-6055397-2-8

В книгу вошли материалы VII Всероссийской научно-практической конференции «Технологии переработки отходов с получением новой продукции», которая проходила в г. Кирове (Кировская область, Россия) 18–19 ноября 2025 г. в рамках VII Всероссийского научно-практического форума «Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии». Рассмотрены технологии переработки и рециклинга неорганических и органических отходов, в т. ч. с получением продукции с добавленной стоимостью. Представлены материалы по системам обеспечения экологической безопасности техногенных территорий, а также организационно-правовым и социальным аспектам обращения с отходами.

Сборник материалов конференции предназначен для научных работников, преподавателей, специалистов в области обращения с отходами, экологов и технологов предприятий, аспирантов, студентов высших учебных заведений.

За достоверность сведений, изложенных в материалах конференции, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

УДК 628.477(03)

ББК 38.931(03)

ISBN 978-5-6055397-2-8

© Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), 2025

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ашихмина Т. Я.</i> Создание экотехнопарков по утилизации опасных промышленных отходов	5
<i>Голов Д. А., Ольшанская Л. Н.</i> Магнитный композиционный материал на основе хитозана и частиц Fe_3O_4 , полученных из гальваношлама, для очистки вод от анионных ПАВ	12
<i>Ерёмин И. В., Башлыкова Т. В.</i> Формирование кадрового потенциала для геологоразведочной отрасли как стратегическая задача Российской государства	17
<i>Кононов А. И., Васильев Н. В., Кайгородов О. Н.</i> Подготовка альтернативного топлива из твердых коммунальных отходов для предприятий черной металлургии	22
<i>Кузьмин Р. С., Усманов Б. М.</i> Актуальные правовые, эколого-экономические проблемы рекультивации и консервации земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления	27
<i>Максимов И. С., Беляев А. А., Бродский В. А.</i> Выщелачивание и электрохимическое окисление церия при переработке редкоземельного сырья	32
<i>Мартинов В. В., Щемелинина Т. Н., Анчугова Е. М.</i> Нетрадиционные питательные среды для культивирования ксилотрофных базидиомицетов	36
<i>Машеро Я. П.</i> Правовое регулирование обращения с твердыми коммунальными отходами и их значение для устойчивого развития окружающей среды России	40
<i>Миронова С. В., Таракова П. Н., Ярусова С. Б., Гордиенко П. С., Данилова С. Н., Капитонова Ю. В., Лазарева Н. Н.</i> Влияние отходов бурения нефтегазовых скважин на физико-механические и трибологические свойства политетрафторэтилена	43
<i>Мусихина Т. А., Грибанова Е. С.</i> Комплексный подход к управлению отходами согласно их классификации. Нормативно-правовой аспект	48
<i>Никитина Е. Л., Крыга Т. А., Куликов С. Ф.</i> Экологические аспекты использования органических субстратов	53
<i>Проказов Н., Атаманова О. В., Тихомирова Е. И.</i> Исследование физико-химических характеристик природного бентонита Карасукского месторождения для целей водоочистки	57
<i>Пухальский Я. В., Сутула Г. И., Уткин А. Д., Лоскутов С. И.</i> Использование личинок черной львинки в технологии биоконверсии пищевых отходов с получением кормовой добавки и органического удобрения нового типа	60
<i>Рябков Ю. И., Кучин А. В., Удоратина Е. В.</i> Разработка технико-экономических обоснований производственных процессов рациональной утилизации техногенных отходов	65

<i>Сазанов А. В., Сазанова М. Л., Кузнецов В. И., Кызин А. А.</i> Анализ содержания веществ с сорбционной активностью в свекловичном жоме	72
<i>Сафонов А. И.</i> Отвалы угольных шахт Донбасса – накопленный вред или перспективы для развития региона	77
<i>Сибирцев В. С., Щербакова В. А., Авраменко М. Ю., Глебов С. Н., Патрина Е. С., Бармашов С. Н.</i> Методика потенциометрической оценки биологической активности ионов щелочноземельных металлов	81
<i>Скрябин А. В., Рыбалко Д. М., Толмачева Н. А., Зелинская Е. В.</i> Обоснование актуальности утилизации отходов бурения	84
<i>Тарабукин Д. В., Новаковская И. В.</i> Комплексная переработка упаковочных материалов в биоэтанол и твердое топливо	87
<i>Уткин А. Д., Сутула Г. И., Пухальский Я. В., Лоскутов С. И.</i> Микробиологический состав зоогумуса насекомых черной львинки <i>Hermetia illucens</i>	89
<i>Фалевская М. А.</i> Современные технологии переработки сельскохозяйственных отходов	92
<i>Фоминых А. М., Камалов К. О., Девятерикова С. В.</i> О влиянии ряда факторов на степень извлечения гидроксида никеля из сточных вод гальванических производств методом электрофлотации	96
<i>Харина С. А., Шишикина В. В., Киреева А. Р., Козачок С. С., Фокина А. И.</i> Влияние состава лекарственных карандашей со смолой ели на их свойства	99
<i>Харитонова Т. Е., Тажитдинова В. В., Колесников А. В., Конькова Т. В.</i> Применение растворов на основе пероксосольватов с целью экологизации процессов нефтедобычи	102
<i>Хето М. Х., Рутман В. В.</i> Экспериментальная оценка воздействия дезодорирующих добавок на запах куриного помета	106
<i>Шумилова М. А., Чausов Ф. Ф., Жиров Д. К.</i> Утилизация отработанных электролитов меднения с применением винной кислоты и ее солей	109
<i>Щитковская Т. Р., Багаева Д. Ю., Султанбаева А. М.</i> Экологическая безопасность при утилизации промышленных дронов	113

СОЗДАНИЕ ЭКОТЕХНОПАРКОВ ПО УТИЛИЗАЦИИ ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Т. Я. Ашихмина

*Вятский государственный университет,
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com*

В данной статье представлен материал о состоянии работ на создаваемом производственно-техническом комплексе по обращению с отходами I и II классов опасности в Оричевском районе Кировской области. Отмечено о том, что на территории бывшего объекта хранения и уничтожения химического оружия, с использованием имеющейся инфраструктуры, в рамках Федерального проекта «Экономика замкнутого цикла», Национального проекта «Экологическое благополучие» создается Экотехнопарк «Мирный» ФГУП «ФЭО» по утилизации и переработке отходов I и II классов опасности, образующихся в Приволжском федеральном округе и прилегающих территориях. На объекте идут плановые работы, часть зданий уже разобрана, идет расчистка места для создания новых сооружений и объектов. Созданы и оборудованы помещения, куда будут приниматься поступающие отходы. Кроме того, в материалах статьи отмечены проблемы, которые необходимо решать на этапах создания Экотехнопарка и его эксплуатации.

Ключевые слова: производственно-технический комплекс, экотехнопарк, отходы I и II классов опасности, экобезопасность.

Создание новой отрасли «Обращение с отходами», в том числе промышленными отходами I и II классов опасности, ориентировано, прежде всего, на эффективное ресурсосбережение, максимальное использование исходного сырья и материалов, предотвращение и сокращение образования отходов, снижение класса опасности отходов. Одной из первоочередных задач в решении данной проблемы является утилизация старых накопленных отходов производства и потребления.

Долгосрочная динамика образования отходов на территории Российской Федерации показывает устойчивую тенденцию увеличения их объема. За период с 2014 по 2023 гг. совокупная масса отходов, образованных в Российской Федерации, увеличилась на 79,5%. В 2023 г. на территории Российской Федерации образовалось 9,2 млрд т отходов производства и потребления.

По данным доклада Управления Росприроднадзора РФ в 2024 г. на территории РФ объем образованных отходов несколько уменьшился и составил 8,5 млрд т., объем твердых коммунальных отходов (ТКО) составил 47,5 млн т. По информации, размещенной на сайте Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, в Кировской области за 2024 г. образовано – 1011929,658 т отходов, из них 826453,345 т утилизировано, 68516,82 т обезврежено. В 2023 г. эти данные были значительно меньше. Образование отходов по всем видам экономической деятельности за 2023 г. составило 0,835 млн т, что

на 7,5% больше аналогичного показателя за 2022 г., но в 1,2 раза меньше, чем в 2024 г. Вторичной переработке стала подвергаться большая часть отходов, не содержащих токсичных веществ. Это бумага, дерево, металлы, пластмасса, текстиль, стекло и органические продукты. Ряд промышленных предприятий Кировской области в дополнение к основному профилю своей деятельности осуществляют переработку отходов, которые образовались в собственном производстве. К ним относится АО «ОМЗ», АО «Кирскабель», ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк», ООО «ЗМУ КЧХК», АО «Кировский завод «Маяк». В 2024 г. на территории области осуществляли деятельность предприятия, специализирующиеся на приеме отходов с целью их дальнейшей утилизации и обезвреживания, такие как АО «Куприт», ООО «Аврора», ООО «Экотех». Использование и обезвреживание отходов на территории Кировской области осуществлялось как предприятиями-производителями отходов, так и специализированными организациями. Доля использованных отходов в отдельных случаях составляет 67–100% от объема их образования. Наиболее высок показатель использования лома черных и цветных металлов [1, 2]. Однако объемы накопленных отходов от промышленных предприятий в нашей стране значительны и составляют более 30 млрд т, переработка и вторичное использование которых составляет 49,3% [3].

Правительством РФ в апреле 2019 г. принято Постановление о создании Инфраструктуры для обращения с отходами I и II классов опасности (производственно-технических комплексов (ПТК)) на базе бывших объектов хранения и уничтожения химического оружия в Саратовской, Курганской, Кировской областях и в Республике Удмуртии [4]. Для всех 4 ПТК разработана проектная документация, в 2021 г. получены положительные заключения государственной экологической экспертизы. На каждом проектируемом ПТК планировалось на трех технологических линиях (физико-химии, демеркуризации, высокотемпературного обезвреживания) перерабатывать порядка 350 видов отходов. В проектной документации всех 4 ПТК спроектирована замкнутая схема оборотной воды всего технологического процесса, без сброса сточных вод в системы очистных сооружений [5]. В связи с этим следует ожидать, что основная техногенная нагрузка на природный комплекс в районе создаваемых и, в дальнейшем, эксплуатируемых ПТК, будет приходиться на атмосферный воздух и почвенный покров.

К настоящему времени в г. Щучье Курганской области и в г. Михайловский Саратовской области объекты ПТК «Щучье» и «Горный» находятся на стадии опытно-промышленных испытаний, на полную мощность объекты пока не запущены. Объекты «Мирный» в Кировской области и «Камбарка» в Республике Удмуртии создаются в рамках планируемых мероприятий во вторую очередь.

15 октября 2025 года проведено выездное заседание комиссии по экологии и природопользованию Общественной Палаты Кировской области на базе создаваемого в пгт. Мирный объекта по утилизации, обезвреживанию и переработке промышленных отходов I и II классов опасности.

Безусловно, членов комиссии в большей степени волновали вопросы, касающиеся обеспечения экологической безопасности создаваемого объекта. В соответствии с «Критериями отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» (п. 12), установленных Федеральным законом РФ 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», утвержденных постановлением Правительства РФ от 31 декабря 2020 года № 2398, (в ред. Постановления Правительства РФ от 07.10.2021 № 1703), Экотехнопарк «Мирный», наряду с такими же Экотехнопарками в Саратовской, Курганской областях и в Удмуртской Республике, относится к объектам I категории, оказывающим значительное негативное воздействие на окружающую среду. Обезвреживание и утилизацию отходов I и II классов опасности планировалось на данных объектах осуществлять по импортным технологиям и на импортном оборудовании, которые предполагалось адаптировать к реальным условиям России [5, 6].

Представителем ФЭО Госкорпорации РосАтом на данном объекте А. Г. Свирским отмечено, что строительно-монтажные работы на объекте капитального строительства «Производственно-технический комплекс по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности «Марадыковский» (далее – ПТК «Марадыковский») реализуются согласно проектной документации, прошедшей главную государственную экспертизу (заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России» от 17.03.2021 № 43-1-1-3-0041-21) и государственную экологическую экспертизу (приказ Росприроднадзора от 30.10.2020 № 1476). Генеральным подрядчиком (исполнителем работ) по данному проекту ПТК «Марадыковский», согласно заключенному государственному контракту, определен АО «КОНЦЕРН ТИТАН-2».

Филиал «Экотехнопарк «Мирный» ФГУП «ФЭО» создается на базе бывшего завода по уничтожению химического оружия, в рамках Федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» в рамках Национального проекта «Экологическое благополучие». На данном объекте планируется перерабатывать все виды промышленных отходов, отнесённых к I и II классам опасности, всего порядка 350 видов, в том числе образующиеся в Приволжском федеральном округе и прилегающих территориях [5, 7].

По ранее утвержденному проекту на создание ПТК по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности «Марадыковский» предполагается применение трех технологий: физико-химическая, демеркуризация, высокотемпературная обработка [5]. В сложившейся в настоящее время обстановке, в связи с введением санкций, предусмотренные проектом и апробированные в западных странах технологии и оборудование для целей ЭТП, не могут быть применены и использованы в полной мере на таких объектах. В связи с этим на создаваемых объектах устанавливается отечественное оборудование. Не планируется создание технологической линии по демеркуризации ввиду значительного снижения использования ртутьсодержащих приборов и соответственно, образующихся данных видов отходов (ртутные лампы, термометры и др.). Объемы работ, на создаваемых Экотехнопарках, пока по двум линиям (высокотемпературная обработка и физико-химическое обезвреживание) будут

составлять около 50 тыс. т в год. Ввод филиала «Экотехнопарк «Мирный» ФГУП «ФЭО» в опытно-промышленную эксплуатацию запланирован в сроки, предусмотренные федеральным проектом «Экономика замкнутого цикла» (декабрь 2026 г.).

Собственником объекта «Мирный» является Госкорпорация «Росатом», исполнителем работ федеральный экологический оператор (ФЭО), которым принята вся инфраструктура бывшего предприятия по уничтожению химоружия, лишь в стадии проработки пока остается вопрос по передаче полигона с отходами. На объекте идут плановые работы. Все работы на площадке осуществляются в строгом соответствии с утвержденным графиком производственных мероприятий. Специалистами ФЭО проанализированы все здания, сооружения на промплощадке на предмет безопасности. Самое главное – там сохранены важные объекты энергоснабжения, очистки сточных вод, система пожаротушения и др. Часть других зданий уже разобрана, идёт расчистка места для создания новых сооружений и объектов. Созданы и оборудованы помещения, куда будут приниматься поступающие отходы. Под химические лаборатории и помещения для производственного персонала планируется использовать имеющиеся для этих целей здания.

На данном объекте в настоящее время трудится более 100 человек, в основном, это жители посёлка Мирный, есть несколько человек из Оричевского, Котельничского районов. В будущем планируется принять на работу сотрудников по широкому спектру профессиональных специальностей, поскольку перечень профессий является очень обширным. Общий штат филиала составляет 458 штатных единиц, при этом на площадке одновременно может находиться до 700 сотрудников. В штатном составе представлены специалисты различных уровней квалификации: от аппаратчиков и слесарей до инженеров всех категорий. Также активно ведется сотрудничество по подготовке кадров с ВятГУ. В рамках стратегии реализуется концепция бесшовного образования, которая предусматривает привлечение учащихся с менделеевских классов, их последующее обучение в вузах и дальнейшее трудоустройство на данном Экотехнопарке. Однако следует отметить, что количество поступающих в вузы из «Менделеевских классов» остается пока очень низким. Целесообразно программу по «Менделеевским классам» разработать с 8 по 11 класс. Проектную работу и «менделеевскую экспедицию» проводить с учащимися 10 классов. В 10 классе организовать с учащимися факультатив в рамках «Моей первой профессии» по специальности «Лаборант-химик». По линии ФГУП «ФЭО» разработать положение по целевому направлению в вузы учащихся «Менделеевских классов».

Для членов комиссии по экологии и природопользованию Общественной Палаты была проведена экскурсия по территории создаваемого Экотехнопарка. На промплощадке ведутся работы, отмечен порядок, металлические конструкции разбираются и отходы вывозятся на действующий в Оричевском районе полигон.

При обсуждении вопросов, касающихся обеспечения экобезопасности в ходе эксплуатации объекта, было отмечено, что в рамках проекта планируется система замкнутого водооборота с многоуровневой системой очистки и кон-

троля. С этой целью предстоит модернизировать очистные сооружения, которые находятся в пгт. Мирный, доработать насосное оборудование, и вода с очистных сооружений поселка, которая сбрасывается сейчас в реку, будет поступать на объект. Также в рамках мероприятия будет запущена в оборот ливневая канализация для эффективного использования водных ресурсов. Таким образом, основная техногенная нагрузка на природный комплекс в районе создаваемого Экотехнопарка будет приходиться на атмосферный воздух и почвенный покров. В связи с этим система очистки отходящих газов предусматривает 6 ступеней очистки: узел мокрой реагентной обработки, скрубер испарительный закалочный, рукавные фильтры, насадочный мокрый скрубер, адсорбер и блок каталитического окисления. Каждая ступень предназначена для определенного газа. Все ступени позволяют доочистить входящие газы до нормальных показателей, которые позволяют уже через выбросную трубу их выпускать. Законодательно установлено обязательное оснащение всех выбросных производственных труб автоматическими датчиками. В связи с этим планируется внедрение автоматического аналитического контроля, который обеспечит остановку основного производственного оборудования при обнаружении превышений допустимых параметров.

При создании данного объекта предстоит решить ряд вопросов, в частности:

1) проектной документацией хранение отходов на территории объекта не предусмотрено, однако отходы в любом случае будут, в том числе в виде золы, образующейся в процессе высокотемпературной обработки; данный вопрос требует решения и принятия мер;

2) в ходе работ по ликвидации последствий деятельности на территории бывшего объекта хранения и уничтожения химического оружия действующий полигон хранения фосфор- и мышьяксодержащих отходов бывшего объекта уничтожения химического оружия, находящийся пока в ведении Федерального управления по химическому оружию, исключён из реестра объектов, оказывающих негативное воздействие. По проекту было предусмотрено размещение на площадке № 1 полигона – 24315,93 т фосфорсодержащих отходов (8902,19 т – III класса опасности, 15413,74 т – IV класса), а на площадке № 2 мышьяксодержащих отходов – 423,070 тонн отходов I класса опасности, 4016,7 т II класса опасности, 2554,88 т III класса опасности. В настоящее время эти отходы переведены в III класс опасности. Возникает вопрос правомерности такого изменения и его соответствия существующим нормативам. Отходов IV класса опасности 3461,33 т. Всего на площадке № 2 планировалось разместить 10455,98 т отходов.

В связи с этим возникает необходимость проведения оценки экологического состояния территории вокруг полигона хранения фосфор- и мышьяксодержащих отходов, с целью определения степени опасности данной территории для населения и обоснования правомерности исключения данного объекта из реестра объектов, оказывающих негативное воздействие, чтобы инициировать процедуру возвращения объекта в реестр объектов негативного воздействия.

Актуальным остается вопрос по созданию системы мониторинга на территории вокруг данного объекта. К сожалению, нормативной документацией не предусмотрен мониторинг территории вокруг таких предприятий, в то время как даже на небольших полигонах отходов мониторинг должен проводиться в соответствии с Федеральным законом «Об отходах производства и потребления». В данном случае, в районе деятельности создаваемого Экотехнопарка, относящегося к объектам I категории, оказывающим значительное негативное воздействие на окружающую среду, нормативно-законодательной базы для проведения экологического мониторинга пока не имеется. Данная проблема касается всех создаваемых Экотехнопарков и должна решаться на федеральном уровне.

Для специалистов, планирующих приехать и работать на объекте Экотехнопарк «Мирный», по словам руководителя муниципального образования И. Н. Смердовой, вопросы, касающиеся их проживания и т. п., необходимо решать по мере возникновения связанных с ними проблем. Специалисты, ранее работавшие на объекте, по-прежнему проживают в близлежащих населенных пунктах (в п. Оричи, г. Котельниче и др.) и в случае необходимости будут привлечены; доставка сотрудников к месту работы будет организована. Население муниципального образования составляет 3147 человек, из них 789 – пенсионеры. Уровень безработицы равен нулю. Что касается жилплощади, на вторичном рынке в наличии около 20–30 двух-трех комнатных квартир по стоимости от 700 тыс. до 1 млн рублей. Новостроек в районе нет, но существует индивидуальное жилищное строительство.

Объекты социальной инфраструктуры муниципального образования включают:

- два детских сада, рассчитанных на 300 детей, которые в настоящее время посещают 86 детей;
- школа рассчитана на 650 обучающихся, сейчас здесь обучаются 312 детей, из них два класса первоклассников и восемь одиннадцатиклассников; таким образом, проблем по размещению детей приехавших и командированных сотрудников в детские сады и школу не возникнет;
- имеется амбулатория, где работают два врача общей практики, хирург, врач-рентгенолог, а также рентген-кабинет с современным оборудованием; есть пункт скорой медицинской помощи.
- имеется дом культуры, стадион, музыкальная школа, гостиница, различные магазины.

Одной из важных проблем деятельности создаваемого объекта будет являться транспортировка работников до места выполнения обязанностей. Рассматривается широкий спектр маршрутов, обеспечивающих привоз работников из различных населённых пунктов. Транспортная доступность позволяет каждый день приезжать на рабочее место: из г. Котельнича примерно 20 мин пути, аналогичное расстояние из п. Стрижи и п. Оричи. Однако дорожное покрытие на участке дороги Коршик – Оричи разрушено полностью: имеются глубокие пучины, достигающие глубины 1 м. Эта ситуация препятствует запуску даже рейсового автобуса. Кроме того, на данный момент ширина дороги составляет

6–7 м, тогда как допустимый норматив – 7–10 м. На дороге протяженностью 26 км требуется капитальный ремонт 20 км, общая стоимость которого оценивается в 678 млн рублей.

Необходимо активизировать информационную работу по созданию Экотехнопарка с населением как муниципального образования, так и других населенных пунктов региона. Данная работа проводится: на территории центра поселка размещен информационный стенд, на котором регулярно обновляется информация для населения. Помимо этого, установлен крупный баннер, содержащий сведения о деятельности предприятия, актуальные вакансии и новости. В рамках информационной поддержки ведется дневник Экотехнопарка в социальной сети «ВКонтакте», в котором публикуются отчеты о текущих строительных работах, а также сопровождающие фотографии. Работает электронная общественная приемная, через которую жители поселка могут задать свои вопросы в письменной форме. На регулярной основе проводятся образовательные мероприятия с учащимися «менделеевских классов». Однако данную работу необходимо проводить с населением городов Котельнича, Кирова, поселков Оричи, Стрижи, Коршик и других населенных пунктов, привлекать к этой работе журналистов СМИ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 125021402208-5.

Библиографический список

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада. М. : Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. 707 с.
2. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2024 году : Региональный доклад / под общей ред. Т. Э. Абашева. Киров, 2025. 195 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году». М. : Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2021. 864 с.
4. Постановление Правительства РФ от 30 апреля 2019 г. N 540 «Об осуществлении бюджетных инвестиций за счет средств федерального бюджета в объекты капитального строительства в рамках федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности» (с изменениями) 31 августа 2019 г., 28 июля 2020 г.
5. Проектная документация «Производственно-технический комплекс по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности «Марадыковский» / Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Акционерное общество «Государственный специализированный проектный институт», 2020.
6. Корольков М. В. Основы государственной политики Российской Федерации по созданию новой отрасли переработки промышленных отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-006-012 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 6–12.
7. Мониторинг атмосферного воздуха в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов / Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор, А. С. Тимонов и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-1-038-046 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 1. С. 38–46.

МАГНИТНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И ЧАСТИЦ Fe_3O_4 , ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ГАЛЬВАНОШЛАМА, ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОД ОТ АНИОННЫХ ПАВ

Д. А. Голов, Л. Н. Ольшанская

Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., dmitriy_2000_24@mail.ru, ecos123@mail.ru

В статье представлены результаты разработки композиционного сорбционного материала на основе хитозана и ценных компонентов, извлеченных из гальваношлама. Материал показал высокую эффективность в удалении анионных ПАВ (SLS и SLES). Исследование включает описание синтеза материала, его характеристик и испытаний на модельных растворах, подтверждающих потенциал для практического применения в очистке сточных вод.

Ключевые слова: анионные поверхностью-активные вещества, хитозан, сорбционные свойства, гальваношлам, очистка сточных вод, композиционный материал.

Сброс неочищенных сточных вод, содержащих тяжелые металлы, пестициды, нефтепродукты, поверхностью-активные вещества (ПАВ), вызывает серьезные экологические проблемы. Эти токсичные поллютанты нарушают состояние гидросферы, приводят к гибели гидробионтов, гидрофитов и могут попадать в организм человека, индуцируя разрушительные изменения в организме.

Актуальной задачей является поиск эффективных и безопасных сорбционных материалов для очистки воды. Перспективным материалом в научных трудах последних лет считается хитозан – природный биоразлагаемый аминополисахарид. Уникальная молекулярная структура полимера с активными функциональными группами позволяет эффективно связывать различные загрязнители [1]. Особый интерес представляет малоизученная возможность применения хитозана для удаления ПАВ.

Другой серьезной проблемой являются отходы гальванической промышленности – высокотоксичные гальванические шламы, содержащие соединения тяжелых металлов (никеля, цинка, хрома, меди) [2]. Существующие методы переработки включают химическое закрепление, отверждение и термическую обработку. Перспективным направлением является вторичное использование шламов в строительных материалах и производстве аккумуляторов [3].

На первом этапе исследования нами были достигнуты положительные результаты относительно очистки чистыми растворами хитозана модельных растворов, содержащими анионные ПАВ в диапазоне 2–5 ПДК и при 10 ПДК [4]. Дальнейшее исследование было сконцентрировано на модификации хитозана компонентами, извлеченными из отходов гальванического производства для придания материалу магнитных свойств с целью повышения эффективности извлечения композиционного сорбционного материала (КСМ) из воды.

Для определения содержания АПАВ в анализируемых растворах при обработке их КСМ использовали методику «ПНД Ф 14.1:2:4.15-95» [5], заключающуюся в построении градуировочного графика, качество которого контролировали коэффициентом корреляции ($R^2 = 0,997$).

Модификация хитозана магнитными частицами Fe_3O_4 , полученными из отходов гальванического производства. Целью исследования было использование гальванических отходов после ванн никелирования предприятия ОАО «Роберт-Бош-Саратов» (рис. 1, 2) в качестве магнитного компонента КСМ на основе хитозана. Исходный шлам имел пастообразную консистенцию с высокой влажностью. Для удобства работы его подвергли обезвоживанию и измельчению до порошкообразной фракции.

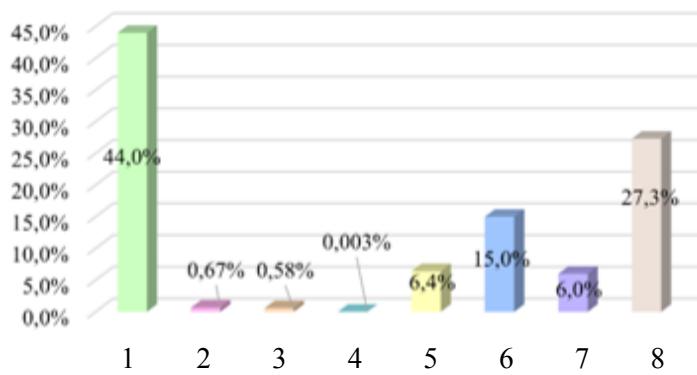


Рис. 1. Состав гальванического шлама из ванн химического никелирования: 1 – Ni^{2+} ; 2 – Fe^{2+} и Fe^{3+} ; 3 – Zn^{2+} ; 4 – Cu^{2+} ; 5 – SO_4^{2-} ; 6 – вода; 7 – песок, MgCO_3 , Na_2CO_3 ; 8 – органические примеси



Рис. 2. Гальваношлам после ванн никелирования предприятия ОАО «Роберт-Бош-Саратов»

Далее проводили последовательную обработку порошка:

1. Растворение в дистиллированной воде до состояния суспензии;
2. Кислотную обработку H_2SO_4 для перевода ионов Ni^{2+} , Fe^{2+} и Fe^{3+} в сульфаты и отделения их от минеральных компонентов высокой плотности, которые оседали за счет гравитационных сил на дно с доведением равновесной концентрации ионов водорода до $-\lg[10^{-2}]$;
3. Щелочную обработку NaOH для осаждения ионов металлов в виде нерастворимых гидроксидов.

Полученные гидроксиды железа Fe(OH)_2 и Fe(OH)_3 высушивали и подвергали высокотемпературной обработке для получения магнитной формы железа Fe_3O_4 (табл. 1).

Таблица 1

Результаты высокотемпературной обработки гальвANOшлама

Исходное вещество	Целевой продукт	Условия процесса	Уравнение реакции
1. Гидроксид железа(II) Fe(OH)_2	Оксид железа(II) FeO	Нагрев при 300–400 °C	$\text{Fe(OH)}_2 \rightarrow \text{FeO} + \text{H}_2\text{O}$
Оксид железа(II) FeO	Маггемит Fe_3O_4	Нагрев до 600 °C в присутствии O_2	$6\text{FeO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4$
2. Гидроксид железа(III) Fe(OH)_3	Гематит Fe_2O_3	Нагрев при 600–900 °C	$\text{Fe(OH)}_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
Гематит Fe_2O_3	Маггемит Fe_3O_4	Прокаливание при 1200–1300 °C	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2$

Результаты обработки гидроксидов железа(II) и (III) представлены на рисунках 3, 4.



Рис. 3. Гидроксид железа, полученный после кислотно-щелочной обработки гальванического шлама



Рис. 4. Железная окалина (маггемит) Fe_3O_4 , обладающая магнитными свойствами

После получения магнитных частиц проводилось создание модификационной структуры с хитозаном. Синтез магнитного сорбента на основе хитозана включал несколько этапов (рис. 5).

1. Подготовка хитозана. 1 г хитозана растворяли в 60 см³ 5% раствора уксусной кислоты при перемешивании (1000 об/мин, 4 ч, комнатная температура) до образования геля.

2. Введение магнитной фракции. В полученный гель вводили полученные частицы маггемита (Fe_3O_4) и перемешивали (1700 об/мин, 2 ч) с добавлением сшивающего агента – глутарового альдегида, который за счет карбонильных групп осуществляет альдольную конденсацию с образованием иминовой связи ($\text{C}=\text{N}$) между протонированными аминогруппами хитозана.

3. Формирование гранул. Гелевую композицию дозировали в 8% раствор NaOH для формирования гранул, которые выдерживали 24 часа, а затем промывали до нейтрального $\text{pH} = 7,0$.

4. Сшивание полимера. Для упрочнения структуры гранулы обрабатывали 2% раствором глутарового альдегида (2 ч, 40 °C). После обработки гранулы извлекали магнитным полем, промывали и сушили при 60 °C. В результате были получены сферы КСМ диаметром 2,5–3 мм (рис. 6).

5. Исследование сорбционных свойств. Способность полученного магнитного сорбента очищать воду от анионных ПАВ (SLS и SLES) оценивали на модельных растворах с концентрациями, в 2–10 раз превышающими ПДК. Навески сорбента ($1\text{ г}/100\text{ см}^3$) погружали в растворы, а эффективность очистки анализировали экстракционно-фотометрическим методом.

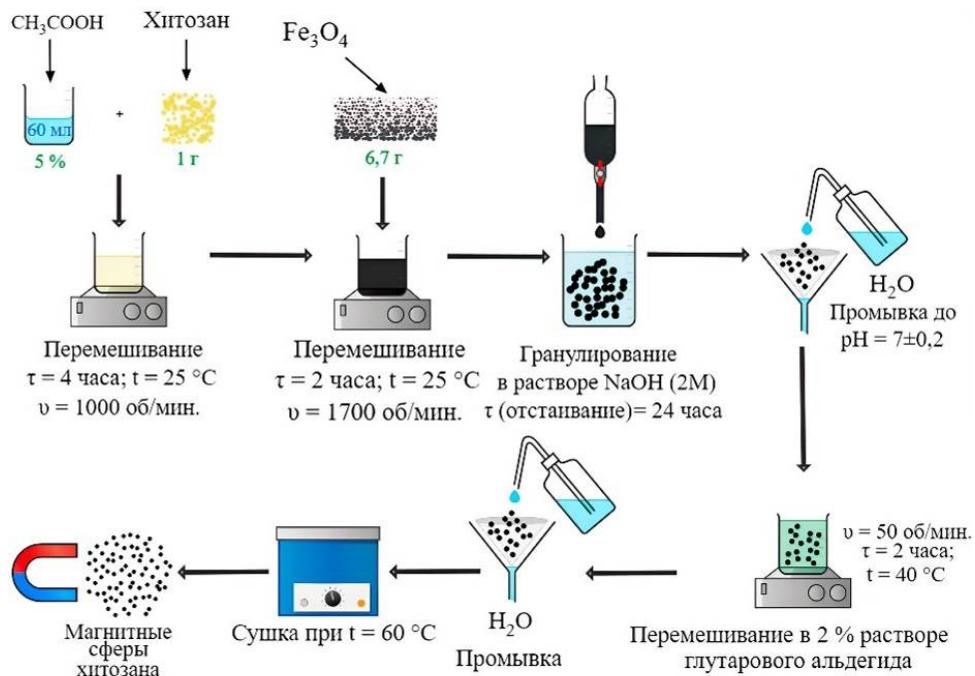


Рис. 5. Схема изготовления магнитных гранул на основе хитозана и гальваношлама

Разработанный магнитный сорбент на основе хитозана продемонстрировал высокую эффективность в удалении анионных ПАВ при полном извлечении КСМ из объема очищаемой воды (рис. 6).

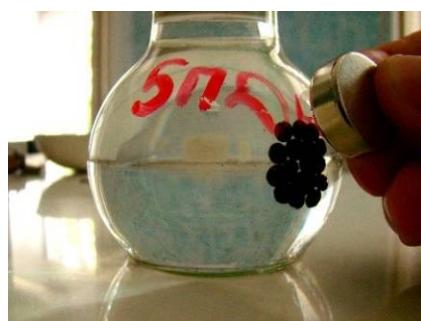


Рис. 6. Удаление внешним магнитным полем магнитного хитозана из очищаемых растворов

Полученные данные по очистке представлены в таблице 2. Исходя из результатов, можно установить достаточно высокую степень очистки от анионных ПАВ композитом, полученным модификацией ценными железосодержащими компонентами из отходов гальваники, в структуру хитозана. Максимальная эффективность очистки наблюдалась в первые 30 мин: содержание лаурил-

сульфата (SLS) натрия снижалось на 95–97%, а лауретсульфата натрия (SLES) – на 94–96%, что соответствует уменьшению концентрации в 18–30 и 17–28 раз соответственно.

Исследования подтвердили высокую сорбционную активность полученного композиционного материала в отношении анионных ПАВ. Кинетика процесса характеризуется достижением максимальной эффективности очистки (94–97%) в течение первых 30 минут взаимодействия сорбента с раствором, что отражено на рисунках 7, 8. При использовании магнитного композиционного материала устанавливается концентрация анионных ПАВ в растворе гораздо ниже уровня ПДК, что обеспечивает практически полное удаление загрязняющего компонента.

Таблица 2

Результаты анализа сорбционных свойств магнитных гранул по отношению к лаурилсульфату натрия (SLS) и лауретсульфату натрия (SLES) в зависимости от степени загрязненности при полчасовом взаимодействии

Реагент	Начальная концентрация АПАВ, мг/дм ³ **	Эффективность очистки, %	
		от SLS	от SLES
Магнитные гранулы хитозана на основе Fe_3O_4 из гальваношлама	0,2	97,2±0,1	96,7±0,1
	0,3	96,6±0,1	96,2±0,1
	0,4	96,1±0,1	95,9±0,2
	0,5	95,8±0,1	95,6±0,1
	1,0	95,1±0,2	94,7±0,1
Контроль*	0,5	1,1±0,1	1,1±0,1

Примечание: * – контролем служили неочищенные растворы поверхностно-активных веществ, отфильтрованные капроновым волокном; ** ПДК_{р.х.} АПАВ = 0,1 мг/л.

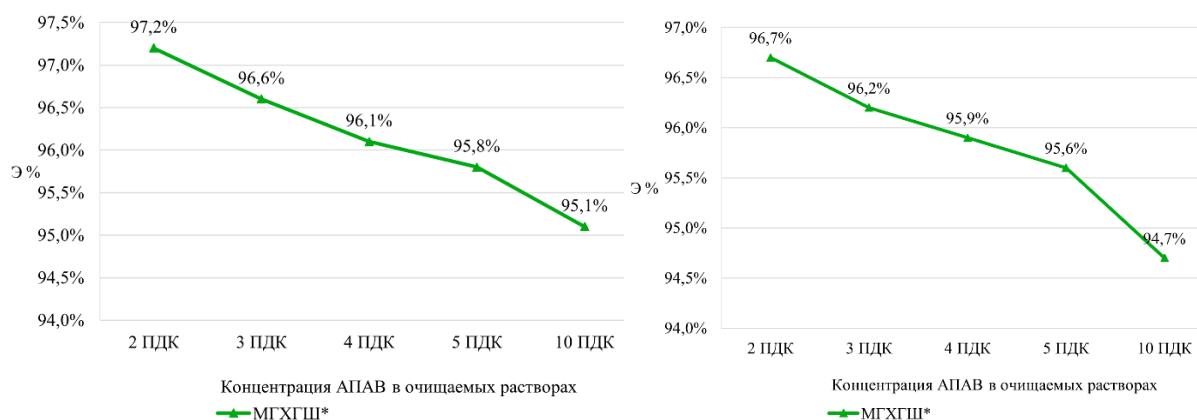


Рис. 7. Характеристика очистки модельных растворов от SLS композиционным материалом

Рис. 8. Характеристика очистки модельных растворов от SLES композиционным материалом

Разработка сорбционных материалов на основе безопасных природных компонентов, таких как хитозан, с включением ценных компонентов из отходов промышленности (в данном случае гальваношлама) представляет собой эколо-

гически ориентированное решение. Это позволяет одновременно нивелировать две проблемы: эффективно очищать воды от поллютантов и утилизировать опасные производственные отходы.

Библиографический список

1. Вохидова Н. Р., Рашидова С. Ш. Полимер металлические системы хитозана ВомВух тоги : монография. Ташкент : Изд-во «Фан» Академии наук Республики Узбекистан, 2016. 128 с.
2. Efficiency of use of galvanic sludge in cement systems // S. Stepanov, N. Morozov, N. Morozova, et al. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.827 // Procedia Eng. 2016. Vol. 165. P. 1112–1117.
3. Ольшанская Л. Н., Лазарева Е. Н., Волошкина Ю. В. Гальваношламы – как источник вторичных ресурсов для получения промышленных товаров. DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-1(8)-7-14 // Промышленные процессы и технологии. 2023. Т. 3. № 1. С. 7–14.
4. Голов Д. А., Джундабетова Н. Б., Арефьева О. А. Исследование флокуляционных, коагуляционных, сорбционных свойств хитозана по отношению к анионным поверхностно-активным веществам для анализа перспективности создания композиционных материалов для очистки вод // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона : сб. научных трудов по материалам междунар. конф. Саратов : Сарат. гос. техн. ун-т, 2023. С. 261–267.
5. ПНД Ф 14.1:2:4.15-95. Количественный химический анализ вод. Методика измерения массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в питьевых, поверхностных и сточных водах экстракционно-фотометрическим методом [Электронный ресурс]. – URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/e77/4293808613.pdf> (дата обращения: 21.01.2024).

ФОРМИРОВАНИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЛЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЙ ОТРАСЛИ КАК СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВА

И. В. Ерёмин¹, Т. В. Башлыкова²

¹ *Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе, ereminiv@mri.ru,*
² *ООО «НВП Центр-ЭСТАгeo»*

В статье показан опыт Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе в формировании кадрового потенциала для отрасли путем системного подхода к профессиональному обучению, созданию Базовых школ, инжиниринговых центров, институтов дополнительного образования с привлечением научных профильных организаций и предприятий недропользования. Приведен вектор повышения квалификации кадрового состава от инженера-техника до специалиста с научно-методическими навыками и до эксперта в сфере недропользования.

Ключевые слова: минерально-сырьевой комплекс, кадровый потенциал, новая кадровая политика, инженерное образование, профориентация школьников, экологическое просвещение, цифровизация образования, суперкомпьютер, цифровое недропользование, инжиниринговые центры.

Минерально-сырьевой комплекс (МСК) – одна из основных составляющих фундамента социально-экономического развития Российской Федерации – в настоящий момент стоит перед лицом ряда прогрессирующих проблем, главным образом касающихся кадрового дефицита в большей части соответствующих и смежных отраслей. Миссия по обогащению кадрового ресурса компетентными специалистами, как принято, лежит преимущественно в основах деятельности организаций высшего и среднего профессионального образования. В частности, изучение опыта вузов в подготовке специалистов для геологоразведочной, горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей дает нам ценное знание в определении стратегии дальнейшего развития кадрового потенциала МСК [1].

Один из ведущих профильных вузов, исторически сформировавшийся из геологоразведочного факультета учрежденной в 1918 году Московской горной академии, ныне известный как Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), готовит профессионалов, интегрируя инновационные технологии в традиционно устоявшуюся образовательную модель, адаптируясь под текущие проблемы и вызовы отрасли. К ним, например, относится снижение притока молодёжи в геологические специальности ввиду уже четко обозначившейся ИТ-направленности образовательного тренда. В современных реалиях геологии жизненно необходима популяризация. Проект Базовых школ МГРИ, направленный на раннюю профориентацию детей через внедрение в учебную деятельность адаптированного под юные умы многолетнего университетского опыта, – пример современного подхода к обеспечению повышения престижа и популярности геологических профессий среди школьников, а также, что не менее важно, укреплению системы бесшовного профильного образования. Курируемые вузом олимпиады «Геомикс» и «Земля и Человек», просветительско-образовательные мероприятия, такие как Всероссийский ежегодный конкурс оценки уровня экологической грамотности «Зелёный Зачёт», экскурсии в Инжиниринговый центр МГРИ не только погружают школьников и студентов в профильную специальность, но и приобщают их к мировой повестке оптимизированного и рационального использования ресурсов Земли. Отдельно стоит отметить подготовку вуза к реализации совместного с Федеральным экологическим оператором (ФГУП «ФЭО») проекта «Менделеевские Экоклассы», в котором химический, математический, географический и геологический образовательные блоки будут реализовываться в контексте базиса экологического просвещения, что поможет школьникам с ранних лет развивать профильные компетенции с пониманием постоянно растущей ограниченности природных ресурсов.

Формирование количественно устойчивого и, что самое главное, представленного высококвалифицированными специалистами кадрового ресурса, разумеется, напрямую зависит и от уровня качества реализуемой в профильных университетах основной модели высшего образования [2]. Сосредоточение мощного теоретического фундамента в сочетании с продуктивной практической программой – основной инструмент в получении востребованных профильных компетенций. Значимой составляющей является интеграция образова-

тельных программ с современными научными исследованиями и технологическими проектами. МГРИ активно сотрудничает с Российским фондом фундаментальных исследований, РАН, профильными институтами и предприятиями недропользования. Это позволяет студентам и аспирантам быть вовлечёнными в проекты, ориентированные на решение актуальных задач отрасли: от 3D-моделирования месторождений и прогнозирования минеральных ресурсов до разработки экологически безопасных технологий недропользования. В рамках таких проектов обучающиеся приобретают навыки работы с современными цифровыми инструментами и осваивают инновационные методы исследования, что существенно повышает их конкурентоспособность на мировом уровне.

Особую роль в цифровой трансформации научно-образовательной деятельности вуза играет суперкомпьютер «Геоинтеллект» – высокопроизводительная вычислительная машина, разработанная для решения комплексных задач геологоразведки и недропользования. Архитектура суперкомпьютера позволяет обрабатывать крупные массивы геологических и геофизических данных в режиме реального времени, что значительно повышает скорость сложных вычислений, необходимых, например, для 3D-моделирования месторождений, построения геодинамических моделей и прогнозирования минерально-сырьевой базы. Благодаря этому, студенты и научные работники имеют возможность работать с уникальными инновационными инструментами анализа больших массивов данных, а также отрабатывать навыки создания цифровых аналогов месторождений и профильных предприятий.

Суперкомпьютер значительно расширяет перспективы интеграции искусственного интеллекта в обучение и научную деятельность. Речь идет, в том числе, про моделирование вариантов освоения месторождений с учётом экологических ограничений и экономической целесообразности проектов, а также оптимизацию технологических процессов добычи и переработки полезных ископаемых. Такой подход не только повышает уровень подготовки специалистов, но и укрепляет позиции МГРИ как сильного центра компетенций в рамках цифровизации МСК.

С учетом общей (и, в частности, касающейся геологоразведки) нарастающей профилизации необходимость в сравнительно быстром, но результативном повышении уровня компетенций в отдельно взятой узконаправленной специализации обязывает разрабатывать инновационные подходы также и к развитию системы дополнительного профессионального образования. Повышение квалификации, не являясь основной точкой опоры в формировании профессиональной базы, тем не менее, играет роль тонкого инструмента в получении узкоспециализированных знаний в рамках развития в конкретном профиле. На базе Института дополнительного образования МГРИ реализуются программы переподготовки и повышения квалификации для специалистов отрасли, что позволяет действующим инженерам и геологам своевременно обновлять знания в условиях быстрого развития технологий. Подобные программы особенно востребованы в регионах, где требуется адаптация специалистов к новым вызовам, связанным с освоением Арктики, глубоководными работами и цифровизацией

процессов недропользования. В перспективе такие центры дополнительного профессионального образования должны работать в тесном взаимодействии с работодателями, чтобы специалисты могли быстро осваивать новейшие методики и оборудование.

Устойчивое развитие минерально-сырьевого комплекса России невозможно без системной и опережающей подготовки кадрового ресурса, способного ответить на вызовы времени [3]. Современная модель профильного образования должна стремиться к эффективной реализации подготовки высококвалифицированных специалистов для отрасли, сочетая академическую традиционность с инновационными подходами: от школьной профориентации и экологического просвещения до участия студентов в научных прикладных проектах. Это не только способствует привлечению молодежи в геологические и горные специальности, но и формирует конкурентоспособных специалистов, способных осваивать новые технологии и методы в условиях постоянно развивающейся отрасли. Развитие системы дополнительного профессионального образования становится стратегически важным элементом, позволяющим действующим специалистам своевременно адаптироваться к новым задачам. Комплексный подход к кадровой политике, включающий взаимодействие вузов, научных организаций, предприятий и образовательных инициатив, должен быть способен обеспечить МСК квалифицированными кадрами и укрепить его роль как опоры экономической и технологической безопасности страны [4].

В условиях нарастающего дефицита инженерных кадров особую значимость имеет опыт Санкт-Петербургского горного университета, накопленный в процессе формирования и развития технологических площадок, ориентированных на углубленное освоение студентами практических навыков и прикладных компетенций. Эти площадки представляют собой не просто учебно-методические базы, а комплексные образовательные экосистемы, способствующие интеграции теоретической подготовки с реальной инженерной практикой [5].

Следует подчеркнуть, что государственная политика Российской Федерации традиционно придает первостепенное значение кадровому обеспечению стратегически значимых отраслей экономики. Этот приоритет отчетливо отражен в Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года, а также в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденных в 2024 году [6, 7]. Однако практика показывает, что наибольшая результативность достигается при сочетании целенаправленной государственной поддержки с инициативной деятельностью образовательных и научных учреждений, способных предложить инновационные механизмы подготовки специалистов нового поколения.

В этом контексте деятельность инжиниринговых центров при университетах приобретает системообразующее значение, поскольку именно в их рамках формируется не просто инженер в традиционном понимании этого слова, а мыслящий специалист, обладающий способностью к аналитическому осмыслению технологических процессов и самостоятельному принятию решений в условиях неопределенности.

Если обратиться к этимологии понятия «инженер» (от французского *ingénieur*, происходящего от латинского *ingenium* — «изобретательность», «ум»), то его изначальный смысл заключался в способности создавать, совершенствовать и рационально использовать технические устройства. В современном научно-техническом контексте поле инженерной деятельности существенно расширилось, перешагнув границы исключительно технической сферы и охватив область технологического проектирования, где решение одной и той же задачи возможно множеством альтернативных способов, с использованием различных комбинаций методов и инструментов. В этой связи очевидно, что востребованность инженеров, обладающих развитым системным и критическим мышлением, существенно превосходит спрос на специалистов, ограниченных функциями технического исполнения.

Формирование подобного уровня профессионального мышления невозможно без активного вовлечения научного потенциала, обеспечивающего развитие интеллектуальной функции инженерной деятельности. Именно инжениринговые центры, действующие при ведущих университетах, способны стать точками интеграции теоретических знаний, практических инженерных навыков и современных технологий, создавая условия для выработки решений, имеющих непосредственное прикладное значение для промышленности и науки. В процессе их функционирования, включающем решение отраслевых задач, проведение консультаций с экспертами, научно-методическое сопровождение и использование современного аналитического оборудования, формируется качественно новая категория специалистов — инженеров-исследователей, готовых к реализации инновационных проектов различной сложности.

В этих же структурах появляется возможность раннего выявления перспективных кадров, способных к методической и экспертной деятельности, а также подготовки уникальных профессионалов, способных определять научно-техническую повестку завтрашнего дня.

Интеллектуальное развитие инженерных кадров, таким образом, представляет собой неотъемлемую составляющую системы высшего технического образования. Этот аспект приобретает особую актуальность в свете исторических и технологических изменений последних десятилетий: в постперестроечный период в сфере переработки минерального сырья активно внедрялся западный подход к тестированию методов и оборудования, тогда как в настоящее время мы уже фактически находимся и необратимо прогрессируем в эпохе искусственного интеллекта, который формирует новые принципы универсальности знаний. Однако следует помнить, что любая искусственная система обучается лишь на основании того интеллектуального материала, который в нее заложивает человек. Сохранение и развитие естественного интеллекта — критически важная задача, от которой зависит устойчивость и независимость отечественной инженерной школы.

Именно поэтому создание инжениринговых центров при вузах и развитие программ, направленных на формирование у студентов инженерных и исследовательских компетенций, является стратегически необходимым шагом. Современная молодежь проявляет высокий интерес к познавательной и проектной

деятельности, и задача университета – предоставить ей возможности для само-реализации в рамках актуальных научно-технологических направлений.

Настоящий тематический выпуск журнала отражает практически весь спектр современных методологических подходов к инженерному образованию – от когнитивных графических систем, обеспечивающих переход от накопления научных результатов к освоению процессов их получения, до экспертных систем недропользования, функционирующих с применением высокопроизводительных вычислительных комплексов.

Библиографический список

1. Бадмацыренова О. Б. Особенности кадрового обеспечения минерально-сырьевого комплекса Байкальского региона: социально-экологический аспект // Инновационные аспекты развития науки и техники. 2021. № 3. С. 180–184.
2. Луцевич И. В. Текущая кадровая политика горнодобывающей отрасли Российской Федерации и пути модернизации системы кадровой подготовки // Вестник магистратуры. 2022. № 12-2. С. 88–90.
3. Пастухова Л. С. Новая политика наставничества в стратегии повышения качества кадрового обеспечения минерально-сырьевой базы России // Горная промышленность. 2021. № 12. С. 133–138.
4. Итоги научно-практической конференции «Минерально-сырьевая база России – новый вектор экономического развития» [Электронный ресурс]. – URL: https://rosnedra.gov.ru/press/informatsionnye-materialy/itogi_nauchno_prakticheskoy_konferentsii_mineralno_syrevaya_baza_rossii_novyy_vektor_ekonomicheskogo/ (дата обращения: 10.08.2025).
5. Литвиненко В. Задача государства – ликвидация инженерного голода [Электронный ресурс]. – URL: <https://ria.ru/20250604/gosudarstvo-2020733883.html> (дата обращения: 10.08.2025).
6. Распоряжение Правительства РФ от 11.07.2024 № 1838-р «Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года» [Электронный ресурс]. – URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-11072024-n-1838-r-ob-utverzhdenii/?ysclid=mj17j5w5j6213323865> (дата обращения: 10.08.2025).
7. Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> (дата обращения: 10.08.2025).

ПОДГОТОВКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА ИЗ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

А. И. Кононов¹, Н. В. Васильев¹, О. Н. Кайгородов²

¹ПАО Новолипецкий металлургический комбинат, *kononov_ai@nlmk.com*,
²ООО Лесинтех

В статье представлено описание технологии производства альтернативного топлива (АТ) из твердых коммунальных отходов (ТКО) в виде пеллет, которые могут служить частичной заменой кокса и природного газа в доменном переделе предприятий черной металлургии. Показано, что за счет рециклинга невостребованной части ТКО доля вторичных материальных ресурсов (ВМР)

может быть увеличена до 30% в регионах присутствия предприятий черной металлургии.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, альтернативное топливо, пеллеты.

Целью национального проекта «Экологическое благополучие» и его направления «Экономика замкнутого цикла» является формирование системы обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО), благодаря которой они становятся новым ресурсом. Планируется, что к 2030 г. все ТКО в стране будут проходить сортировку, а не менее четверти из них – направляться на переработку в качестве вторсырья.

В настоящее время, в зависимости от оснащенности комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию ТКО, извлечение ВМР составляет 5–10%. Для достижения поставленной цели в 25% требуется организация дополнительной переработки образующихся «хвостов» (остатки после первичной сортировки), которые содержат ценные фракции, с получением новых продуктов переработки. При этом обязательным условием должно быть наличие стабильного потребления получаемых продуктов. Таким образом, необходимо формирование дополнительных устойчивых цепочек производства и потребления ВМР. Например, в Российской Федерации постепенно внедряется альтернативное топливо из ТКО на предприятиях цементной промышленности [1].

Одна из перспективных для России цепочек, реализованных в Европе и Японии, – производство альтернативного топлива (АТ) в виде пеллет из ТКО и применение их в качестве частичной замены кокса и природного газа в доменных печах (ДП). Существенным преимуществом такого симбиоза является отсутствие экологических рисков, связанных с работой доменных печей, в связи с высокими температурами в фурменном очаге, способностью шихтовых материалов нейтрализовывать опасные загрязнители и наличием эффективных газоочистных установок.

«Хвосты» сортировки – сырье для АТ. Наиболее ценные для ДП углеродсодержащие компоненты, не находящие применение и захораниваемые на полигонах, находятся в «хвостах» сортировки ТКО. Выход «хвостов» зависит от региона, сезонности, степени автоматизации комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию ТКО, но в среднем составляет около 40% от входящей массы ТКО. В составе «хвостов» имеются загрязненные полимеры (45–49%), загрязненные и влажные текстиль, древесина, бумага (19–23%), органика (27–31%), стекло, металл, камни, керамика (3–5%). Наибольший интерес для производства АТ представляют полимеры, текстиль, древесина, бумага (65–70%). Органика содержит большое количество влаги, а инертные материалы снижают эффективность АТ.

Требования для АТ. Технические требования для АТ из ТКО изложены в ГОСТ Р 71857-2024 «Ресурсосбережение. Альтернативное топливо из твердых коммунальных отходов для металлургической промышленности. Технические условия» [2]. Для стабильной и эффективной работы доменной печи, а также

для минимизации экологических рисков к пеллетам из ТКО предъявляются конкретные требования:

- низшая теплота сгорания – не менее 21 МДж/кг;
- содержание хлора (Cl) – не более 1,0%;
- содержание ртути (Hg) – не более 0,7 мг/кг;
- влажность – не более 10%;
- зольность – не более 13%.

Для производства пеллет такого качества требуется создание технологического участка, для которого входным сырьем служат «хвосты» – альтернативное топливо низкого качества, состоящее из фракций разной геометрической формы, размером более 70 мм и высокой степенью влажности (до 45%), получаемое после первичной сортировки. Продуктом технологического участка является подготовленное альтернативное топливо в виде хлопьев фракцией от 25 до 30 мм, влажностью от 10 до 20% (в зависимости от удаленности этапа пеллетирования), получаемое путём удаления негорючих фракций (стекло, камень, металл, пищевые отходы, органика и т. д.), измельчения и сушки «хвостов». Из этого продукта производят пеллеты, или гранулы, – компактный топливный материал в форме цилиндров требуемой длины и диаметра, полученный путём пеллетирования.

Для производства гранул обозначенного выше качества, состав новой линии должен обеспечить получение подготовленного альтернативного топлива со следующими характеристиками:

- размер частиц не более 25 мм (90%);
- влажность не более 40% (отн);
- зольность не более 10%;
- массовая доля хлора не более 0,7%;
- содержание металлов не более 0,1%;
- содержание полимеров, преимущественно плёнка, не менее 60%.

Состав оборудования и технологическая цепочка для получения АТ. Линия производства топливных пеллет из «хвостов» сортировки состоит из 3 производственных участков (рис.):

- участок производства подготовленного альтернативного топлива в виде «хлопьев»;
- участок сушки «хлопьев»;
- участок грануляции «хлопьев».

Участок производства «хлопьев». В составе участка:

- система конвейеров, передающих «хвосты» сортировки из действующего цеха;
- шредер предварительного измельчения;
- воздушный сепаратор для отделения легких, ценных компонентов от тяжелых влажных и инертных материалов;
- оптический сепаратор, задача которого – выделение низкокалорийных и хлорсодержащих фракций;
- шредер финишного измельчения;

- магнитный сепаратор для удаления оставшихся металлических примесей;
- сканер состава хлопьев, для управления оптическим сепаратором и оптимизации его работы.

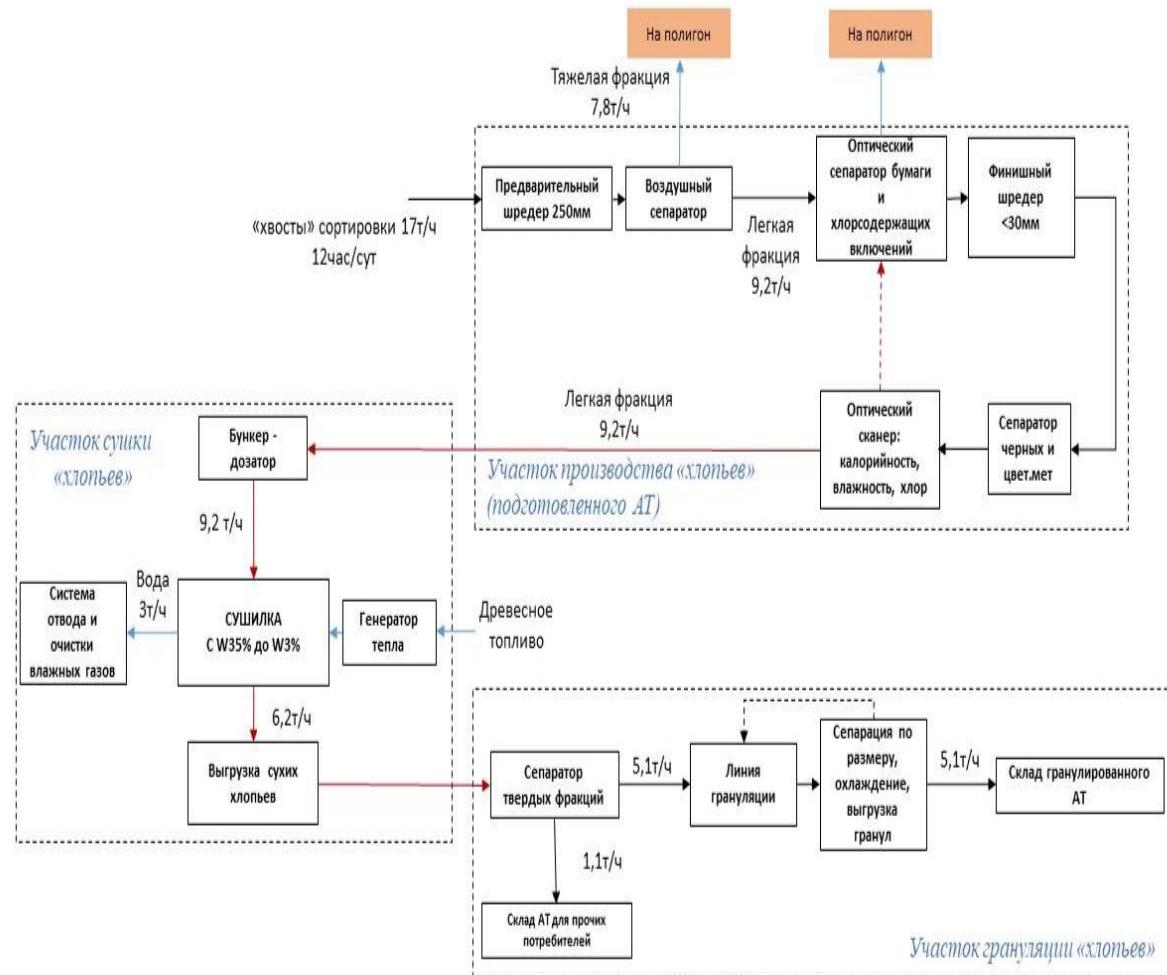


Рис. Блок-схема линии подготовки гранулированного альтернативного топлива из «хвостов» сортировки ТКО

Наиболее ответственным оборудованием является воздушный сепаратор, который удаляет около 46% «проблемных» компонентов.

Участок сушки «хлопьев». В составе участка:

- механизированный склад влажных «хлопьев»;
- теплогенератор с бункерами и конвейером;
- сушильный барабан с бункерами, циклонами, дымососом, системой очистки отходящих газов, конвейерами.

На участке достигается требуемая влажность «хлопьев», допустимая для пеллетирования.

Участок грануляции «хлопьев». В составе участка:

- сепаратор твердых фракций с фильтром тонкой очистки и конвейерами;
- механизированный склад;

- пресс-гранулятор с конвейерами;
- охладитель;
- грохот пеллет.

На данном участке из сухих «хлопьев» получается около 82% готового продукта и около 18% альтернативного топлива, которое может быть использовано на других объектах. На выходе из участка имеем конечную продукцию в виде пеллет требуемых параметров и качества.

Эффекты по уменьшению захоронения. С учетом получаемого готового продукта, альтернативного топлива для других объектов и удаляемой в процессе сушки влаги, количество захораниваемых ТКО уменьшается с исходных 90% до 65–70%.

Приведенные оценки могут изменяться в зависимости от региона, сезонности и степени автоматизации линий сортировки, но рассчитанный показатель соответствует поставленным целям национального проекта «Экологическое благополучие».

Потребность ДП в АТ – опыт Европы. Некоторые преимущества пеллет из ТКО:

- высокое содержание летучих веществ 80–90%. Например, для пылеугольного топлива (ПУТ) этот показатель 15–43%;
- по сравнению с ПУТ горение пеллет более активное при температурах 400–500 °С с выделением большого количества CO, являющегося восстановителем в доменной плавке;
- по сравнению с ПУТ скорость горения пеллет в 6–8 раз более высокая.

Коэффициент замены кокса в доменных печах Зальцгиттер (Германия) 0,7 кг/кг и VAStahl (Австрия) 0,7–0,9 кг/кг.

На основании имеющегося опыта применения пеллет из ТКО оптимальным считается использование 40 кг пеллет на тонну чугуна. Для доменной печи объемом 2000 м³ это примерно 70 тыс. т пеллет в год.

Выводы. Имеется положительный опыт применения пеллет из ТКО в ДП для частичной замены кокса и природного газа.

Производство пеллет из ТКО позволит уменьшить количество захораниваемых ТКО, уменьшит экологическую нагрузку от полигонов.

Создание условий для стабильного производства АТ из ТКО и его применения в ДП позволит выполнить цели национального проекта «Экологическое благополучие» для регионов присутствия ДП.

Библиографический список

1. Шесть комплексов ТКО готовы поставлять топливо из отходов для цементных заводов [Электронный ресурс]. – URL: <https://jcement.ru/content/news/shest-kompleksov-tko-gotovy-postavlyat-toplivo-iz-otkhodov-dlya-tsementnykh-zavodov/> (дата обращения: 25.09.2025).
2. ГОСТ Р 71857-2024 Ресурсосбережение. Альтернативное топливо из твердых коммунальных отходов для металлургической промышленности. Технические условия: действ. с 05.12.2024. М., 2024. – URL: <https://meganorm.ru/Data/840/84095.pdf> (дата обращения: 25.09.2025).

АКТУАЛЬНЫЕ ПРАВОВЫЕ, ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ И КОНСЕРВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ, КОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗОВАЛИСЬ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

Р. С. Кузьмин¹, Б. М. Усманов²

¹ РАНХиГС, rkuzmin-25@edu.ranepa.ru,

² Казанский федеральный университет, batikandr@gmail.com

В статье рассмотрены различные аспекты проблем рекультивации и консервации земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления. Исследованы естественные, правовые, эколого-экономические ограничения направлений рекультивации земель, занятых полигонами ТБО (ТКО). Обоснованы выводы о предпочтительности консервации земель вместо рекультивации земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления.

Ключевые слова: полигон твердых бытовых отходов, полигон твердых коммунальных отходов, рекультивация земель, консервация земель, государственная экологическая экспертиза.

Разрешенный тип объектов (сооружений) для размещения бытовых или коммунальных отходов – полигон. Понятие «твердые бытовые отходы» (ТБО) выведено из определений федерального законодательства, в настоящее время используется понятие твердые коммунальные отходы (ТКО). В представленной статье мы будем использовать название – полигон ТБО (ТКО).

Законодательством Российской Федерации предусмотрены два основных типа мероприятий после окончания срока эксплуатации полигонов ТБО (ТКО): рекультивация или консервация земель. Данные понятия мы будем рассматривать в контексте определений данных в соответствующих нормативных документах [1].

Рекультивация земель – мероприятия, которые при их реализации, позволяют использовать земельный участок по выбранному направлению рекультивации.

Консервации земель – мероприятия, которые консервируют земельный участок без какого-либо использования.

Рекультивацию и консервацию земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления, мы рассматриваем, для случаев, когда основная часть бытовых и коммунальных отходов не вывозится с земельного участка, а изолируются на месте.

Стремление собственника земельного участка, как земельного ресурса, использовать его с получением какого-либо дохода видится нам естественным, тем более, если собственник – государство. Поэтому, основной практикой с землями, которые использовались для размещения отходов производства и потребления, стала рекультивация земель.

Согласно подпункта 3 пункта 1 статьи 11 Федерального закона от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе», проекты рекультивации земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления подлежат Государственной экологической экспертизе [2].

Мы предлагаем использовать возможность консервации земель, которые использовались для эксплуатации полигонов ТБО (ТКО).

В данной статье мы рассматриваем сложившуюся практику рекультивации земель, которые использовались для эксплуатации полигонов ТБО (ТКО), исследуем ограничения направлений рекультивации земель, различные аспекты проблем.

Сложившаяся практика рекультивации земель, которые использовались для эксплуатации полигонов ТБО (ТКО). Рассмотрим выбор направлений рекультивации для земель [3], которые использовались для устройства полигонов ТБО (ТКО), с учетом существующих ограничений (табл. 1).

Таблица 1

Направления рекультивации и их ограничения для земель, которые использовались для эксплуатации полигонов ТБО (ТКО)

Направление рекультивации земель	Тип ограничений	Ограничения
Сельскохозяйственное	Отсутствует	не выявлены
Лесохозяйственное	Правовое	Отходы должны быть вывезены с земельного участка лесного фонда
Рыбохозяйственное	Эколого-экономическое	Уровень ПДК вод достигается на дорогостоящих очистных сооружениях с обратным осмосом
Водохозяйственное		
Рекреационное	Экологическое	Превышение уровня ПДК атмосферного воздуха для целей рекреации
Строительное	Правовое	Запрещено капитальное строительство
Природоохранное	Правовое, экологическое	Ограничена хозяйственная деятельность

Среди различных направлений рекультивации земель, которые использовались для устройства полигонов ТБО (ТКО), главным направлением является сельскохозяйственное.

Сельскохозяйственное направление рекультивации полигонов ТКО в большинстве случаев сводится к выполнению откосов склонов холма отходов, покрытию поверхности тела полигона грунтом, настилу геомембран, завозу и распределению грунта и почвы по поверхности, агротехническим мероприятиям по высаживанию многолетних трав.

Экономический аспект. Сельскохозяйственное использование земель рекультивированных после эксплуатации полигонов ТБО (ТКО), для сельскохозяйственных предприятий и фермеров не имеет практического смысла. Заезд и работа сельскохозяйственной техники на рекультивированных землях полигонов ТБО (ТКО) для регулярных агротехнических операций затруднена из-за рельефа. Рельеф рекультивированных земель полигона ТБО (ТКО) представляет собой холм, где основную площадь занимают склоны, где обычный сенопод-

борщик, трактор, комбайн безопасно работать не могут. Нестабилизированный грунт покрытого холма отходов не позволяет высаживать плодовые кустарники и деревья [4]. Относительно тонкий слой завезенной почвы в 0,2–0,3 м и наличие геомембраны не позволяет высаживать растения со стержневой корневой системой. Денежной выручки сельскохозяйственное направление рекультивации земель из-под полигонов ТБО (ТКО) не приносит. Использовать рекультивированные земли, которые использовались для эксплуатации полигонов ТБО (ТКО), под пастбища опасно из-за возможного перевыпаса, повреждения почвенного слоя и вследствие этого развития эрозионных процессов на склонах. Какой-то положительный экономический эффект может быть получен от многолетних трав в качестве медоносов.

Фактически, принятное сельскохозяйственное направление рекультивации земель, которые использовались для эксплуатации полигонов ТБО (ТКО) не имеет прямого значимого экономического результата. Земля, которая использовалась для эксплуатации полигонов ТБО (ТКО), после рекультивации не используется.

Экологический аспект. Нормативные документы [4, 5] устанавливают срок эксплуатации полигона ТБО (ТКО) в 15–25 лет, который может быть пролонгирован. Авторы статьи участвовали в многочисленных работах по определению остаточной емкости полигонов ТБО в Республике Татарстан [6] и подтверждают сроки эксплуатации полигонов ТБО – большинство полигонов ТБО Республики Татарстан (РТ) начали работу в 2001 г. по программе Экологического фонда РТ и к настоящему времени, или закрылись, или дорабатывают последние годы своей емкости.

После прекращения эксплуатации полигона ТБО (ТКО) его жизненный цикл не заканчивается. Источники [7, 8] говорят о различных сроках стадий жизненного цикла полигонов ТБО, однако сходятся в минимальном сроке стабилизационной фазы в 25 лет. Главным признаком, характеризующим окончание стабилизационной фазы жизненного цикла полигона ТБО, является завершение преобразования органического материала, включая прекращение образования биогаза и образование устойчивого грунта тела бывшего полигона отходов.

Источники [4, 5, 7, 8] говорят о различных сроках всего жизненного цикла полигона ТБО (ТКО), начиная от 70 до 200 лет и далее.

Используя собственный опыт разработки проектов рекультивации земель полигонов ТБО г. Мензелинска, г. Нурлат и села Актаныш в Республике Татарстан можно говорить:

- о существовании многолетних выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из-за образования биогаза вне зависимости от выбранного типа проводимой дегазации: сжигание, энергетическая утилизация или рассеивание;
- о выделении фильтрационных вод из тела бывшего полигона, которые являются сильнозагрязненными и требуют сбора и очистки или обезвреживания.

Таким образом, до окончания стабилизационной фазы жизненного цикла полигона ТБО (ТКО) на его землях происходят изменения, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду.

Правовой аспект. К правовому аспекту мы относим случаи передачи рекультивированных земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления, новому владельцу. Владелец обнаруживает на своем новом земельном участке на глубине 40–50 см отходы, часто он не может заниматься целевым использованием земельного участка и обращается в надзорные органы. Далее, начинаются длительные и дорогостоящие процедуры юридических разбирательств с неясными правовыми последствиями для всех сторон.

Другой правовой аспект проблемы рекультивации земель, которые использовались под полигоны ТБО (ТКО) связан с наличием проектно-сметной документации, положительных заключений государственных экспертиз на данную документацию, где прописаны мероприятия по рекультивации земель после завершения эксплуатации полигона ТБО (ТКО). Имеющиеся документы с учетом срока эксплуатации полигона в среднем 20–25 лет имеют соответствующий срок разработки и экспертизы. Авторам не удалось исчерпывающе ответить на вопрос, стоит ли разрабатывать новый отдельный проект рекультивации земель, проходить с ним Государственную экологическую экспертизу? Срок действия заключений Государственной экологической экспертизы в начале 2000-х годов прописывался различными региональными органами, уполномоченными на проведение Государственной экологической экспертизы, от года до трех-пяти лет. Срок действия заключений государственной экспертизы (Главгосэкспертизы России), как правило, бессрочный. Правовой статус подобных сроков действия заключений ГЭЭ вызывает вопросы у надзорных органов и эксплуатантов, так как срок эксплуатации полигонов ТБО прописывался в заключениях от 10 до 25 лет.

К настоящему времени, значительная часть проектов рекультивации земель, которые использовались для эксплуатации полигонов ТБО (ТКО), свалок, не могут получить положительное заключение Государственной экологической экспертизы (ГЭЭ) исходя из данных реестра выданных заключений ГЭЭ [9] и данных о заседаниях экспертных комиссий ГЭЭ [10]. Имея собственный опыт работ по сопровождению проектов рекультивации земель, которые использовались под полигоны ТБО, при процедуре ГЭЭ можно сказать, причины отрицательных заключений ГЭЭ проистекают из самого выбранного типа мероприятий – рекультивации земель.

Преимущества консервации земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления. В Российской Федерации [1] оговорен срок, который устанавливает выбор решений по нарушенным землям: если срок рекультивации (достижение целей рекультивации) превышает 15 лет, то производится консервация земель, срок для консервации установлен в 25 лет.

Экологический аспект. Минимальный срок стабилизации земель, которые использовались для эксплуатации полигонов ТБО (ТКО), составляет 25 лет.

После истечения срока стабилизации земель грунт стабилизируется, выбросы биогаза, выход фильтрационных вод сходят на нет, значимое негативное воздействие на окружающую среду прекращается.

Экономический аспект. Как правило полигоны ТБО (ТКО) располагались недалеко от крупных населенных пунктов. Площадь крупных населенных пунктов с течением времени увеличивается, с учетом жизненного цикла, включающего эксплуатацию полигона ТБО (ТКО) в 25 лет и стабилизацию (консервацию земель) в 25 лет, земельный участок, который использовался под полигон ТБО (ТКО) становится ближе к населенному пункту, что приводит к многократному увеличению его стоимости.

Правовой аспект. Возникнет возможность проведения настоящей рекультивации земельного участка со всеми возможными направлениями.

Предлагаем следующие направления консервации земель, оно представлено в таблице 2.

Таблица 2

Таблица направлений консервации земель

Проект консервации земель	природоохранное
	санитарно-гигиеническое
	консервационное

Выводы. Результаты рекультивации земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления, не достигаются: земля не используется, значимого экономического эффекта нет, негативное воздействие на окружающую среду продолжается, возникают правовые проблемы. Существуют трудности с Государственной экологической экспертизой по проектам рекультивации земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления.

Консервация земель, которые использовались для размещения отходов производства и потребления, – самый предпочтительный вариант с учетом естественных, правовых, экологических и экономические аспектов.

Библиографический список

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 29 мая 2025 г. № 781 «Об утверждении правил проведения рекультивации и консервации земель» : принят 29.05.2025 : действ. с 01.09.2025. М., 2025. Доступ из информ.-правовой системы «Гарант».
2. Федеральный закон от 23 ноября 1995 г. № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе».
3. ГОСТ Р 57446-2017. Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия (с Поправкой) : действ. с 01.12.2017. М., 2017. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
4. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов : действ. с 05.11.1996. М., 1996г. Доступ из информ.-правовой системы «Гарант».
5. Свод правил СП 320.1325800.2017 Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация : с изменениями от 16.03.2022 : принят 17.11.2017 : действ. с 18.05.2018. М., 2017. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/16294/> (дата обращения: 29.10.2025).

6. Применение результатов аэрофотосъемки, полученных с использованием данных БПЛА, для оценки остаточной емкости полигона отходов на примере Республики Татарстан / Л. Г. Ахметзянова, Б. М. Усманов, Р. С. Кузьмин и др. // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31. № 4. С. 404–415.

7. Вайсман Я. И., Зайцева Т. А. Изменение микробиоценозов полигонов захоронения твердых бытовых отходов на различных этапах их жизненного цикла. Пермь : Перм. гос. техн. ун-т, 2004. 102 с.

8. Гушшамова А. Н., Рогачевских Ю. С., Сидорова Л. П. Жизненные циклы полигонов ТБО. Технические решения и технологии очистки их фильтрационных вод на различных этапах циклов // Развитие науки, национальной инновационной системы и технологий : сб. науч. трудов по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Белгород : Общество с ограниченной ответственностью «Агентство перспективных научных исследований», 2020. С. 25–35.

9. Реестр выданных заключений Государственной экологической экспертизы [Электронный ресурс]. – URL: <https://rpn.gov.ru/activity/gee-registry/> (дата обращения: 28.10.2025).

10. Сведения о заседаниях экспертных комиссий Государственной экологической экспертизы [Электронный ресурс]. – URL: <https://rpn.gov.ru/activity/services/gu/28159/> (дата обращения: 28.10.2025).

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЦЕРИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

И. С. Максимов, А. А. Беляев, В. А. Бродский

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
vanyuamaks@mail.ru*

Рассмотрена первая стадия экстракционно-электрохимической технологии извлечения редкоземельных элементов из промышленного сырья. Исследовано кислотное выщелачивание и определена эффективность различных реагентов. Проведено электрохимическое окисление Ce^{3+} до Ce^{4+} в проточном электролизёре на платинированном ниобиевом аноде при 2 А/дм^2 . Полученные результаты подтверждают эффективность сочетания стадий выщелачивания и электроокисления.

Ключевые слова: редкоземельные элементы (РЗМ), электрохимическое окисление, выщелачивание, проточный электролизер.

В последние годы наблюдается рост стратегической значимости редкоземельных металлов (РЗМ), обусловленный их использованием в высокотехнологичных областях. К числу ключевых применений относятся: создание постоянных магнитов на основе сплавов неодима, самария, диспрозия и тербия для нужд электротранспорта, и энергетики [1, 2], а также производство люминофоров с европием и тербием для современных средств отображения информации и освещения [3].

Перспективным направлением является экстракционно-электрохимический метод, позволяющий выделять РЗМ из многокомпонентных кислотных растворов после выщелачивания. Данный подход сочетает жидкостную экс-

тракцию и электрохимическое осаждение, что обеспечивает высокую степень извлечения целевых элементов и возможность их разделения [3–5].

Целью данной работы является оптимизация технологии извлечения РЗМ из смесей с использованием методов жидкостной экстракции и электролиза.

Предложена схема извлечения и разделения РЗМ из сырья, произведенного в соответствии с ТУ 1767-009-00545484-2000 на ОАО «Соликамский магниевый завод».

Сырье представляет собой порошок, состав которого был получен методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) и представлен в таблице.

Таблица

Состав РЗМ-содержащего сырья

Элементный состав, ат. %						
Ce	La	Pr	Cu	Ca	Sr	S
59,251	29,780	10,380	0,137	0,103	0,101	0,087

Примечание: Прибор EDX-7000; Атмосфера: Воздух; Коллиматор: 10 мм.

Сравнительная оценка эффективности серной и азотной кислот для выщелачивания редкоземельных элементов (Ce^{3+} , La^{3+} , Pr^{3+}) из промышленного сырья проводилась в стандартизованных условиях: соотношение твердая фаза:жидкая фаза = 1:5, температура 50 °C, длительность процесса 2 часа.

Результаты исследований наглядно демонстрируют существенное влияние природы кислоты на эффективность выщелачивания. Как показано на рисунке 1, использование азотной кислоты позволило достичь максимальных концентраций целевых элементов в растворе: Ce^{3+} – 60 г/л, La^{3+} – 35 г/л, Pr^{3+} – 5 г/л.

Серная кислота (1 М) показала несколько меньшую эффективность (рис. 2), обеспечив концентрации: Ce^{3+} – 17 г/л, La^{3+} – 10 г/л и Pr^{3+} – 2 г/л. Несмотря на это, для последующего технологического этапа – электрохимического окисления церия – была обоснована целесообразность перехода на нитратную систему.

Данное решение обусловлено рядом технологических ограничений, характерных для сульфатных сред: низкой растворимостью сульфатов редкоземельных элементов, недостаточной степенью окисления церия и склонностью к образованию труднорастворимых соединений Ce(IV). Таким образом, выбор азотной кислоты в качестве выщелачивающего реагента можно считать технологически обоснованным компромиссом между эффективностью извлечения РЗЭ и требованиями к последующим стадиям технологического процесса.

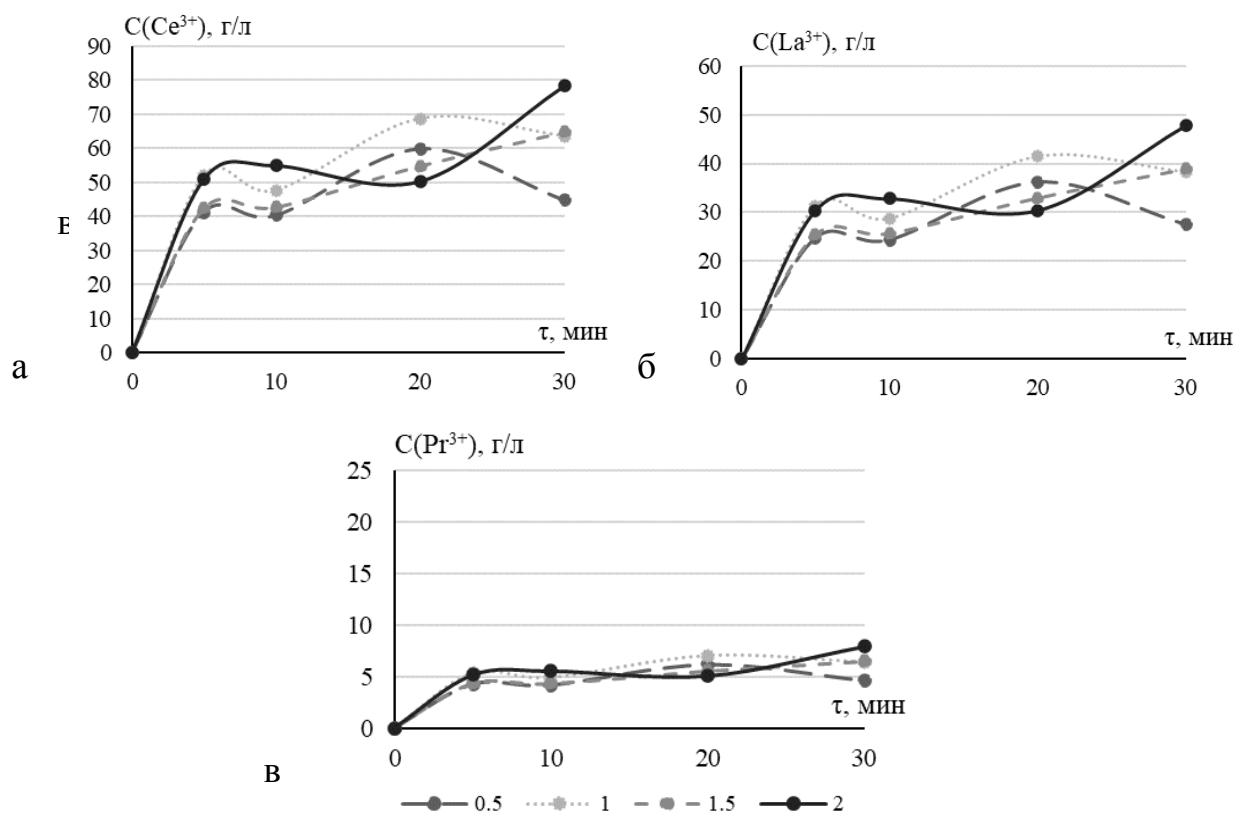


Рис. 1. Эффективность выщелачивания Ce^{3+} (а), La^{3+} (б), Pr^{3+} (в) в растворе азотной кислоты различных концентраций. Температура выщелачивания $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

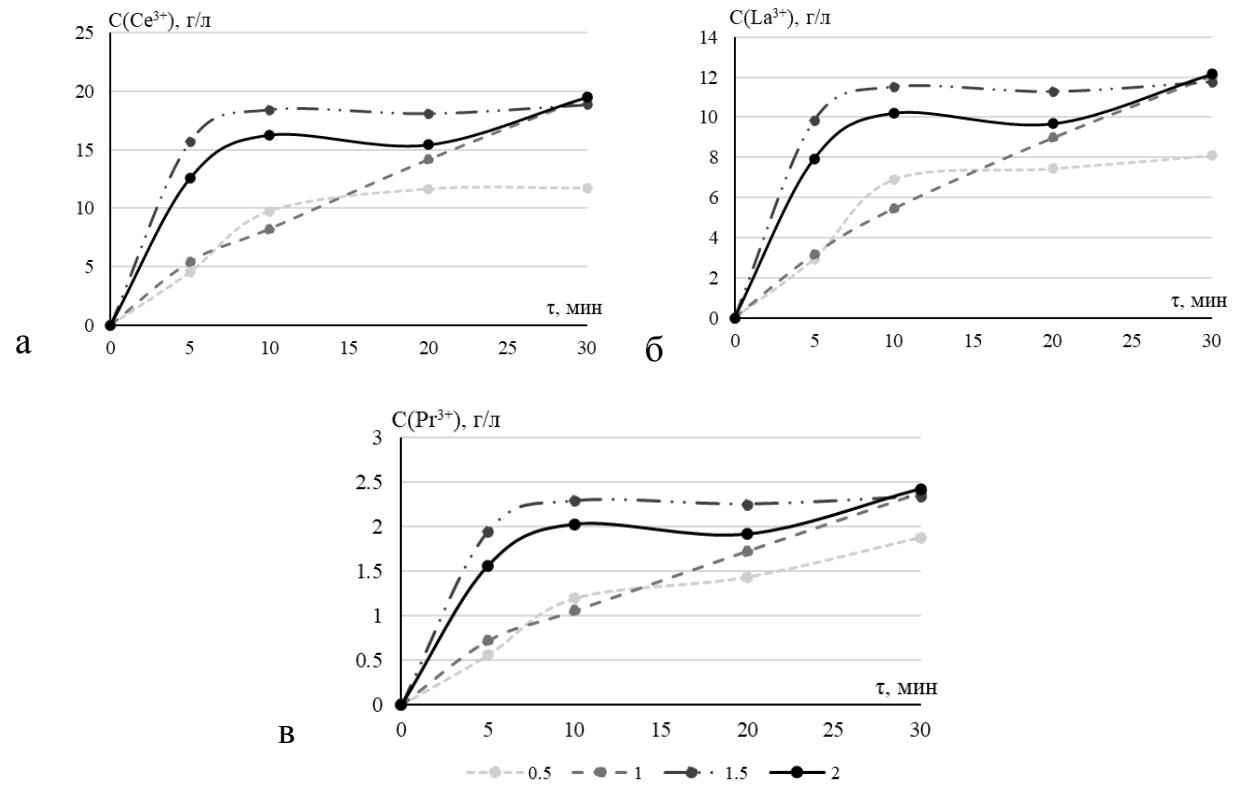
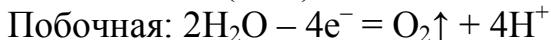
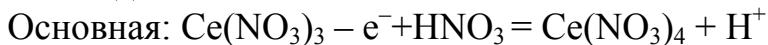


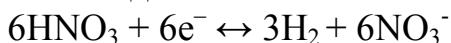
Рис. 2. Эффективность выщелачивания Ce^{3+} (а), La^{3+} (б), Pr^{3+} (в) в растворе серной кислоты различных концентраций

Для последующего экстракционного разделения РЗЭ проводили электрохимическое окисление Ce^{3+} до Ce^{4+} в проточном электролизере (рис. 3), поскольку в трехвалентной форме церий не экстрагируется селективно. Процесс характеризуется следующими электрохимическими реакциями:

На аноде:



На катоде:



Суммарная реакция электролиза:

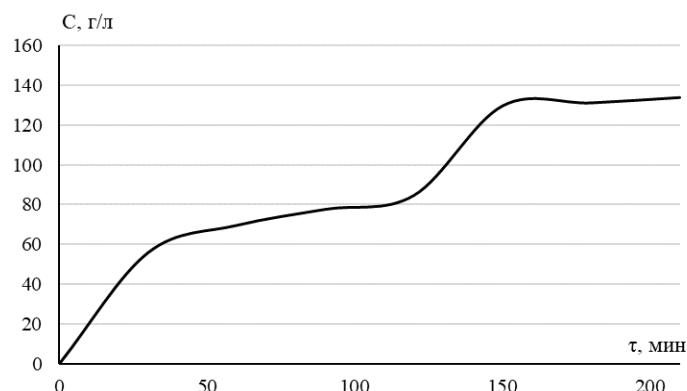
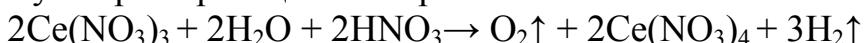


Рис. 3. Зависимость концентрации ионов Ce^{4+} от времени электролиза

Электрохимическое окисление церия проводили в проточном электролизере, разделенном мембраной МК-44. В качестве анода использовали платинированный ниобий, катод был изготовлен из нержавеющей стали. Рабочая площадь каждого электрода составляла $0,251 \text{ дм}^2$. Процесс вели при плотности тока 2 А/дм^2 и силе тока $0,5 \text{ А}$, поддерживая напряжение в диапазоне $9,5\text{--}10,2 \text{ В}$.

Исходный раствор содержал $0,33 \text{ М}$ азотной кислоты ($20,8 \text{ г/л}$) и $17,2 \text{ г/л}$ нитрата церия(III). Процесс проводили при температуре $20\text{--}25^\circ\text{C}$ в течение 4 ч. Рециркуляцию раствора обеспечивали двумя насосами LS-301 со скоростью 150 об/мин и дополнительным перемешиванием магнитными мешалками во всех емкостях.

Отбор проб производили каждые 30 мин. Пробы предварительно профильтровали, а затем определяли концентрацию Ce^{4+} спектрофотометрическим методом по оптической плотности желто-оранжевого раствора. Миграция нитрат-ионов в анодное пространство осуществлялась через мембрану за счет их образования в катодной зоне.

Проведенные исследования позволили установить, что при заданных параметрах электролиза максимальная степень окисления церия (98%) достигается в течение 3 ч. Последующее замедление кинетики процесса обусловлено значительным уменьшением концентрации ионов Ce^{3+} в растворе, что подтверждается данными спектрофотометрического анализа.

Дальнейшее проведение электролиза свыше 3 ч приводит к существенному снижению выхода по току (рис. 4). Это объясняется возрастанием доли по-

бочных электрохимических процессов – выделения кислорода на аноде и водорода на катоде. Данное явление связано с достижением предельно низких концентраций Ce^{3+} , при которых конкуренция между основной и побочными реакциями смещается в сторону последних.

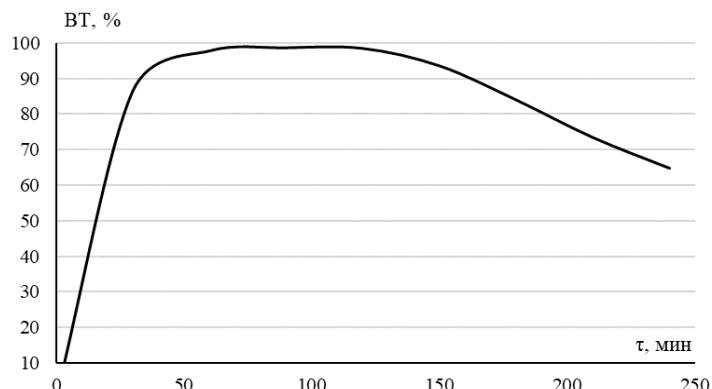


Рис. 4. Зависимость выхода по току (ВТ) от времени электролиза

Полученные результаты демонстрируют оптимальное время проведения процесса электрохимического окисления церия, составляющее 3 ч, что обеспечивает максимальную эффективность процесса при минимальных энергозатратах.

Библиографический список

1. Goonan T.G. Rare earth elements – end use and recyclability : Scientific investigations Report 2011–5094. Reston, Virginia : U.S. Geological Survey, 2011. 22 p.
2. Massari S., Ruberti M. Rare earth elements as critical raw materials: focus on international markets and future strategies. DOI: 10.1016/j.resourpol.2012.07.001 // Resour. Policy. 2013. Vol. 38. P. 36–43.
3. Recycling of rare earths: a critical review / K. Binnemans, P. T. Jones, B. Blanpain, et al. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.12.037 // J. Cleaner Prod. 2013. Vol. 51. P. 1–22.
4. Химия и технология редких и рассеянных элементов / И. В. Шахно, З. Н. Шевцова, П. И. Федоров, С. С. Коровин. М. : Высшая школа, 1976. 360 с.
5. Investigation of the leaching process of rare-earth metals from the black shale ores of Greater Karatau / O. S. Baigenzhenov, S. B. Yulusssov, A. T. Khabiyev, et al. DOI: 10.31643/2019/6445.31 // Complex Use of Mineral Resources. 2019. No. 3. P. 76–80.

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ПИТАТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ

В. В. Мартынов, Т. Н. Щемелинина, Е. М. Анчугова

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
martynov.v.v@ib.komisc.ru, tatyana@komisc.ru, anchugova@ib.komisc.ru

Исследование посвящено оптимизации питательных сред для культивирования ксилотрофных базидиомицетов *Trametes hirsuta* Th 24 и *Fomitopsis pinicola* Fr 24. В работе изучена эффективность применения лигноцеллюлозных отходов (кородревесные отходы (КДО) и кофейная шелуха) в качестве источ-

ников углерода. Установлено, что уровень целлюлазной активности зависит от состава среды и времени культивирования. Штамм *T. hirsuta* Th 24 проявил выраженную субстратную специфичность к кофейной шелухе, а КДО оказались предпочтительным субстратом для *F. pinicola* Fp 24. Результаты подтверждают перспективность использования лигноцеллюлозных отходов для повышения выхода ферментов у изученных штаммов.

Ключевые слова: питательные среды, ксилотрофные базидиомицеты, кородревесные отходы, кофейная шелуха.

Для продуктивного культивирования биомассы ксилотрофных базидиомицетов – продуцентов ферментных препаратов – в составе питательной среды необходимо наличие трех ключевых компонентов: источников углерода, азота и микроэлементов. К источникам углерода можно отнести многие лигноцеллюлозные отходы, такие как рисовые и пшеничные отруби, солома; водяной гиацинт; скорлупа арахиса; банановая кожура; арахисовый, кокосовый, соевый жмых; окара; кукурузные початки и др. [1]. Использование лигноцеллюлозных отходов способствуют выработке полного комплекса ферментов, необходимого для разложения биомассы [2].

Источники азота важны для роста продуцента и выработки ферментов. Исследования показывают, что органические источники азота, по сравнению с неорганическими, способствуют более высокой продукции ферментов [3]. При этом дополнительное внесение азота может увеличить биомассу продуцента, но снижать выход ферментов.

Микроэлементы, выступая в роли ферментативных кофакторов, положительно влияют на синтез ферментов даже в небольших концентрациях. Ионы металлов (Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+}), оказывают каталитическое воздействие на ферменты, связываясь с их активными центрами и повышая активность [4].

Целью работы являлась оценка возможности культивирования ксилотрофных базидиомицетов на нетрадиционных питательных средах. Объектами исследования являлись автохтонные штаммы *Trametes hirsuta* Th 24 и *Fomitopsis pinicola* Fp 24. В ходе исследования проводили глубинное культивирование (ГК) штаммов *T. hirsuta* Th 24, *F. pinicola* Fp 24 на модифицированных питательных средах с различными источниками углерода. В качестве источника углерода в питательную среду вводили лигноцеллюлозные отходы – кородревесные отходы (КДО) или кофейную шелуху (КШ) (табл.), состав которых благоприятен для культивирования [5, 6]. В процессе культивирования осуществляли периодический отбор культуральной жидкости с последующим определением общей целлюлазной активности по стандартной методике [7].

Исследование показало, выраженную зависимость уровня общей целлюлазной и гемицеллюлазной активности, как от продолжительности процесса, так и от состава питательной среды. У штамма *T. hirsuta* Th 24, проявляющего свойства продуцента лигниназ, максимальная активность зафиксирована на 12 сутки при использовании КШ в качестве субстрата (рис.). Для штамма

F. pinicola Fp 24 – продуцента целлюлазы – оптимальные результаты достигнуты на среде с КДО к 16 суткам (рис.).

Таблица
Состав питательной среды для глубинного культивирования (г/дм³)

Питательная среда	Источник углерода	Источник азота	Источник микроэлементов
1	Сахароза – 20,0	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 2,0 мочевина – 1,0	KH_2PO_4 – 1,0
2	КДО – 5,0		$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5
3	КШ – 3,0		$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,005 $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,005 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,005 CaCl_2 – 0,05

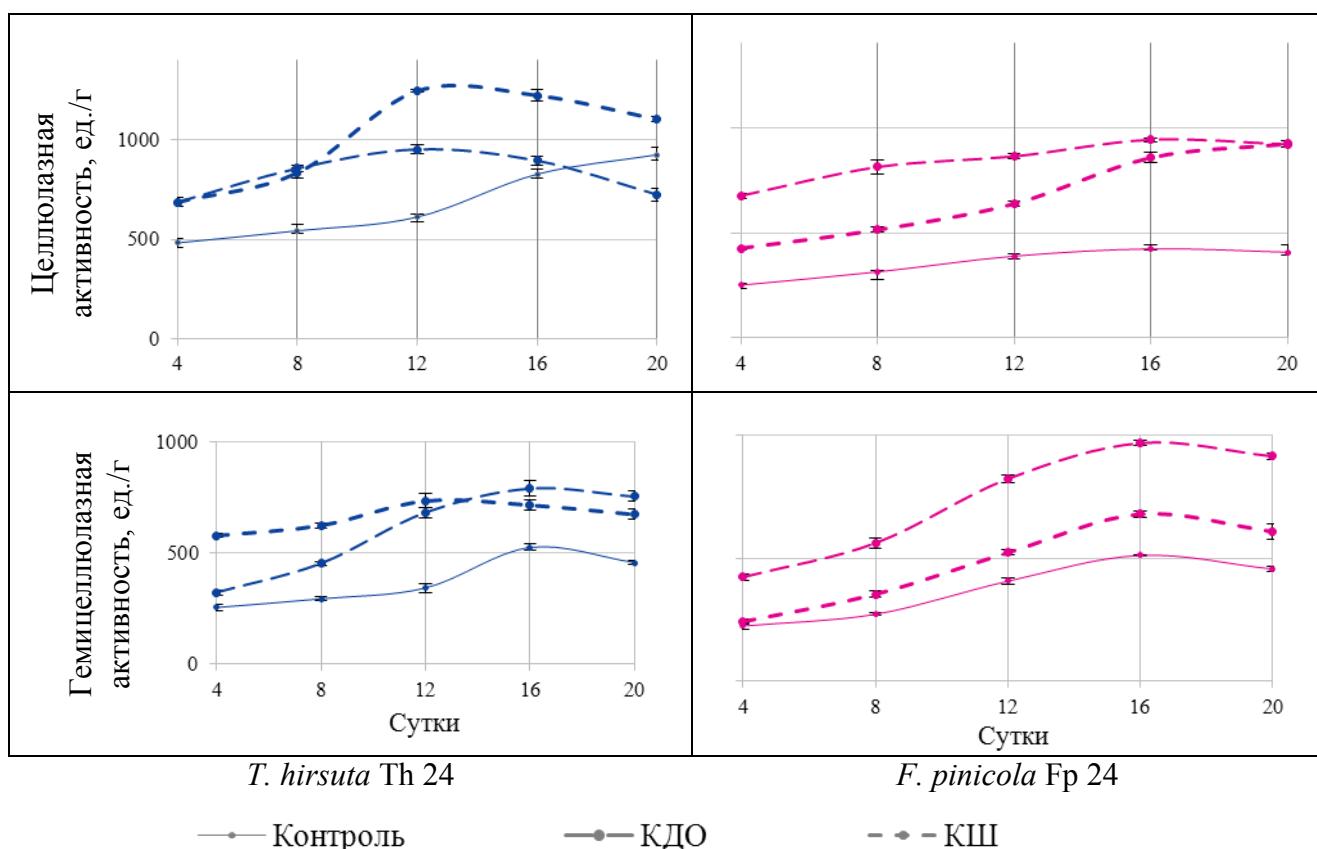


Рис. Динамика общей целлюлазной и гемицеллюлазной активности штаммов *T. hirsuta* Th 24 и *F. pinicola* Fp 24 при культивировании на средах с различными источниками углерода

Оба субстрата проявляли сопоставимую эффективность в качестве источника углеродного питания для продуцирования гемицеллюлаз штаммом *T. hirsuta* Th 24. В то же время штамм *F. pinicola* Fp 24 проявлял более высокую гемицеллюлазную активность на питательной среде с КДО (рис.). Вероятнее всего, что каждый из исследованных штаммов способен запускать собственную биоконверсию лигноцеллюлозных отходов, активируя метаболические пути. Так, ферменты лакказы и лигнин-модифицирующие пероксидазы грибов *Trametes hirsuta* способны к полному разложению лигнина [8]. Механизм же разложения древесины у грибов *F. pinicola* заключается в выработке гидрок-

сильных радикалов в реакции Фентона, окисляющих кристаллическую целлюлозу и лигнин и создающих трещины в ее структуре. Прорастая эти в трещины, гифы выделяют ферменты, разлагающие гемицеллюлозу и целлюлозу [9, 10].

Таким образом, подбор нетрадиционных источников углерода и микроэлементного состава питательной среды приводит к повышению выхода ферментов у автохтонных штаммов *T. hirsuta* Th 24, *F. pinicola* Fp 24. Полученные данные иллюстрируют субстратную специфичность у исследованных штаммов и подтверждают эффективность применения лигноцеллюлозных отходов – КДО и КШ – в качестве компонентов питательной среды для продукции целлюлолитических ферментов.

Библиографический список

1. Advances in various pretreatment strategies of lignocellulosic substrates for the production of bioethanol: a comprehensive review / W. W. Kululo, N. G. Habtu, M. K. Abera, et al. DOI: 10.1007/s42452-025-06748-1 // Discover Applied Sciences. 2025. Vol. 7. Article No. 476.
2. Madhu S., Ramteke P. W. Cellulose as potential feedstock for cellulase enzyme production: versatility and properties of various cellulosic biomasses. DOI: 10.1007/978-3-030-14726-6_7 // Approaches to enhance industrial production of fungal cellulases. Fungal Biology / Eds. M. Srivastava, N. Srivastava, P. Ramteke, P. Mishra. Cham : Springer, 2019. P. 117–125.
3. Deepa D., Yogender P. K., Ramesh C. K. Optimization of cellulase production by a brown rot fungus *Fomitopsis* sp. RCK2010 under solid state fermentation / DOI: 10.1016/j.biortech.2011.03.032 // Bioresource Technology. 2011. Vol. 102. No. 10. P. 6065–6072.
4. Improved production of reducing sugars from rice straw using crude cellulase activated with Fe₃O₄/alginate nanocomposite / N. Srivastava, J. Singh, P. W. Ramteke, et al. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.02.059 // Bioresource Technology. 2015. Vol. 183. P. 262–266.
5. Щемелинина Т. Н., Анчугова Е. М. Комплексная биотехнология очистки нефтезагрязнённой почвы. DOI: 10.35885/1684-7318-2023-2-246-256 // Поволжский экологический журнал. 2023. № 2. С. 246–256.
6. Biorefinery potential of coffee silverskin: composition and applications / E. M. Anchugova, E. V. Udrovatina, E. G. Kazakova, et al. DOI: 10.57647/ijrowa-b5y0-qf23 // International journal of recycling of organic waste in agriculture. 2024. No. S03.
7. Полягалина Г. В., Чередниченко В. С., Римарева Л. В. Определение активности ферментов. Справочник. М. : ДeЛи принт, 2003. 375 с.
8. Enhanced lignin biodegradation by consortium of white rot fungi: microbial synergistic effects and product mapping / T. Cui, B. Yuan, H. Guo, et al. DOI: 10.1186/s13068-021-02011-y // Biotechnology for Biofuels. 2021. Vol. 14. Article No. 162.
9. Arantes V., Goodell B. Current understanding of brown-rot fungal biodegradation mechanisms: a review. DOI: 10.1021/bk-2014-1158.ch001 // Deterioration and protection of sustainable biomaterials. 2014. Vol. 1158. P. 3–21.
10. Evolutionary dynamics of host specialization in wood-decay fungi / F. S. Krah, C. Bässler, C. Heibl, et al. DOI: 10.1186/s12862-018-1229-7 // BMC Evolutionary Biology. 2018. Vol. 18. Article No. 119.

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РОССИИ

Я. П. Машеро

*Российский государственный университет правосудия
имени В. М. Лебедева, yana.mashero0908@yandex.ru*

В статье рассматриваются вопросы регулирования обращения с твердыми коммунальными отходами в контексте устойчивого развития окружающей среды Российской Федерации. На основе действующего законодательства, право-применительной практики, а также статистических показателей выявлен ряд проблемных аспектов, затрудняющих эффективное обращение с твердыми коммунальными отходами. Применение современных экологических новаций позволяет существенное сокращение объемов твердых коммунальных отходов для улучшения экологической обстановки в стране.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, охрана окружающей среды, участники экологических правоотношений, Национальный проект «Экологическое благополучие», устойчивое развитие природных объектов.

Создание прочной основы для эффективного обращения с твердыми коммунальными отходами является ключевым фактором для сохранения охраны окружающей среды, создания экологической безопасности и благополучия населения. Данная категория отходов представляет собой комплексную угрозу для городской среды и здоровья населения, выступая источником загрязнения и нарушения состояния природной среды.

В настоящее время, экологическая ситуация в Российской Федерации осложняется тем, что действия участников экологических правоотношений наносят значительный вред природной среде [1]. В частности, промышленные выбросы и токсичные вещества, попадая в атмосферу, оказывают негативное влияние на качество природных ресурсов, с которыми граждане ежедневно взаимодействуют. Текущая ситуация с обращением твердых коммунальных отходов в регионах нашей страны является причиной возникновения реальной угрозы для окружающей среды и здоровья населения. Несмотря на значительный объем производимых отходов, примерно 2,3 млрд т в год, переработка остаётся крайне неэффективной, лишь 19,1%.

Эффективная деятельность по обращению с отходами основана на соответствующей национальной законодательной базе. Указом Президента Российской Федерации № 309 от 07.05.2024 года утвержден национальный проект «Экономика замкнутого цикла», который призван трансформировать систему обращения с отходами [2]. Проект предполагает внедрение полной сортировки всего объема ежегодно образующихся твердых коммунальных отходов, существенное сокращение доли захораниваемых отходов (до 50%), а также к плани-

руемому 2036 г. полную утилизацию и обезвреживание отходов I и II классов опасности. В рамках реализации национального проекта «Экология» в 2019–2024 гг. 52,9% твердых коммунальных отходов отправлены на сортировку. Представленные показатели демонстрируют тенденцию к уменьшению воздействия на окружающую среду, что способствует ее большей устойчивости со стороны участников экологических правоотношений [3].

На основе реализуемой национальной программы по устранению последствий негативного воздействия и сохранению природной среды разрабатываются усовершенствованные меры правового регулирования, позволяющие снизить уровень деструктивного воздействия на природу и повысить эффективность сохранения и восстановления состояния окружающей среды.

Кроме того, от этого прямым образом зависит уровень ответственного поведения населения по отношению к природным богатствам России, а также эффективная реализация интересов на благоприятную окружающую среду. Следует отметить, что охрана окружающей среды – это не только прерогатива государства, гарантирующего экологические права, но и неотъемлемая обязанность каждого гражданина, проявляющего сознательность и ответственное отношение к природе [4].

На современном этапе порядок обработки твердых коммунальных отходов, заключения договора на оказание услуг по обращению с отходами регулируется Федеральным законом от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» и Постановлением Правительства РФ от 07.03.2025 № 293 «О порядке обращения с твердыми коммунальными отходами». При этом принято решение об утверждении перечня отходов от использования товаров и упаковки, а также вторичного сырья из них, которые позволяют выполнить требование по самостоятельной утилизации. Однако уровень скопления твердых коммунальных отходов в регионах России продолжает оставаться высоким [5].

В текущий период утилизация и обезвреживание указанных объектов порождает существенные экологические, технические и экономические трудности для системы городского коммунального хозяйства. В России утилизация твердых коммунальных отходов осуществляется различными способами в виде сортировки, захоронения, сжигания, переработки и компостирования. Однако основной объём отходов (более 90%) по-прежнему отправляют на полигоны для захоронения. Ситуация усугубляется тем, что большинство российских полигонов не соответствуют современным экологическим стандартам, а более половины из них переполнены. Экологически чистые полигоны для захоронения твердых коммунальных отходов представляют собой дорогостоящие и технически обеспеченные природоохранные сооружения. Их строительство требует изъятия обширных земельных участков хозяйственного пользования. В настоящее время, в России более 14700 тыс. официально утвержденных мест для размещения отходов занимают около 4 млн га, и эта площадь продолжает увеличиваться на 2,5–4% ежегодно, отражая тем самым рост объемов образующихся отходов.

Следует напомнить, что в городах, в большинстве случаев, ввиду отсутствия должного оборудования мусорных контейнеров для утилизации твердых коммунальных отходов в регионах Российской Федерации и их дальнейшей ликвидации, население вынуждено складировать данный вид отходов в непосредственной близости. Это приводит к тому, что в центральных районах города нередко скапливаются большие по объему предметы, включая мебель, бытовую технику, а также отходы от текущего ремонта [6]. В правоприменительной практике по данной категории споров основным вопросом является формирование мест для временного хранения твердых бытовых отходов. Полномочия по созданию объектов накопления отходов относятся к компетенции органов местного самоуправления. Как указано в Обзоре судебной практики, собственники помещений многоквартирного дома вправе принимать решение об обустройстве контейнерной площадки на земельном участке, являющемся общим имуществом многоквартирного дома в соответствии с действующим санитарно-эпидемиологическими требованиями. Муниципальное образование гарантирует жителям своевременное и комплексное обеспечение необходимых условий для комфортного проживания. Однако управление отходами является общей задачей, требующей участия не только органов местного самоуправления, но и производителей и потребителей продукции и вещей, относящихся к категории твердых коммунальных отходов.

Представители научного сообщества высказывают свою точку зрения относительного того, что установленные национальные цели в области осуществления эффективной деятельности по ликвидации твердых коммунальных отходов остаются не достигнутыми в связи с отсутствием современных механизмов решения существующих проблемных аспектов [7].

В целях повышения эффективности утилизации и хранения твердых коммунальных отходов с 1 сентября 2025 г. вступают в силу обновленные нормативные требования. Для тех объектов, которые будут введены в эксплуатацию после указанной даты, предусмотрено увеличение доли извлекаемых вторичных ресурсов.

На основе вышеизложенного, реализация положений действующего законодательства, а также поэтапная разработка и применение современных технологий по обработке и ликвидации твердых коммунальных отходов с учетом правовых, технических и экологических особенностей позволит наиболее эффективно реализовать существующую экологическую проблему обращения с отходами.

Библиографический список

1. Морозов А. А. Инновационные меры охраны окружающей среды // Актуальные направления развития отраслей права в условиях новой реальности : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. М. : Московский университет имени С. Ю. Витте, 2025. С. 98–102.
2. Национальный проект «Экологическое благополучие» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mnr.gov.ru/activity/environmental_well-being/?ysclid=mhkyxzdtox189769506 (дата обращения: 04.11.2025).

3. Морозов А. А. Теория и практика толкования понятия и содержания юридической ответственности за экологические правонарушения // Образование и право. 2025. № 3. С. 197–201.
4. Морозов А. А. Теория и практика реализации прав собственников в многоквартирном доме на проведение перепланировки и переустройства жилого помещения // Теория и практика применения и толкования в частном праве : сб. науч. статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : ООО Центр научно-информационных технологий «Астерион», 2025. С. 15–18.
5. Машеро Я. П., Морозов А. А. Особенности проведения производственного контроля в сфере обращения с отходами // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 196–199.
6. Машеро Я. П., Морозов А. А. Экологическая функция российского государства в контексте устойчивого развития окружающей среды // Экологические чтения – 2025 : материалы XVI Национальной науч.-практ. конф. (с междунар. участием). Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2025. С. 797–801.
7. Майорова Е. И., Олимпиев А. Ю. Правовые требования к решению проблемы отходов в Российской Федерации // Вестник экономической безопасности. 2020. № 1. С. 45–58.

ВЛИЯНИЕ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

**C. В. Миронова¹, П. Н. Тарасова¹, С. Б. Ярусова², П. С. Гордиенко²,
С. Н. Данилова¹, Ю. В. Капитонова¹, Н. Н. Лазарева¹**

¹ Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,

pn.tarasova@mail.ru,

² Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук,

yarusova_10@mail.ru

В статье представлены результаты исследования влияния отходов бурения нефтегазовых скважин (далее – буровых отходов) – побочного продукта нефтедобычи – на физико-механические и трибологические характеристики политетрафторэтилена (ПТФЭ). Добавление буровых отходов в ПТФЭ повышает его износостойкость в 200 раз и увеличивает коэффициент трения на 35%. Наряду с этим наблюдается снижение прочности при растяжении на 35% и относительного удлинения при разрыве на 65%. При этом прочность на сжатие остается неизменной, а модуль упругости возрастает на 55%.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, полимерные композиционные материалы, буровые отходы, отход производства нефтедобычи.

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) занимает ключевое место среди высокоэффективных полимеров, используемых для создания антифрикционных материалов, благодаря уникальному сочетанию свойств: высокой химической стойкости, низкому коэффициенту трения, а также термостойкости и морозостойкости. Вместе с тем, ПТФЭ обладает высокой степенью изнашиваемости, что

обуславливает необходимость разработки полимерных композиционных материалов (ПКМ) на его основе с применением наполнителей, способных улучшить эксплуатационные характеристики. Создание таких композитов считается перспективным направлением в полимерном материаловедении, направленным на расширение сфер применения ПТФЭ и повышение долговечности и функциональности конечных изделий [1].

В настоящее время в полимерном материаловедении активно развивается направление, связанное с использованием промышленных отходов в качестве наполнителей для создания композиционных материалов. Данное направление исследования обусловлено одновременно экологическими и экономическими факторами [2]. Отходы бурения нефтегазовых скважин – это значительные по объему промышленные отходы нефтедобычи, требующие эффективных и безопасных методов утилизации. Внедрение таких отходов в состав полимерных материалов может способствовать снижению негативного воздействия на окружающую среду за счет переработки и повторного использования отходов. Перспективы данного научного направления связаны не только с решением задач ресурсосбережения, но и с разработкой новых композитных материалов, обладающих улучшенными функциональными характеристиками.

В качестве объекта исследования были выбраны композиционные материалы на основе политетрафторэтилена марки ПН-90 (АО «ГалоПолимер», Россия) и буровых отходов Каменного нефтяного месторождения, расположенных на территории Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области с содержанием элементов в исходном образце (масс. %): Si – 61,5; Fe – 6,8; Al – 20,1; Ca – 1,7; K – 3,8; Mg – 2,5; Na – 1,4; Ti – 1,1; S – 0,5. Ранее [3] было установлено, что разложение органической компоненты отходов – нефтепродуктов – происходит до 550–600 °C, поэтому для дальнейшего исследования использовали образцы после обжига при 700 и 800 °C (далее – образцы Н700 и Н800, соответственно).

Полимерные композиции были получены методом сухого смешения компонентов в лопастном смесителе с последующими стадиями холодного прессования и спекания при 375 °C. Концентрация наполнителей варьировалась в диапазоне от 0,5 до 5 масс. %. Физико-механические свойства композитов определяли на универсальной машине испытания «Shimadzu AGS-J» (Япония) в соответствии со стандартом ГОСТ 11262-80, при скорости движения траверса 50 мм/мин. Испытания на сжатие проводили согласно ГОСТ 4651-2014. Трибологические испытания выполнялись на тестере «CETR UMT-3» (США) по схеме трения «палец-диск». Для оценки протекания трибоокислительных процессов при трении использовали ИК-Фурье спектрометр «FT-IR 7000 Varian» (США).

Результаты исследований влияния буровых отходов на физико-механические свойства ПТФЭ и композитов представлены на рисунке 1.

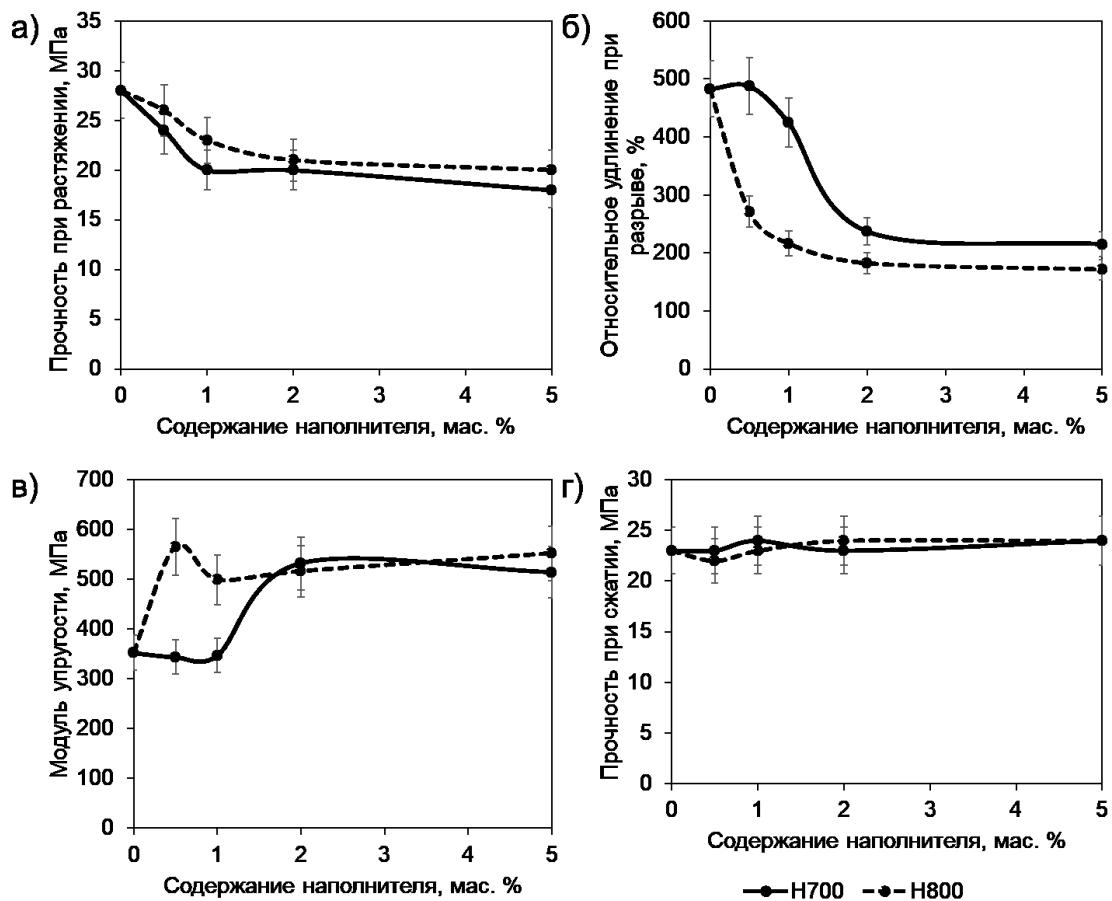


Рис. 1. Физико-механические свойства полимерных композитных материалов H700 и H800 (см. в тексте): а) прочность при растяжении, МПа; б) относительное удлинение при разрыве, %; в) модуль упругости, МПа; г) прочность при сжатии, МПа

Введение термообработанного при 700 и 800 °С нефтешлама приводит к изменениям физико-механических характеристик ПТФЭ. Наблюдается снижение прочности при растяжении на 35%. Наибольшее снижение прослеживается для составов с образцом отходов после обжига при 700 °С. Относительное удлинение при разрыве значительно снижается для составов с образцом H800 на 65% и для составов с образцом H700 при большем проценте содержания – на 55%. При этом демонстрируется повышение модуля упругости во всех композициях. Наибольшее повышение наблюдается на 55% у композита с содержанием 5 масс.% образца H800. Такое изменение свойств вызвано охрупчиванием материала, вызванным «замораживанием» молекулярной подвижности цепей у поверхности наполнителя. Прочность при сжатии практически не изменяется во всех композитах.

Результаты исследования трибологических свойств ПКМ представлены на рисунке 2.

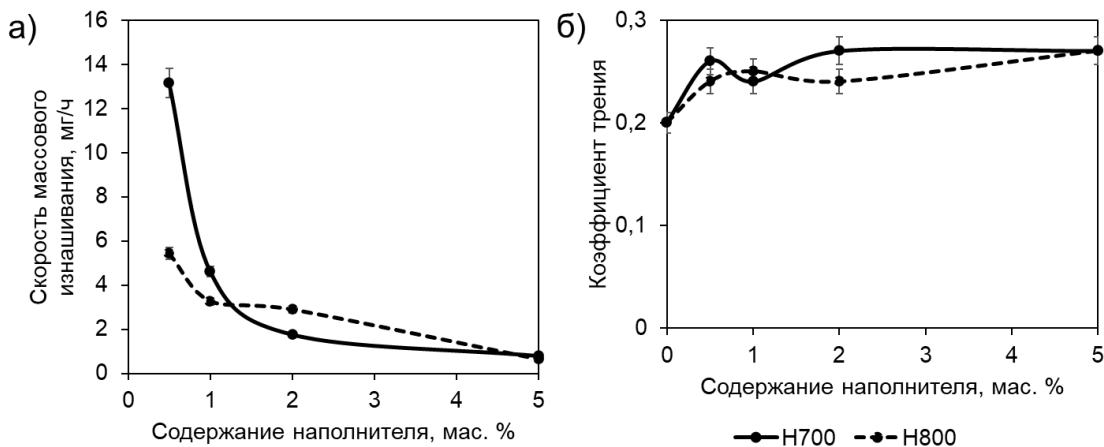


Рис. 2. Трибологические свойства полимерных композитных материалов H700 и H800 (см. в тексте): а) скорость массового изнашивания, мг/ч; б) коэффициент трения, ед.

Наполнение ПТФЭ отходами нефтедобычи приводит к значительным изменениям трибологических свойств. Наблюдается повышение износостойкости в 165 раз при введении образца H700, а при наполнении образцом H800 – в 200 раз относительно ненаполненного ПТФЭ (125 мг/ч). При этом во всех композитах наблюдается повышение значений коэффициента трения. Наибольшие значения демонстрируют композиции с 5 масс.% наполнения. Известно, что изменение трибологических свойств обусловлено протеканием процессов трибоокисления и формированием на поверхности трения полимерных композиционных материалов вторичной защитной структуры [3, 4].

На рисунке 3 представлены инфракрасные спектры композитных материалов до и после процесса трения. Во всех образцах обнаружены полосы поглощения, соответствующие валентным, веерным и деформационным колебаниям CF₂-группы. Сопоставление спектров до и после трения выявило протекание трибоокислительных процессов на поверхности трения с участием атмосферного кислорода. Были идентифицированы продукты трибоокисления, связанные с гидроксильными и карбоксилатными функциональными группами [5].

Таким образом, результаты исследований физико-механических и трибологических свойств композитов с включением отходов нефтедобычи подтверждают перспективность использования буровых отходов в качестве наполнителя для ПТФЭ. С помощью ИК-спектроскопии установлено участие наполнителей в процессах трибоокисления и формировании вторичного слоя на поверхности трения, который препятствует дальнейшему износу материала и способствует повышению его износостойкости.

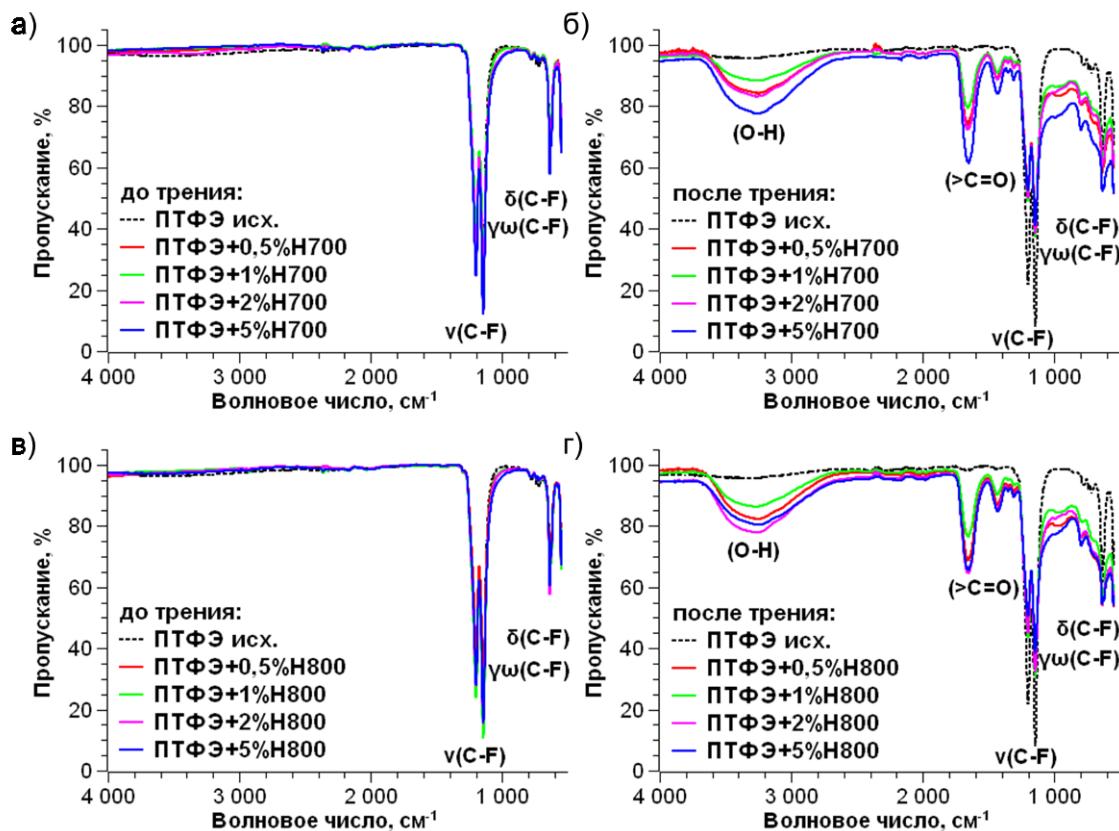


Рис. 3. ИК-спектры до (а, в) и после (б, г) трения полимерных композитных материалов Н700 и Н800, содержащих термообработанные буровые отходы: при 700 °C (а, б) и при 800 °C (в, г)

Библиографический список

1. Машков Ю. К. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. М. : Машиностроение, 2005. 239 с.
2. Савриев Ш. М., Шомуродов А. Ю. Использование отходов производства для получения полимерных композиционных материалов // Наука и образование сегодня. 2016. Т. 5. № 4. С. 23–24.
3. Использование отходов бурения нефтегазовых скважин в мелкозернистом бетоне / С. Б. Ярусова, А. В. Сковпень, Н. В. Иваненко и др. // Экологическая химия. 2023. Т. 4. № 32. С. 211–217.
4. Трибохимические реакции, протекающие на поверхности трения композитов на основе ПТФЭ, наполненного слоистыми силикатами / Ю. В. Капитонова, П. Н. Тарасова, А. А. Охлопкова, Н. Н. Лазарева // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. Т. 54. № 2. С. 98–106.
5. Исследование влияния механоактивации на свойства и структуру полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена и вермикулита / Н. Н. Лазарева, С. А. Слепцова, А. А. Охлопкова, Ю. В. Капитонова // Полимерные материалы и технологии. 2018. Т. 4. № 2. С. 32.
6. Спектроскопические исследования трибоокислительных процессов модифицированного ПТФЭ / С. А. Слепцова, А. А. Охлопкова, Ю. В. Капитонова и др. // Трение и износ. 2016. Т. 37. № 2. С. 168–176.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ОТХОДАМИ СОГЛАСНО ИХ КЛАССИФИКАЦИИ. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ АСПЕКТ

Т. А. Мусихина, Е. С. Грибанова

Вятский государственный университет, usr04011@vyatsu.ru

Анализ нормативно-правового обеспечения и правоприменительной практики в сфере обращения с отходами показал, что наряду с основной законодательно закрепленной в Законе «Об отходах производства и потребления» классификацией по уровню негативного воздействия отходов на окружающую среду, необходимо учитывать также нормы в отношении классификации некоторых видов отходов, которые содержатся в федеральных законах, регулирующих другие сферы деятельности, что обуславливает необходимость комплексного междисциплинарного подхода к управлению потоками отходов.

Ключевые слова: отходы, классы опасности, обращение с отходами, экологическая политика, управление потоками отходов.

В основу государственного управления отходами во многом положена их классификация, которая представлена в Федеральном законе «Об отходах производства и потребления» [1], то есть деление отходов на I–V классы опасности в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду. В Российской Федерации в развитие вышеупомянутого закона разработаны нормативно-правовые и нормативно-методические документы в области паспортизации и классификации отходов. Такие, например, как ГОСТ Р 53691-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I–IV класса опасности. Основные требования», приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31.03.2025 N 158 «Об утверждении критерии отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» [2, 3].

Рациональное управление обращения с отходами согласно Конституции Российской Федерации находится в совместном ведении Российской Федерации и субъектов Российской Федерации, поэтому Законом «Об отходах производства и потребления» установлены полномочия по уровням государственной власти, а также органам местного самоуправления.

На основе анализа законодательно закрепленных норм по разделению полномочий в сфере обращения с отходами отображена система управления отходами в зависимости от класса опасности отхода, которая представлена в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что управление промышленными отходами I и II и V классов опасности осуществляется структурами, контролируемыми государственными органами федерального и регионального уровня, а обращением промышленных отходов III и IV классов опасности занимаются сами субъекты экономики, где эти отходы образуются, либо перерабатываются.

Таблица 1

**Уровни управления отходами относительно классификации отходов
по степени их опасности**

Класс опасности / уровень управления	Субъекты управления	Примечание
I-II / федеральный уровень	ФГУП «Федеральный экологический оператор» (ФГУП «ФЭО»)	ФЭО определяется Правительством Российской Федерации по предложению Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», согласованному с уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти.
III-IV / (промышленные отходы – самостоятельное обращение отходообразователей)	Субъекты экономики (отходообразователи, транспортные компании и предприятия по переработке отходов)	Субъекты экономики (отходообразователи, транспортировщики и переработчики отходов) самостоятельно занимаются вопросами утилизации промышленных отходов.
V / региональный уровень	ППК РЭО – российский экологический оператор РО – Региональный оператор	ППК РЭО создан Постановлением Правительства РФ «О публично-правовой компании по формированию комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами «Российский экологический оператор». РО осуществляет полный комплекс услуг по обращению с твердыми коммунальными отходами на территории субъекта федерации, выбирается в ходе регионального конкурсного отбора.

Анализ правоприменительной практики показал, что в управлении опасными отходами (ртутьсодержащие, аккумуляторные батареи, химические источники тока и т. д.), образующимися у населения, субъектов социальной инфраструктуры и малого бизнеса должны также участвовать региональные органы власти и органы местного самоуправления. Особенno это касается вопросов организации и обеспечения сбора и накопления таких отходов, которые, как показывает практика, не в полной мере пока решены.

Так, например, согласно 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [4] и постановлению Правительства Российской Федерации от 28.12.2020 № 2314 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде» [5], уточнены конкретные виды отходов, это отработанные ртутьсодержащие лампы – ртутьсодержащие отходы, представляющие собой отходы от использования товаров с ртутным заполнением и содержанием ртути не менее

0,01%, утративших свои потребительские свойства (люминесцентные лампы с холодным катодом, люминесцентные лампы с внешним электродом, лампы люминесцентные малогабаритные, лампы люминесцентные трубчатые, лампы общего освещения ртутные высокого давления паросветные). Согласно пункту 4 указанных выше Правил места накопления отработанных ртутьсодержащих ламп, образующихся у потребителей – собственников и нанимателей помещений в многоквартирных домах, организуются лицами, осуществляющими управление многоквартирными домами на основании заключенного договора управления многоквартирным домом. В соответствии с пунктом 26(2) Минимального перечня услуг и работ, необходимых для обеспечения надлежащего содержания общего имущества в многоквартирном доме, утвержденного постановлением Правительства РФ от 03.04.2013 № 290, организация накопления отходов I–IV классов опасности (в том числе отработанных ртутьсодержащих ламп) и их передача в организации, имеющие лицензии на осуществление деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению таких отходов входит в минимальный перечень работ по содержанию общего имущества [6].

Требует также особого подхода вопросы обращения с медицинскими отходами класса А, которые, с одной стороны, приближены по составу к твердым коммунальным отходам (ТКО), а с другой их обращение невозможно по существующим правилам путем заключения договора с региональным оператором по обращению с отходами. Однако, учитывая, что иного порядка по обращению с такими медицинскими отходами не установлено, действие закона № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» возможно распространить на медицинские отходы класса А, поэтому собственник отходов класса А, образующихся в процессе его деятельности, в силу п. 4 ст. 24.7 Закона «Об отходах производства и потребления» вправе заключить с региональным оператором договор на оказание услуг по обращению с ТКО.

Таким образом, относительно классификации отходов в управленческом контексте их обращения необходимо в комплексе рассмотреть нормы 3-х законов [1, 4, 7]:

Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»;

Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;

Федеральный закон № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Основные нормы этих законодательных актов относительно классификации отходов и управления представлены в таблице 2.

Таким образом, классификация отходов как основной фактор управления потоками отходов должна рассматриваться не только с позиций опасности для окружающей среды, но учитывать также источники образования отходов, соответствующие функции и полномочия органов власти и местного самоуправления.

Таблица 2

**Основные нормы приоритетных законодательных актов
в части классификации отходов и другие нормативные документы,
принятые в их развитие**

Федеральные Законы (ФЗ)	Основные нормы ФЗ	Основные акты
1	2	3
№ 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»	<p>Распределены полномочия в сфере управления отходами между федеральными, региональными и муниципальными уровнями.</p> <p>Предусмотрено деление отходов на I–V классы опасности в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду по критериям, которые устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственное регулирование в области охраны окружающей среды.</p>	<p>ГОСТ Р 53691-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I–IV класса опасности. Основные требования»;</p> <p>Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31.03.2025 N 158 «Об утверждении критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду»;</p> <p>Приказ Росприроднадзора от 8.12.2020 N 1026 «Об утверждении порядка паспортизации и типовых форм паспортов отходов I–IV классов опасности»</p> <p>Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 «Федеральный классификационный каталог отходов».</p>
№ 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»	Статья 22 «Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с отходами производства и потребления, медицинскими отходами» и статья 22.1 «Особенности обращения с медицинскими отходами» предусматривают деление медицинских отходов на классы А, Б, В, Г, Д. При этом отходы класса «А» предусматривается передавать региональным операторам по обращению с твердыми коммунальными отходами, которые обеспечивают обращение с ними в соответствии с Федеральным законом «Об отходах производства и потребления» в отношении твердых коммунальных отходов.	Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 16.06.2003 N 144 (ред. от 31.03.2011) «О введении в действие СП 2.1.7.1386-03» (вместе с «СП 2.1.7.1386-03. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления. Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления. Санитарные правила»).

Окончание таблицы 2

1	2	3
№ 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»	Статья 10 «Обеспечение энергетической эффективности при обороте товаров» предусматривает разработку правил обращения с отходами производства и потребления в части конкретных видов отходов – осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортировка или размещение которых может повлечь за собой причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям, окружающей среде.	Постановление Правительства РФ от 28.12.2020 № 2314 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде».

Библиографический список

1. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
2. ГОСТ Р 53691-2009 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Паспорт отхода I–IV класса опасности. Основные требования Действ. от 01.01.2011 М., 2011 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_135498 (дата обращения: 07.11.2025).
3. Приказ Минприроды РФ от 31.03.2025 N 158 «Об утверждении критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_504642/2ff7a8c72de3994f30496a0ccb1ddafaddf518/ (дата обращения: 07.11.2025).
4. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
5. Постановление Правительства РФ от 28.12.2020 № 2314 «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде» Срок действия до 01.01.2027. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373084/ (дата обращения: 07.11.2025).
6. Постановление Правительства РФ от 03.04.2013 N 290 (ред. от 07.03.2025) «О минимальном перечне услуг и работ, необходимых для обеспечения надлежащего содержания общего имущества в многоквартирном доме, и порядке их оказания и выполнения». С изменениями и дополнениями от: 9 июля 2016 г., 27 февраля 2017 г., 27 марта, 15 декабря 2018 г., 29 июня 2020 г., 29 мая 2023 г., 7 марта 2025 г. Срок действия до 01.09.2028. Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».
7. Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Доступ из норматив.-техн. системы «Техэксперт».

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ

Е. Л. Никитина, Т. А. Крыга, С. Ф. Куликов

Ярославский государственный технический университет,
nikitinael@ystu.ru, krigata@ystu.ru, sam.kulik.2013@gmail.com

В статье рассмотрена проблема утилизации избыточного активного ила, образующегося в процессе биологической очистки сточных вод на нефтеперерабатывающих предприятиях. Нефесодержащие отходы представляют значительную опасность для природной среды в городах и пригородах, являясь потенциальным источником загрязнения почв, грунтов, грунтовых и поверхностных вод. В работе проанализированы существующие способы утилизации активного ила.

Ключевые слова: активный ил, тяжелые металлы, экологическая безопасность, субстрат.

Нефесодержащие отходы, образующиеся в процессе хозяйственной деятельности человека, представляют собой одну из наиболее значительных и трудноразрешимых угроз для устойчивого развития урбанизированных территорий. Их потенциальная опасность носит комплексный и долговременный характер, проявляясь в виде устойчивого загрязнения почвенных массивов, грунтов, а также ключевых гидрологических объектов – грунтовых и поверхностных вод. Попадая в экосистемы, токсичные компоненты этих отходов включаются в пищевые цепи, что приводит к деградации растительного покрова, угнетению почвенной микрофлоры и фауны и, в конечном счете, – к необратимым изменениям в локальных экосистемах. Особую тревогу вызывает способность углеводородов аккумулироваться в окружающей среде, создавая долгосрочные «экологические мины замедленного действия». Проблема усугубляется в условиях городов с исключительно высокой плотностью населения, где антропогенная нагрузка на окружающую среду достигает критических значений, и имеет тенденцию к резкому и зачастую неконтролируемому ухудшению. При этом парадоксальным, но доказанным фактом является то, что на современном этапе главнейшей проблемой зачастую выступает не прямая промышленная деятельность предприятий как таковая, которая в значительной степени регламентирована и контролируется, а побочные продукты производства – отходы, получаемые в результате переработки и использования химических веществ. Именно эти накопленные отходы формируют кумулятивный эффект хронического отравления окружающей среды.

Среди основных источников образования таких высокоопасных отходов лидирующую позицию занимают нефтеперерабатывающие предприятия. Согласно данным отраслевой отчетности Минэнерго России на конец 2020 г., на территории России переработку нефтяного сырья и производство нефтепродуктов осуществляли 74 нефтеперерабатывающих предприятия (НПЗ и ГПЗ) с

мощностью первичной переработки 332,2 млн т нефти в год [1]. Эти технологические комплексы являются источником образования многотоннажных нефте-содержащих отходов, объемы которых исчисляются тысячами и миллионами тонн. К ним относятся шламы, избыточные активные илы очистных сооружений, отработанные глины и катализаторы. Традиционной и до сих пор широко распространенной практикой утилизации является их складирование в специальных инженерных сооружениях – шламонакопителях и иловых картах. Однако такое «решение» проблемы оказывает продолжительное и масштабное негативное воздействие на все компоненты окружающей среды. Шламонакопители, часто не имеющие надежной противофильтрационной защиты, становятся постоянными источниками эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух за счет испарения легких фракций, а также в грунтовые воды посредством инфильтрации фильтрата, содержащего тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды, хлориды и сульфаты. Таким образом, проблема из локальной точки загрязнения трансформируется в региональную экологическую угрозу, требуя безотлагательного поиска и внедрения научно обоснованных, технологичных и экономически целесообразных методов переработки и обезвреживания.

На сегодняшний день, благодаря высокой эффективности, на нефтеперерабатывающих предприятиях используется биотехнологический метод очистки сточных вод, предусматривающий переработку токсических веществ с помощью активного ила, представленного в виде биоценоза микроорганизмов, грибов и водорослей, использующих загрязнители стоков в качестве элементов питания [2]. Данный осадок характеризуется сравнительно пониженной концентрацией нефтепродуктов, что обусловлено его происхождением как продукта биологической деградации углеводородов. Одновременно с этим он имеет чрезвычайно высокую степень влажности, обусловленную наличием прочных водных связей, что создает существенные технологические трудности на этапах обезвоживания. Важнейшим фактором экологической опасности является способность ила аккумулировать в своей матрице широкий спектр тяжелых металлов, которые сорбируются на поверхности микробных клеток в составе внеклеточных полимерных веществ, формируя устойчивые трудноразделимые комплексы.

Объектом исследования в данной работе является избыточный ил, прошедший стадию механического обезвоживания на центрифуге. Активный ил – сложный органоминеральный комплекс, органическая часть которого (58–60% в пересчете на сухое вещество) представляет собой биомассу, адсорбированные и частично окисленные загрязняющие вещества сточных вод, а также азот- и фосфорсодержащие компоненты наряду с остаточными нефтепродуктами. Современная практика обращения с данным материалом предусматривает его складирование на специализированных иловых картах и в илонакопителях после процедуры механического обезвоживания. Однако такой метод утилизации не отвечает современным экологическим и техническим требованиям. Он влечет за собой длительное и чаще всего безвозвратное изъятие из хозяйственного оборота значительных земельных площадей, одновременно создавая экологи-

ческие риски загрязнения окружающей природной среды в зоне размещения отходов. Указанные обстоятельства актуализируют необходимость разработки и внедрения альтернативных методов утилизации осадков сточных вод.

В настоящее время практикуется несколько принципиальных подходов к утилизации активного ила, каждый из которых обладает существенными технологическими, экономическими и экологическими ограничениями [3]. Традиционным методом является захоронение на специализированных полигонах. Основной недостаток данного способа заключается в постоянном и безвозвратном изъятии значительных земельных территорий, которые выводятся из хозяйственного оборота на десятилетия. Более того, этот метод не решает экологическую проблему, а лишь консервирует ее, создавая долгосрочные риски миграции токсичных компонентов в почвенные горизонты и грунтовые воды. Перспективным направлением считается использование органического отхода в различных отраслях промышленности, например, в качестве добавки при производстве строительных материалов. Однако ключевым препятствием для широкого внедрения этого подхода выступает нестабильный и сложный химический состав осадка. Наличие тяжелых металлов, хлоридов и сульфатов приводит к ухудшению качества конечной продукции, например, к снижению прочностных характеристик строительных компонентов. Высокие затраты на предварительную подготовку, сушку и транспортировку делают данный метод экономически нецелесообразным. Использование активного ила в качестве органоминерального удобрения в сельском и лесном хозяйстве ограничено строгими санитарно-гигиеническими и агрохимическими нормативами. Несмотря на наличие в его составе азота, фосфора и органического вещества, присутствие канцерогенных полициклических ароматических углеводородов, солей тяжелых металлов и патогенной микрофлоры делает его применение на сельскохозяйственных землях крайне опасным. Данные загрязнители обладают кумулятивным эффектом, накапливаются в почве и поступают в продовольственное сырье, что создает прямую угрозу для здоровья населения и состояния экосистем. Термический метод, а именно сжигание, позволяет радикально уменьшить объем отходов и одновременно получить тепловую энергию. Тем не менее, этот процесс связан со значительными капитальными и эксплуатационными затратами на сооружение специализированных печей, оснащенных системами газоочистки. При сгорании сложной органоминеральной матрицы ила в атмосферу могут выделяться высокотоксичные соединения, такие как диоксины, фураны и летучие соединения тяжелых металлов. Это требует применения многоступенчатых систем очистки дымовых газов, что делает технологию энергоемкой и экономически оправданной только для крупных предприятий. Кроме того, проблема утилизации образующейся золы, концентрирующей в себе все токсичные вещества, остается нерешенной. Сложность утилизации и переработки избыточных илов состоит в содержании в них тяжелых металлов, а также малой скорости выделения воды из осадков при их высокой влажности.

Существуют технологии [4], снижающие токсическое действие тяжелых металлов, заключающиеся в смешивании ила с малорастворимыми солями кальция с последующим разделением образовавшейся смеси на твердую и жид-

кую фазы методами седиментации или центрифугирования. Ионы тяжелых металлов, перешедшие в водную фазу, извлекаются с применением методов реагентного осаждения, ионообменной или адсорбционной очистки. К числу недостатков данной методики относится необходимость использования значительного количества кальциевого реагента по отношению к массе ила, а также низкая эффективность обезвоживания обработанной твердой фазы при отстаивании.

В рамках проведенного нами исследования был предложен и экспериментально апробирован способ обработки избыточного активного ила, основанный на использовании природных компонентов на основе кремния. Установлено, что значительное снижение концентрации тяжелых металлов при высоких агрехимических показателях позволяет использовать субстрат в качестве рекультиванта.

Проведенный анализ существующих технологий переработки отходов позволяет констатировать отсутствие на сегодняшний день комплексного и экологически безопасного решения проблемы утилизации активного ила, образующегося в процессе очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий. Сложившаяся ситуация приобретает особую остроту в контексте непрерывного ужесточения экологического законодательства и нормативных требований к обращению с промышленными отходами. Дополнительным фактором, усугубляющим проблему, является прогрессирующее накопление значительных объемов избыточного активного ила на производственных площадках. Накопительный характер проблемы в сочетании с отсутствием эффективных технологий переработки обуславливает настоятельную необходимость активизации научных исследований и разработки инновационных методов утилизации данных отходов, что составляет одну из наиболее значимых задач в области обеспечения экологической безопасности нефтеперерабатывающей отрасли.

Библиографический список

1. Нефтеперерабатывающая промышленность России [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтеперерабатывающая_промышленность_России (дата обращения: 01.11.2025).
2. Абдрахманова А. С., Самарская Ю. В., Чеснокова М. Г. Анализ биологических факторов, способствующих вспуханию активного ила очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. (г. Омск, 26–29 февраля 2020 г.). Омск : Омский государственный технический университет, 2020. С. 270–271.
3. Сыров Г. В., Вдовина С. В. Методы переработки и утилизации нефтешламов // Научные исследования XXI века: теория и практика : материалы Междунар. (заочной) науч.-практ. конф. (Прага, Чехия, 16 июня 2020 г.) / под общ. ред. А. И. Вострецова. Прага, Чехия : Научно-издательский центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич), 2020. С. 493–500.
4. Пат. 2 133 231. РФ. МПК 7 C 02 F 11/14. Способ переработки избыточного активного ила, содержащего тяжелые металлы : № 98103036/25 : заявл. 02.02.1998 : опубл. 20.07.1999 / Панов В. П., Зыкова И. В., Петухова Е. А. 6 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНОГО БЕНТОНИТА КАРАСУКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВОДООЧИСТКИ

Н. Проказов, О. В. Атаманова, Е. И. Тихомирова

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю. А.,

prokazov.n.d@mail.ru, o_v_atamanova@mail.ru, tichomirova_ei@mail.ru

В статье представлены результаты исследований по химическому и гранулометрическому составу бентонита Карасукского месторождения (Республика Хакасия, Россия). Данный минерал является типичной глинистой породой. Развитая морфология поверхности гранул, а также проведенные лабораторные опыты показали соответствие данного материала требованиям ГОСТ Р 51641-2000, что позволяет использовать его в качестве фильтрующего зернистого материала.

Ключевые слова: бентонит, монтмориллонит, физико-химические свойства, сорбенты.

Повсеместное распространение в природе глин, а также разнообразные их виды и способы применения в хозяйстве и промышленности вызывают неподдельный интерес к ним со стороны ученых и производственников [1].

В связи с этим, целью работы являлся анализ химических и отдельных физических свойств природного (не модифицированного) бентонита Карасукского месторождения (Республика Хакасия, Россия).

Для оценки физико-химических свойств бентонита были реализованы следующие лабораторные исследования: неразрушающая энергодисперсионная рентгенофлуоресценция (измерение массовой доли химических элементов в исследуемых образцах), лазерная гранулометрия (определение размеров частиц исходного глиняного порошка), химический анализ кислотной, щелочной и нейтральной вытяжек (оценка химической стойкости образцов), статистическая обработка (ГОСТ Р 8.736-2011) и т. д.

Структура и особенности морфологии поверхности гранул сорбентов определялась при помощи растровой электронной микроскопии (РЭМ).

К глинам относятся мелкозернистые осадочные горные породы, как правило, сложного и непостоянного состава, состоящие в основном из глинистых минералов и мелких частиц кварца, полевого шпата, слюды. Чаще всего основным компонентом бентонита (60–70%) является монтмориллонит, имеющий формулу $Si_8Al_4O_{20}(OH)_4 \times nH_2O$, при этом соотношение $Al_2O_3:SiO_2$ колеблется в пределах 1:2 – 1:4. Приведенная химическая формула непостоянна, и состав природных монтмориллонитов всегда отличается. Причиной этому служат изоморфные замещения кремния на алюминий, кальций, натрий и алюминия на железо, цинк, магний, литий и др. [2].

В таблице 1 представлен полученный в результате исследований химический состав бентонита Карасукского месторождения.

Одним из основных факторов, влияющих на адсорбционную способность веществ, является структура пор, на которую влияет размер частиц. Экспериментально была доказана зависимость структуры пор и адсорбционной способности от размера частиц [3]. Результаты показывают, что удельная площадь поверхности и объём значительно увеличиваются по мере уменьшения размера частиц, в то время как тенденция изменения этих показателей для частиц крупного размера незначительна [4].

Таблица 1

Химический состав исходного бентонита, %

Элемент	Si	Fe	Ca	K	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Содержание	81,9	7,6	4,1	5,2	1,0	0,006	0,05	0,0007	0,002	0,006	0,008	0,002

Определение размеров частиц исходного глиняного порошка проводили с помощью лазерного анализатора размера частиц Analysette 22 с диапазоном измерения от 0,1 до 2100 мкм. В таблице 2 представлены результаты определения размеров частиц исходного глиняного порошка Карасукского месторождения.

Таблица 2

Интегральное распределение и размеры частиц исходного бентонита

Интегральное распределение, %	Размеры частиц, мкм
10	0,91±0,05
50	2,50±0,30
90	6,62±0,45

Далее проводились исследования структуры и выявлялись особенности морфологии поверхности гранулированного бентонитового сорбента. С помощью РЭМ были получены изображения с увеличением в 2500 раз (рис. 1) [5].

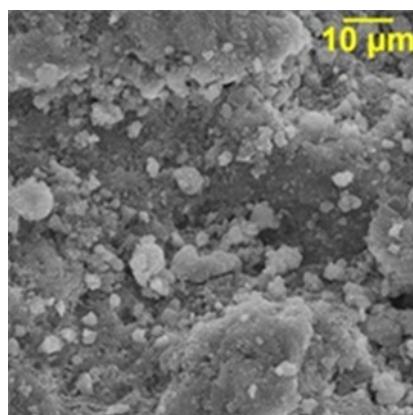


Рис. 1. Поверхность гранулированного бентонита, немодифицированного, обожжённого при 550 °C

Поверхность гранул сорбента имеет достаточно развитую шероховатую структуру. Имеются как трещины, так и относительно ровные участки.

На рисунке 1 можно видеть ярко выраженные шероховатости, составленные частицами круглой и зернистых форм, а также углубления и полости.

Определение химической и механической прочности сорбента выполняли в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 51641-2000 «Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия».

Химическая стойкость сорбента устанавливалась путём химического анализа кислотной, щелочной и нейтральной вытяжек, которые выдерживались в растворах HCl , NaOH , NaCl и дистиллированной воде на протяжении суток в статических условиях. В полученных растворах определяли перманганатную окисляемость, количество кремниевой кислоты, сухого остатка, железа и алюминия суммарно. Контроль составляла вытяжка с дистиллированной водой. Прирост показателей вычисляли как разность между показателями, определёнными в растворе и контрольной вытяжке [6].

В таблице 3 представлены результаты определений.

Таблица 3

Химическая стойкость бентонита

Показатель	H_2O	HCl	NaOH	NaCl
Перманганатная окисляемость	0,396	0,792	1,98	5,544
Кремниевая кислота	21,65	23,51	30,11	14,49
Сухой остаток	18,5	25	25	19,5
Алюминий и железо(III) (суммарно)	0,054	0,104	0,086	0,03

Примечание: прирост по окисляемости – не более 10 $\text{мг}/\text{дм}^3$ по O_2 . Прирост по кремниевой кислоте – не более 10 $\text{мг}/\text{дм}^3$. Прирост сухого остатка – не более 20 $\text{мг}/\text{дм}^3$. Суммарный прирост алюминия и железа(III) – не более 2 $\text{мг}/\text{дм}^3$.

Механическая прочность материала характеризуется его измельчаемостью и истираемостью. Результаты испытаний на механическую прочность гранул полученного адсорбента представлены в таблице 4.

Таблица 4

Показатели механической прочности гранул полученного адсорбента

Показатель	Гранулометрический состав, мм	Экспериментальные данные, %	ГОСТ, не более, %
Измельчаемость	0,5–0,25	3,4	4,0
Истираемость	< 0,25	0,3	0,5

В процессе работы были выполнены исследования по оценке физико-химических свойств как исходной глины, так и гранулированной формы бентонита Карасукского месторождения. Это позволяет составить следующие выводы.

1. Химический состав указывает на принадлежность данного минерала к типичной глинистой породе.

2. По размерам исходных частиц бентонита можно судить об эффективности сорбции гранулированных форм. Чем меньше размеры частиц, тем большую удельную поверхность они могут сформировать. Следовательно, эффективность сорбции увеличится.

3. Развитая морфология поверхности гранул косвенно подтверждает хорошие сорбционные свойства данного материала.

4. Проведенные лабораторные опыты показали соответствие данного материала требованиям ГОСТ Р 51641-2000, что позволяет использовать его в качестве фильтрующего зернистого материала.

Библиографический список

1. A brief introduction to polymers and concepts of polymer modification of bentonite for barrier applications / W. Lieske, R. Verst, K. von Maubeuge, T. Wichtmann. DOI: 10.1002/cend.202200019 // Civil Engineering Design. 2023. Vol. 5. No. 1. P. 25–35.
2. Mu’azu N. D. Evaluation of the influence of clay montmorillonite content on the aqueous uptake of lead and zinc. DOI: 10.2175/106143017X15131012153202 // Water Environment Research. 2018. Vol. 90. No. 9. P. 771–782.
3. Карнаухов А. П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск : Наука, 1999. 470 с.
4. Differences in influence of particle size on the adsorption capacity between deformed and undeformed coal / Y. Liu, J. Miao, H. Han, P. Xu. DOI: 10.1021/acsomega.0c06306 // ACS Omega. 2021. Vol. 6. No. 8. P. 5886–5897.
5. Изучение структуры поверхности и свойств сорбционных материалов на основе модифицированного бентонита / О. В. Атаманова, Е. И. Тихомирова, А. С. Глубокая, А. В. Кошелев // Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. № 6. С. 155–164.
6. Кошелев А. В., Скиданов Е. В., Тихомирова Е. И. Алюмосиликатные адсорбенты для задач очистки воды: физико-химические характеристики и получение гранулированных форм // Химическая безопасность. 2018. Т. 2. № 2. С. 158–172.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ В ТЕХНОЛОГИИ БИОКОНВЕРСИИ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ И ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ НОВОГО ТИПА

Я. В. Пухальский, Г. И. Сутула, А. Д. Уткин, С. И. Лоскутов

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок,
puhalskyyan@gmail.com, lislosk@mail.ru

В статье описан в основном зарубежный опыт энтомоиндустрии, связанный с использованием личинок мухи черной львинки для замкнутого цикла производства кормовых добавок и органических удобрений из пищевых отходов. Использование насекомых в нашей стране создаст конкурентное преимущество для технологического предпринимательства и способствует диверсификации экономики в рамках развития национального проекта «Биоэкономика».

Ключевые слова: *Hermetia illucens*, биоконверсия, пищевые отходы, органическое удобрение, биоэкономика.

Глобальный рост мирового населения и увеличение потребления продуктов питания, влечет за собой проблему своевременной и быстрой утилизации органических отходов [1–2]. Традиционные методы компостирования часто приводят к загрязнению окружающей среды, появлению запаха, развитию патогенов и выбросам парниковых газов в атмосферу, способствующих изменению

климата [3]. Использование насекомых чёрной львинки (*Hermetia illucens* L., Diptera: Stratiomyidae) представляет собой инновационный метод для одновременного решения сразу нескольких задач:

- непосредственно для высокоэффективной переработки пищевых отходов [4–5],
- производства высокобелковой кормовой добавки [6–8],
- использования продуктов жизнедеятельности личинок во время роста для последующего получения органического удобрения нового типа – зоогумуса или BSFL frass [9], соответствующего стандартам качества, установленных ГОСТ 33830-2016 и ГОСТ 53117-2008 [10].

В жизненном цикле *Hermetia illucens* большую часть составляют личиночная и куколочная стадии, в то время как продолжительность жизни взрослой мухи коротка, и муха безвредна для человека, потому что у нее нет жала, а ротовой аппарат позволяет пить только воду [11].

По разным источникам личинки способны уменьшать количество различных органических отходов до 60–80% от их общего веса [12–13]. Это связано с наличием в пищеварительном тракте насекомых бактерий, способных вырабатывать пищеварительные ферменты, такие как амилаза, протеаза и липаза.

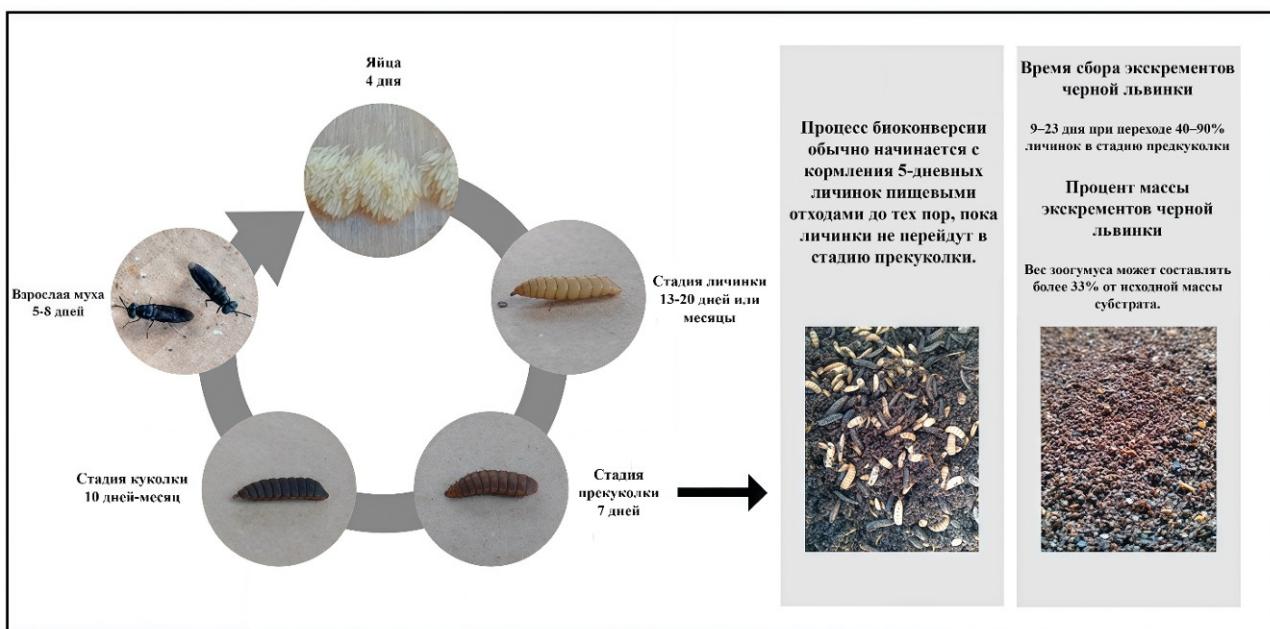


Рис. Жизненный цикл черной львинки, и производство зоогумуса

По расчетам, 1 кг живых личинок способен переработать 1 кг пищевых отходов. Они способны в короткие сроки разлагать различные типы биоотходов, включая побочные продукты мукомольного производства, навоз животных, остатки пивоваренной промышленности и кухонные отходы. Для биоконверсии с помощью личинок *H. illucens* предпочтительнее использовать смесь отходов, а не один субстрат, чтобы получить продукт с более высокой питательной ценностью [14]. Наиболее предпочтительными субстратами для выращивания биомассы личинок являются смеси зерна с навозом или зерново-фруктово-овощные смеси [7, 15]. Продолжительность переработки отходов зависит от

температуры, влажности, состава микробного сообщества и изначального выбора рациона питания личинок и составляет в среднем от 14 дней до месяца.

Важно также отметить, что черная львинка не является переносчиком заболеваний человека и животных, а активно питающиеся личинки выделяют инфохимикаты, которые подавляют яйцекладку комнатных мух (*Musca domestica*), тем самым осуществляя естественный контроль над другими потенциальными вредителями.

Несмотря на экологичность и относительную дешевизну данной биотехнологий [16–17], процесс ее коммерциализации развивается в нашей стране пока достаточно медленно [18]. При этом все вышеперечисленное является ключевым условием для активного вовлечения использования насекомых в развитие национального проекта «Биоэкономика», стартующего в России с января 2026 года.

Личинок *H. illucens* часто сравнивают с красными червями (*Eisenia fetida*) и большим мучным хрущаком (*Tenebrio molitor*). Однако анализы показали, что скорость биоконверсии различных органических материалов, включая пищевые отходы, навоз и побочные продукты сельского хозяйства, у личинок мухи проходит быстрее [19–20].

Общее содержание сырого протеина в полученном кормовом продукте в виде выпущенных личинок варьирует в интервале 35–48 % от сухого вещества. По набору аминокислот это делает его сопоставимыми с соевым шротом и рыбной мукой в кормовых смесях [21–22]. Высокое содержание энтоцира (20–45% от сухого вещества), также указывает на возможность использования личинок при производстве биодизеля и мыла [23]. Минеральный состав достаточно стабилен, вне зависимости от способа обработки [24]. Аккумуляция тяжелых металлов при этом недопустима, поэтому для получения безопасного биопродукта необходимо вести систематический контроль качества пищевых отходов.

Касательно зоогумуса *H. illucens*, то его можно охарактеризовать как органическое слабощелочное (рН 7,5) удобрение, не уступающее по питательной ценности птичьему помету. Из-за высокой концентрации питательных веществ, зоогумус нельзя использовать в чистом виде, поскольку это может привести к фитотоксичности [25]. Содержание органического вещества здесь достигает 84,9%, что превышает таковое в навозе и в традиционных компостах [26]. Минеральная фракция богата не только макро-, но и эссенциальными микроэлементами. Однако содержание последних варьирует в зависимости от выбора рациона кормления личинок. Зоогумус не аккумулирует токсичные металлы, микотоксины или инсектициды. Микробиологический анализ показал, что в экскрементах также не обнаружено *Escherichia coli* и *Salmonella* sp.

По питательной ценности зоогумус сопоставим с аммиачной селитрой (NH_4NO_3) и может служить ее органической заменой [17]. Для достижения наибольшего накопления азота в зоогумусе в рационе питания рекомендуют использовать окару, пшеничные отруби и кукурузный дистиллят [28–29]. От рациона питания также зависит итоговая кислотность удобрения [30].

Сравнивая минеральный состав зоогумуса *H. illucens* с экскрементами других насекомых, в частности ширтоцерки (*Schistocerca gregaria*), тутового

шелкопряда (*Bombyx mori*), полевого сверчка (*Scapsipedus icipe*) и мучного хрущака (*Tenebrio molitor*), было установлено, что концентрация азота (20–130%), фосфора (60–80%) и калия (17–193%) в нем была везде больше [31]. Общее содержание элементов варьировало от 0,8 до 5,1% для азота, от 0,8 до 2,5% для фосфора и от 0,2 до 4,1% для калия соответственно. Соотношение N:P₂O₅:K₂O в удобрении составляло примерно 1:0,9:1,1 [26]. Основной формой азота являлась мочевая кислота, метаболизирующаяся до аммония (NH₄⁺) и аммиака (NH₃), обладающих летучестью. Низкое соотношение C:N в экскрементах относительно исходного субстрата обеспечивает высокую доступность элементов питания для растений [11, 32–33].

Из других фактов, можно выделить, что нативное сырье зоогумуса и его экстракты способны проявлять фунгицидные свойства в отношении ряда экономически значимых грибных патогенов для сельскохозяйственных и садовых культур [34–35]. Бактерицидных при этом, свойств не обнаружено.

В заключение можно сказать, что оценивая мировой тренд, прогнозируется, что объем рынка сбыта мух черной львинки и их зоогумуса к 2030 году достигнет 3,4–3,9 млрд долларов.

Библиографический список

1. Black soldier fly larvae (BSFL) and their affinity for organic waste processing / S. A. Siddiqui, B. Ristow, T. Rahayu, et al. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.12.044 // Waste Manag. 2022. Vol. 140. P. 1–13.
2. Black soldier fly larva: a resource insect larva worth promoting in achieving sustainable development goals – a systematic review / T. R. Akwa, H. N. Tsafack, L. Gitau, L. T. Azefack. DOI: 10.69709/SustainFoodConn.2025.138493 // Sustainable Food Connect. 2025. Vol. 1. Article No. 4.
3. Использование пищевых отходов для выращивания личинок мухи *Hermetia illucens* (краткий обзор зарубежной литературы) / И. Г. Шайхиев, С. В. Свергузова, Ж. А. Сапронова, Е. С. Антюфеева // Экономика строительства и природопользования. 2020. № 4. С. 17–30.
4. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: a review / M. Gold, J. K. Tomberlin, S. Diener, et al. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.10.022 // Waste Manag. 2018. Vol. 82. P. 302–318.
5. Effect of locally generated food waste on bioconversion and nutrient parameters of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) / K. P. Ganvir, A. N. Darvekar, V. D. Raut, R. K. Thorat. DOI: 10.22271/j.ento.2022.v10.i6b.9096 // J. Entomol. Zool. Stud. 2022. Vol. 10. No. 6. P. 108–116.
6. Black soldier fly: a new vista for waste management and animal feed / S. N. Rindhe, M. K. Chatli, R. V. Wagh, et al. DOI: 10.20546/ijcmas.2019.801.142 // Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 2019. Vol. 8. No. 01. P. 1331–1334.
7. Питательные свойства личинок *Hermetia illucens* L. – нового кормового продукта для молодняка свиней (*Sus scrofa domesticus* Erxleben) / Р. В. Некрасов, М. Г. Чабаев, А. А. Зеленченкова и др. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.2.316rus // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 2. С. 316–325.
8. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae improve growth performance and flesh quality of African catfish (*Clarias gariepinus*) / M. K. Hervé, M. D. Calice, D. Dzepe, et al. DOI: 10.1007/s44338-024-00045-8 // Discov. Anim. 2025. Vol. 2. Article No. 9.
9. Larval frass of *Hermetia illucens* as organic fertilizer: composition and beneficial effects on different crops / G. Lomonaco, A. Franco, J. de Smet, et al. 10.3390/insects15040293 // Insects. 2024. Vol. 15. No. 4. Article No. 293.

10. Агрохимические характеристики зоокомпоста личинок насекомого Черная львинка / Е. А. Пендюрин, В. А. Здоровцов, С. Ю. Рыбина, А. В. Святченко. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-010 // Агрохимический вестник. 2024. № 3. С. 59–62.
11. Potential applications of frass derived from black soldier fly larvae treatment of food waste: a review. / N. E. A. Basri, N. A. Azman, I. K. Ahmad, et al. DOI: 10.3390/foods11172664 // Foods. 2022. Vol. 11. No. 17. Article No. 2664.
12. Amin U. K., Lando A. T., Djamaluddin I. Potential of black soldier fly larvae in reduction various types organic waste. DOI: 10.12912/27197050/190639 // Ecol. Eng. Environ. Technol. 2024. Vol. 25. No. 9. P. 190–201.
13. Putri D. A., Chadirin Y., Yuwono A. S. Food waste management utilizing black soldier fly larvae. DOI: 10.46604/ems.2023.12785 // Emerging Science Innovation. 2024. Vol. 2. P. 26–35.
14. Taufek N. M., Mohamad Zulkifli N. F. N., Hamizah A. N. Upcycling of food waste generated from the fresh market by utilising black soldier fly larvae: influence on growth, bioconversion, and nutritional composition. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119467 // J. Environ. Manag. 2024. Vol. 1. No. 349. Article No. 119467.
15. Utilizing black soldier fly larvae to improve bioconversion and reduce pollution: a sustainable method for efficient treatment of mixed wastes of wet distiller grains and livestock manure / T. Li, S. Khan, M. Wei, et al. DOI: 10.3390/molecules28155735 // Molecules. 2023. Vol. 28. No. 15. Article No. 5735.
16. Ecological citizenship: bioconversion of food wastage with maggot black soldier fly / N. Mufidah, F. N. Pertiwi, T. D. W. Negara, N. Jehyeh. DOI: 10.24114/jk.v22i2.66089 // Jurnal Kewarganegaraan. 2025. Vol. 22. No. 2. P. 199–215.
17. Песцов Г. В., Третьякова А. В., Прокудина О. В. Экологически безопасная утилизация отходов сельского хозяйства с использованием насекомого вида *Hermetia illucens* // Биосфера. 2022. Т. 14. № 4. С. 362–364.
18. Артахов А. Б. Энтомоиндустрия черной львинки. DOI: 10.21686/2413-2829-2021-4-61-70 // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. 2021. Т. 18. № 4. С. 61–70.
19. Goodwin C. Black soldier fly larva (*Hermetia illucens*) frass vs. red wiggler (*Eisenia fetida*) castings on (*Capsicum annum*) «Early Jalapeno» seedling growth. DOI: 10.32473/ufjur.24.130728 // J. Undergr. Res. 2022. Vol. 24. P. 1–18.
20. Shojaaddini M. Applicability of black soldier fly and yellow mealworm in municipal food waste bioconversion: assessment of efficiency, nutritional proficiency, and safety. DOI: 10.1016/j.aspen.2024.102306 // Journal of Asia-Pacific Entomology. 2024. Vol. 27. Article No. 102306.
21. Productivity and nutritive value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae fed with different waste substrates / E. R. Salinas, A. L. Rivera, J. S. Malalis, et al. DOI: 10.11594/ijmaber.04.02.25 // International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research. 2023. Vol. 4. No. 2. P. 588–599.
22. Rethinking organic wastes bioconversion: evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF) / K. C. Surendra, J. K. Tomberlin, A. van Huis, et al. DOI: 10.1016/j.wasman.2020.07.050 // Waste Manag. 2020. Vol. 117. P. 58–80.
23. Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: a mini-review / K. U. Rehman, C. Hollah, K. Wiesotzki, et al. DOI: 10.1177/0734242X221105441 // Waste Manag. Res. 2023. Vol. 41. No. 1. P. 81–97.
24. Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods / N. F. N. M. Zulkifli, A. Y. Seok-Kian, L. L. Seng, et al. DOI: 10.1371/journal.pone.0263924 // PLoS One. 2022. Vol. 17. No. 2. Article No. e0263924.
25. Bioconversion of municipal organic solid waste in compost using black soldier fly (*Hermetia illucens*) / P. Addo, S. Oduro-Kwarteng, S. F. Gyasi, E. Awuah.

DOI: 10.30486/ijrowa.2022.1939781.1333 // Int. J. Recyl. Org. Waste Agric. 2022. Vol. 11. No. 4. P. 515–526.

26. Gärtling D., Schulz H. Compilation of black soldier fly frass analyses. DOI: 10.1007/s42729-021-00703-w // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2022. Vol. 22 No. 1. P. 937–943.

27. Schmitt E., de Vries W. Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. DOI: 10.1016/j.cogsc.2020.03.005 // Curr. Opin. Green Sustainable Chem. 2020. Vol. 25. Article No. 100335.

28. Rearing of *Hermetia illucens* on different organic by-products: influence on growth, waste reduction, and environmental impact / L. Bava, C. Jucker, G. Gislon, et al. DOI: 10.3390/ani9060289 // Animals (Basel). 2019. Vol. 9. No. 6. Article No. 289.

29. Upcycling food waste using black soldier fly larvae: effects of further composting on frass quality, fertilising effect and its global warming potential / S. Song, A. W. L. Ee, J. K. N. Tan, et al. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125664 // J. Cleaner Prod. 2020. Vol. 288. Article No. 125664.

30. Lopes I. G., Yong J. W., Lalander C. Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. DOI: 10.1016/j.wasman.2022.02.007 // Waste Manag. 2022. Vol. 142. P. 65–76.

31. Beesigamukama D., Subramanian S. Tanga C. M. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. DOI: 10.1038/s41598-022-11336-z // Sci. Rep. 2022. Vol. 12. Article No. 7182.

32. Decomposition of food waste from protein and carbohydrate sources by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* L. / N. A. A. Jalil, S. H. Abdullah, I. K. Ahmad, et al. DOI: 10.22438/jeb/42/3(SI)/JEB-04 // J. Environ. Biol. 2021. Vol. 42. P. 756–761.

33. Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (*Hermetia illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) larvae / D. Sarpong, S. Oduro-Kwarteng, S. F. Gyasi, et al. DOI: 10.1007/s40093-019-0268-4 // Int. J. Recyl. Org. Waste Agric. 2019. Vol. 8. No. S1. P. 45–54.

34. Assessment of antifungal/anti-oomycete activity of frass derived from black soldier fly larvae to control plant pathogens in horticulture: involvement of *Bacillus velezensis* / G. Arabzadeh, M. Delisle-Houde, G. W. Vandenberg, et al. DOI: 10.3390/su151410957 // Sustainability. 2023. Vol. 15. Article No. 10957.

35. Suppressive effect of black soldier fly larvae frass on fusarium wilt disease in tomato plants / G. Arabzadeh, M. Delisle-Houde, G. W. Vandenberg, et al. DOI: 10.3390/insects15080613 // Insects. 2024. Vol. 15. No. 8. Article No. 613.

РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБОСНОВАНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ РАЦИОНАЛЬНОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Ю. И. Рябков, А. В. Кучин, Е. В. Удоратина
Институт химии ФИЦ Коми научного центра
Уральского отделения РАН, ryab23@mail.ru

На основе результатов разработки технологических схем утилизации техногенных отходов производства и потребления с целью производства новых материалов и изделий предложены технико-экономические обоснования организации новых предприятий. Особое внимание уделено переработке крупнотоннажных отходов серы, макулатуры и шлама, отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности. Предложены решения ряда экологических проблем северных регионов России.

Ключевые слова: техногенные отходы, технико-экономическое обоснование (ТЭО), серные композиты, торрефикация, биоуголь, лигноцеллюлозные сорбенты, макулатура, макулатурный шлам.

Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН проводит фундаментальные и прикладные исследования строения органических и неорганических веществ, процессов их получения, разрабатывает физико-химические основы технологий получения перспективных материалов. Объединяя компетенции специалистов в области органической и неорганической химии, удается получать интересные и перспективные результаты: ежегодно ученые Института синтезируют несколько десятков новых органических и неорганических соединений, кристаллических фаз, наноструктурированных и гибридных материалов для современных отраслей науки и техники – химической промышленности, машиностроения, медицины, сельского хозяйства, строительства и других.

Основываясь на глубоком понимании химических процессов, лежащих в основе технологических схем производства новых материалов и изделий, нами разрабатываются технологические схемы переработки техногенных отходов производства и потребления различных продуктов.

Техногенные отходы, как правило, сложные многокомпонентные смеси веществ, не предназначенных для непосредственного использования, создающих разной степени и опасности нагрузку на окружающую среду и требующих дополнительных действий и вложений для их вывоза, хранения, или утилизации.

Решением проблем экологии занимаются специалисты различных сфер деятельности – биологи и медики, химики и технологи. Инженерно-технический персонал любого производства в обязательном порядке отвечает за то, чтобы любой отход производства имел паспорт безопасности и соответствующим образом был локализован в соответствии с требованиями природоохранного законодательства.

Инициативно в рамках выполнения Государственного задания Институт химии проводит НИОКР «Разработка новых конструкционных композиционных материалов при решении стратегической задачи комплексного использования минеральных ресурсов и техногенных отходов предприятий Арктической зоны» (2021–2025), в которой экологическая составляющая существенна.

Разработка новых конструкционных композиционных материалов ориентирована на их применение, а, значит, на создание технологических схем производства изделий, коммерческих продуктов.

Прединвестиционный документ – это технико-экономическое обоснование (ТЭО), которое определяет направления поиска бизнес-партнеров и дает возможность отвечать на вопросы конкурентности продукта, процессов его производства и проводить оценку размеров инвестиций.

Нами разработаны ТЭО на основе нескольких технологических схем утилизации техногенных отходов:

- технической серы – отход газо-, нефтепереработки;
- отходов глубокой переработки древесины;
- целлюлозных отходов переработки древесной массы;

– отработанных минеральных и органоминеральных смесей после бальнеотерапевтических процедур.

Одна из стадий первичной переработки нефти с высоким содержанием сероводорода – обессеривание. Сера – крупнотоннажный отход, 60–70% которого используется в химической промышленности при производстве удобрений, красителей, лекарств, серной кислоты. Профицит производства серы создает предпосылки для поиска и развития альтернативных технологий переработки серы в новые товарные продукты. Наиболее перспективным является использование значительных объемов избытка серы в технологии стройиндустрии и дорожном строительстве.

Серные композиты – искусственные композиционные материалы, состоящие из серного вяжущего (20–35%) и заполнителей (65–80%). Приготовление смеси и формовку изделий производят при температуре 140–150 °С. Серная матрица универсальна для широкого спектра инертных наполнителей и заполнителей. В этом качестве могут применяться щебень, песок, гравий, металлургические шлаки и зола, прочие материалы, например, некоторые твердые отходы химических предприятий, которые для включения в состав традиционных портландцементных смесей не пригодны.

О преимуществах серных бетонов на основе модифицированной серы (быстрый, в течение часа, набор марочной прочности – до 100 Мпа; безводная технология затвердения; возможность укладки серобетонных смесей при отрицательных температурах и под водой) в сравнении с бетонами на портландцементном вяжущем известно давно. Особенно актуально продвижение этого материала в строительстве, включая дорожное, в связи с новыми перспективами развития северных регионов России.

Для анализа экономической эффективности создания сероасфальтобетонного завода нами разработано технико-экономическое обоснование инфраструктурного проекта «Разработка научных рекомендаций и технологической схемы использования серного вяжущего и техногенных отходов для производства новых материалов и изделий дорожного строительства в Кировской области». Показано, что за период реализации проекта обеспечится экономическая окупаемость проекта. Прогноз положительного результата работы данного предприятия основан на внедрении в практику промышленного строительства, включая дорожное, инновационного конструкционного материала на основе серного вяжущего.

Проектом предусматривается применение новых для Кировской области технологий производства строительных конструкций (серобетон), дорожных покрытий (сероасфальт и сероасфальтобетон) из материалов на основе серы, являющейся крупнотоннажным отходом нефте- и газопереработки. Проектная мощность завода составляет 120 т/ч. Предполагается, что площадь территории завода составит порядка 1000 м².

Организация производства серобетонных и сероасфальтобетонных (САС) смесей для дорожного строительства планируется по аналогии с организацией производства асфальтобетонных заводов (АБЗ) или, как вариант, на базе дей-

ствующих АБЗ Кировской области, что снизит рассчитанную в данном документе финансовую нагрузку на реализацию проекта.

Реализация технологического процесса производства серных композитов осуществлена на опытном производстве Института химии и предприятиях-партнерах. В Институте Химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН разработаны рецептуры композиционных материалов, полученных с использованием технической серы, природных минеральных компонентов, получаемых из местного сырья и отходов его обогащения, модификаторов серы, получаемых синтетически и из отходов лесохимического производства.

В биоэнергетической отрасли есть мало разработанная технология торрефикации биомассы, продуктом которой является торрефикат или биоуголь (biocoal).

Торрефикация – технология обработки возобновляемых органических отходов с получением продукта, которым можно заменить каменный уголь и при этом обойтись без существенной реконструкции действующих котельных и потери их производительности.

Биотопливо, или biocoal – это любое топливо растительного происхождения, которое в результате термической обработки приобретает свойства, приближенные к свойствам каменного угля.

Требования к биотопливу: теплотворная способность не ниже, чем у каменного угля; при сжигании – пониженный уровень газообразных выбросов вредных веществ; хорошая транспортабельность за счет гидрофобности.

Сравнение значений теплоты сгорания: каменный уголь – 22–30 МДж/кг, традиционные древесные гранулы – не выше 19 МДж/кг, торрефицированные гранулы – 21–22 МДж/кг – показывает преимущество этого вида топлива.

Для получения биоугля используют реактор торрефикации, в котором обеспечивается мягкий пиролиз биомассы за счет ее нагрева без доступа воздуха при 200–320 °С, при атмосферном давлении в течение 30–90 мин. В процессе торрефикации удаляются влага, летучие вещества (продукты распада целлюлозы и лигнина) и исходная масса уменьшается на 20–30%. Энергоемкость биотоплива увеличивается на 10–15%. Важно, что удельная теплота сгорания торрефиката больше в 1,5–2,0 раза по сравнению с обычными древесными пеллетами.

Следует учитывать технологические барьеры и узкие места торрефикации.

1. Процесс торрефикации чувствителен к качеству сырья (тщательная подготовка сырья). Сложность оптимизации.
2. Энергетический баланс торрагаза сильно зависит от влажности сырья.
3. Выбросы: торрагаз содержит соединения (жирные кислоты, первичный деготь и др.), которые необходимо разлагать в камере дожига.
4. Проблемы масштабирования – переход от пилотных установок к промышленным линиям не отработан.
5. Опасность самовоспламенения биоугля (до компактирования).

6. Сложность гранулирования – при торрефикации доля лигнина – природного связующего, резко уменьшается. Дополнительные адгезивы снижают экономическую и экологическую привлекательность торрефиката.

Выявленные ограничения устранимы при использовании стандартных подходов, в том числе, с использованием драйверов рынка, ориентированных на «зеленую» энергетику.

На основе результатов исследования и анализа преимуществ и ограничений процессов торрефикации биомассы нами разработано ТЭО инфраструктурного проекта «Изготовление линии торрефикации, брикетирования угольного брикета из органического сырья» для ООО «Кировбелмаш».

Продолжаются работы в области создания и усовершенствования технологий получения сорбционных материалов технического назначения, а также вывода коммерческих продуктов на рынок.

Получены положительные результаты по применению сорбентов на основе растительного сырья и отходов его переработки при очистке акваторий от нефтяных разливов, очистке технических и бытовых сточных вод, в том числе загрязненных нефтепродуктами (во многих случаях эмульгированными).

Разработка лигноцеллюлозных композитов в качестве сорбентов нефтепродуктов решает комплекс проблем, связанных с высокой стоимостью и ограничением поставок зарубежных сорбентов, недостаточным уровнем потребительских свойств доступных сорбентов (нефтеемкость, плавучесть, экологичность утилизации отработанных сорбентов), проблем, отражающихся на соотношении цена/качество.

На опытном предприятии ООО «НТП Института химии» отработана технология и изготовлена опытная партия лигноцеллюлозного сорбента «Sorb-S». Выполненные исследования легли в основу разработки ТЭО проекта «Производство сорбентов для сбора нефтепродуктов».

Сравнение некоторых видов коммерческих сорбентов на основе растительного сырья и сорбента нашей разработки показало следующие преимущества лигноцеллюлозного сорбента: изготовление из доступного возобновляемого отечественного сырья, простота технологии и доступность модифицирующих реагентов, высокая плавучесть сорбента (до 30 суток), способность к модификации биоактивными добавками для деструкции сорбированных нефти и нефтепродуктов.

Экономическая привлекательность коммерческого сорбента может быть повышена использованием целлюлозосодержащих отходов, например, макулатуры и/или макулатурного флотошлама.

Ежегодно в России образуется около 15 млн т макулатуры, из которых пригодно для переработки 12 млн т (по данным 2024 г). Однако перерабатывается лишь небольшая часть этого объема. По данным Министерства природных ресурсов и экологии РФ, около 9 млн т макулатуры ежегодно отправляется на полигоны ТБО, хотя эти отходы могли бы быть переработаны. В России около 40 (где то упоминается 90) предприятий занимаются переработкой макулатуры. Крупнейшие из них: Набережночелнинский КБК, Архангельский ЦБК, «Группа Илим» (14 площадок). Основное потребление макулатуры в России, как и в

других странах, связано с производством картона, упаковочной и санитарно-гигиенической бумаги – около 75%, при производстве кровельных материалов потребляется около 20% макулатуры.

Новые направления использования макулатуры связаны с ее химической модификацией и получением линейки продуктов и материалов различного народнохозяйственного назначения: сорбентов, порошковых лигноцеллюлозных материалов и композитов

Поверхностной модификацией макулатурной массы по разработанному в Институте химии способу получены гидрофобные сорбенты, предназначенные для удаления нефти, масел, мазута и других, нерастворимых в воде органических загрязнений. Наилучшие значения сорбционной емкости проявляют материалы на основе картонной массы. Это достойная альтернатива первичным целлюлозным волокнам (товарная техническая целлюлоза).

На основе химически модифицированного макулатурного картона получены титансодержащие лигноцеллюлозные порошковые материалы, примененные в резинах в качестве промоторов адгезии. Внесение модификаторов в количестве не более 5 массовых частей на 100 массовых частей синтетического каучука повышают прочность связи резина–латунированный металлокорд, сохраняют физико-механические свойства резины в условиях термоокислительного старения, тем самым способствуют увеличению срока эксплуатации резин.

Утилизация макулатурного шлама (МШ). При флотационной обработке макулатуры происходит образование многотоннажного отхода (флотошлама), представляющего собой органо-неорганический композит, состоящий из частиц печатной краски, наполнителя, клейких веществ и мелкодисперсного целлюлозного волокна. Зольность флотошлама составляет ~60%. При переработке макулатуры в продукцию санитарно-гигиенического назначения только на ОАО «Сыктывкар Тиссью Групп» образуется МШ до 2000 т/мес.

Традиционно макулатурный шлам вывозят на полигоны ТБО. Однако при захоронении осадок представляет опасность для окружающей среды. Частично проблема решается повторным использованием бумажного шлама, которое можно разделить на три категории. Первая – это использование неорганических веществ (в основном карбоната кальция). Вторая – использование органических веществ (в основном мелковолокнистой целлюлозы). Третья – комплексное использование как неорганических, так и органических веществ. Примеры использования неорганических веществ включают в себя преобразование золы бумажного шлама в цеолиты, стеклокерамику, в наполнители и загустители для резинотехнических, лакокрасочных изделий, в супергидрофобные порошки, в качестве водостойких добавок в композиции цементов или водоотталкивающих покрытий. Органические отходы, входящие в состав бумажного шлама, использовались для биоконверсии полисахаридной части в простые сахара (глюкозу, ксилозу) для культивирования микроводорослей и получения биоэтанола. Также на его основе получали карбоксиметилцеллюлозу, используемую в качестве водоудерживающего агента при изготовлении бумаги.

Известные подходы не могут в полной мере решить задачу по утилизации крупнотоннажного отхода по технологически и экономически приемлемым технологиям.

Нами прорабатывается перспективное, мало разработанное направление утилизации макулатурного шлама – использование его в качестве основы стабилизирующей добавки при производстве щебеноочно-мастичных асфальтобетонных смесей (ЩМАС).

Одним из условий применения стабилизирующих добавок в составе ЩМАС является предотвращение стекания вяжущего (битума) при транспортировке и использовании смеси. Наиболее эффективными и удобными в применении являются гранулированные добавки, состоящие из целлюлозных волокон, покрытых битумом, что обеспечивает им полную влагонепроницаемость и сохранность при длительном хранении, а также простую и надежную систему дозирования, равномерное распределение в композициях и, как результат, стабильную смесь на выходе из смесителя. Кроме этого, наличие битумного покрытия предотвращает обгорание волокон при попадании на горячий каменный материал.

После завершения опытно-технологической стадии работ будет предложена технологическая схема, которая ляжет в основу технико-экономического обоснования процесса производства стабилизирующей добавки, в котором заинтересованы предприятие, производящее отход – макулатурный флотошлам, и предприятие, использующее добавку в своем основном производственном процессе изготовления ЩМАС для строительства дорог.

Разработка ТЭО проводится на основе ГОСТ Р 58917-2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Технологический инжиниринг и проектирование. Технико-экономическое обоснование инвестиционного проекта промышленного объекта. Общие требования».

Содержательная часть документа (ТЭО) включает:

1. Введение – комплекс условий реализации проекта (социально-экономические, природно-климатические, правовые, др.), описание решаемых проблем.

2. Маркетинг (конкурентоспособность) и производственная программа (импортозамещение, комплексная переработка сырья, утилизация отходов).

3. Технико-технологический раздел – технологическая схема, обоснование выбора: оборудования, производственно-технологической структуры, состава и мощности промышленного объекта.

4. Экологический раздел – характеристика и объем сточных вод и вредных выбросов, размеры санитарно-защитной зоны, стоимость и эффективность природоохранных мероприятий, оценка экологического ущерба.

5. Институциональный раздел – схемы управления инвестиционным проектом на протяжении его жизненного цикла, оценка финансовых затрат, распределение между участниками проекта затрат, выгод и ответственности.

6. Раздел экономики строительства и производства, основных технико-экономических показателей – расчет финансово-экономической модели, эффективность капиталений, стоимость СМР, сырья, энергии, расходных материа-

лов, трудовых ресурсов и уровень производительности труда, себестоимость продукции. Конкурентность для данной локации производства.

7. Выводы – оценка экономической эффективности, соответствие прогрессивным удельным технико-экономическим параметрам, исходные данные и рекомендации для составления задания на проектирование предприятия.

Для организации этой работы необходимо привлекать команду с разными компетенциями: химики и технологи совместно разрабатывают технологические схемы с учетом объемов переработки отходов, подбирают оборудование с учетом последовательного согласования технологических операций, экономисты проводят квалифицированный расчет экономической эффективности реализации процесса, совместно с технологами проводят расчет и согласование всех ресурсных потоков – энергетических, материальных, людских.

В результате формируется документ для создания нового производства, который является отправной точкой для разговора с инвесторами на одном языке.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ВЕЩЕСТВ С СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТЬЮ В СВЕКЛОВИЧНОМ ЖОМЕ

A. B. Сазанов¹, M. L. Сазанова^{1,2}, B. И. Кузнецов³, A. A. Кызин³

¹ Вятский государственный университет, usrl11759@vyatsu.ru,

² Институт биологии Коми научного центра

Уральского отделения РАН,

³ ООО «НВП Башинком»

Крупнотоннажные органические отходы доступны для вторичной переработки, например, в качестве сорбентов для деконтаминации водных сред. Обсуждается связь химического состава свежего жома сахарной свеклы с возможностью его использования в качестве сорбента.

Ключевые слова: отходы сахарной промышленности, свекловичный жом, утилизация, рециклинг, деконтаминация.

Экономика замкнутого цикла предполагает переход на практически безотходное производство за счет рециклинга отходов [1]. Особое внимание, на наш взгляд, должно быть уделено органическим отходам агропромышленного сектора (пивная дробина, пшеничные отруби, жом сахарной свеклы (SBP) и др.), которые считаются крупнотоннажными и пригодны для вторичной переработки даже без дополнительной подготовки.

На данный момент производство сахара в России продолжает оставаться наиболее материалоемкой отраслью, поскольку соотношение готовый продукт : отходы составляет 1 : 9 [2]. Основными видами отходов являются свекловичный жом (SBP, остаток сахарной свеклы после извлечения сахара), меласса (оттёк, получаемый при центрифугировании утфеля последней кристаллизации в производстве сахара), фильтрационный осадок/дефекат (осадок, образу-

ющийся при очистке сахарного сока), ботва и хвостики свеклы, сточные воды, газовые и пылевые выбросы (сульфитационный и сатурационный газы, известковая и жомовая пыль). Наибольшая масса отходов – более 80% по объему (по разным оценкам, 16–71 млн т) – приходится на SBP [3–6]. В настоящее время производят жом свежий/сырой (92–93% воды, 7–8% сухих веществ (DM)), отжатый (12–14% DM), кислый (получается при хранении свежего или отжатого жома в хранилищах), высушенный/прессованный (18–25% DM), сухой (88% DM); последний может быть в рассыпанном или гранулированном виде, а также мелассированный [4, 5].

Традиционно использование свежего и сухого SBP в качестве кормовой добавки для крупного и мелкого рогатого скота, свиней, лошадей, птицы [2, 4–12]. Однако свежий SBP быстро портится: его надо перерабатывать в течение 2–3 дней. Не все сахарные заводы России имеют мощности для производства сушеного SBP, который по питательной ценности превосходит свежий в 9 раз (85 корм. ед./100 кг сухого SBP против 6–9 корм. ед./100 кг свежего SBP [10]), но более устойчив из-за низкого содержания влаги (не более 13%), и потому предпочтителен для транспортировки на большие расстояния, в т. ч. на экспорт. Согласно [13, 14], можно переработать всю массу SBP и предотвратить неблагоприятные экологические последствия несанкционированного попадания сырого SBP или жомовых вод в окружающую среду. Из-за сокращения поголовья, а также санкционных ограничений экспорта, 40–50% жома остается невостребованным и попадает в отходы [2, 4].

Целью работы был анализ химического состава свежего жома сахарной свеклы и оценка перспектив его использования для деконтаминации водных сред. Образцы свежего SBP предоставлены ООО «НВП Башинком». Анализ образцов проведен в лаборатории Института химии и экологии Вятского государственного университета по аттестованным методикам (табл.). Образцы проходили пробоподготовку в соответствии с требованиями для последующего метода анализа. Условия проведения измерений: температура 23 °C, влажность 42%, давление 743 мм рт. ст. Оценивалось содержание полисахаридов, простых сахаров, аминокислот, витаминов. Аналитические исследования проводили в трёхкратной повторности; рассчитывался средний результат. Результаты приведены в таблице. В целом, содержание определяемых веществ согласуется с данными других авторов (табл.); различия в содержании могут быть связаны с различным исходным сырьем и методами определения.

Химический анализ показал относительно высокое содержание веществ с сорбирующими свойствами: целлюлозы, лигнина, гемицеллюлозы, пектина (табл.). Известно, что центрами сорбции в молекулах полисахаридов являются гидроксильные группы, гетероатомы глюкопиранозных колец, $\beta(1\rightarrow4)$ -гликозидные связи целлюлозы, карбоксильные, карбонильные, ацетильные группы гемицеллюлоз и др. [15, 16]. Хемосорбция, комплексообразование, реакции ионного обмена, микроосаждение и др. указываются в качестве основных сорбирующих механизмов [16]. Главными преимуществами использования SBP в качестве сорбента являются дешевизна, экологичность, доступность, высокая поглощающая способность, минимизация химических или био-

логических шламов, возможность повторного использования, биодеградируемость [16–18]. Недостатками являются низкая устойчивость к разложению под действием температуры и влажности, низкая нефтеемкость, закисление почвенного раствора [17, 18].

Таблица

Химический состав свежего жома сахарной свеклы

Определяемая характеристика	Метод измерений	Результат*	Содержание, согласно литературным данным
Целлюлоза, % DM	Гравиметрический (азотно-спиртовый)	21,7±1,6	17,6–56,0 [4, 6, 11, 12]
Лигнин, % DM		3,13±0,04	1,5–4,0 [6, 12]
Гемицеллюлозы, % DM	ИКФС	24,33±0,11	21–28 [4, 6]
Пектины, % DM	Фотометрический	48,50±0,23	24–50 [4, 6]
Простые сахара, % DM	СФМ (по Дрейвуду)	0,87±0,02	0,7–16,3 [11, 12]
Лизин, г/100 г	УФ-СФМ, ВЭЖХ	0,45±0,02	0,42–0,61 [4, 6, 11]
Треонин, г/100 г		0,31±0,01	0,29 [4, 6, 11]
Пантотеновая кислота, мг/100 г	ВЭЖХ	0,18±0,0	0,16–0,21 [4, 11]
Аскорбиновая кислота, мг/100 г		0,17±0,0	0,5–1,9 [11]

Примечание: DM – в пересчете на сухое вещество; ИКФС – ИК-Фурье спектроскопия, СФМ – спектрофотометрия; АМСМ – атомная масс-спектрометрия * – среднее значение±погрешность для трех измерений.

Установлено, что нативный и модифицированный SBP эффективно сорбируют Tl^{+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , U^{6+} из водных сред (водоемов, сточных и шахтных вод); эффективность извлечения для нативного SBP составила 55–80%, для модифицированного – 90–98% [6]. Адсорбция металлов согласуется с изотермой Ленгмюра по механизму ионного обмена, электростатическим взаимодействиям либо хелатирования [19]. Карбонизация лигноцеллюлозного сырья с последующей активацией улучшает сорбирующие свойства [20]. Например, по данным [21], карбонизированный и активированный водяным паром SBP не уступает активированному углю в отношении эффективности очистки сточных вод полиграфического и нефтехимического производств. Сообщается также о высокой сорбционной способности в отношении Cu^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} гидро- и ксерогелей на основе пектина, полученного из SBP, которые обладают необходимой химической и механической стойкостью для биосорбции и десорбции тяжелых металлов [22].

Также SBP показал хорошие сорбирующие свойства в отношении разливов нефти и нефтепродуктов на воде. Установлено, что для нативного высущенного SBP нефтеемкость составляет 1,16–2,17 г/г. При модификации SBP органическим растворителем с последующим выжиганием, либо обработкой СВЧ-излучением и др. сорбционная емкость возрастает до 3,5–16 г/г [6, 17, 23]. Маслоемкость жома зависит от температуры (уменьшается при понижении температуры) и фракционного состава SBP (средняя фракция 1,2–5 мм обладает наилучшими сорбционными характеристиками) [6, 24]. Биокомпозитные материалы, включающие полимерную основу, лигноцеллюлозный наполнитель и

нефтеокисляющие штаммы или ассоциаты микроорганизмов (из родов *Rodococcus*, *Leicobacter*, *Ochrobactrum*, *Deinococcus* и др.), позволяют не только сорбировать нефтепродукты из водных сред, но и разлагать их до низкомолекулярных нетоксичных продуктов [25]. SBP содержит доступные для нефтеокисляющих микроорганизмов амино- и органические кислоты, витамины, элементы минерального питания, доступные для гидролиза полисахариды, что отличает их от неорганических сорбентов. Например, согласно [26], разработан нефtesорбент, представляющий собой биокомпозит из полимерной матрицы (сополимера акрилонитрила и метилметакрилата) с инкорпорированными биогенными компонентами (SBP) и иммобилизованной смешанной культурой психротолерантных бактерий, который эффективен в условиях низких температур.

Таким образом, учитывая результаты анализа химического состава и литературные данные, свежий и модифицированный SBP может быть использован в качестве сорбента для деконтаминации водных сред.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка состояния трансформированных экосистем подзоны южной тайги, методические подходы к их биоремедиации», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 125021402208-5.

Библиографический список

1. Качанова Л. С., Бондаренко А. М. Вовлечение потенциальных органических отходов в экономику замкнутого цикла как инструмент обеспечения экономической безопасности государства. DOI: 10.18334/ecsec.5.4.115059 // Экономическая безопасность. 2022. Т. 5. № 4. С. 1517–1530.
2. Виноградова К. И. Рекультивация нарушенных земель отходами аграрной промышленности // Естественные науки: актуальные вопросы и социальные вызовы : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2021. С. 69–75.
3. Формирование и трансформация почв в районах размещения отходов сахарной индустрии (обзор) / И. В. Замотаев, Р. Г. Грачева, П. В. Михеев, Ю. В. Конопляникова. DOI: 10.31857/S0032180X22080159 // Почвоведение. 2022. № 8. С. 949–961.
4. Свекловичный жом сахарного производства и перспективы его использования / А. А. Славянский, Д. П. Митрошина, В. А. Грибкова и др. DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-292-303 // Вестник МГТУ. 2023. Т. 26. № 3. С. 292–303.
5. Стародубцев Д. А. Свекловичная ботва и свекловичный жом // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции : материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 23–25 ноября 2022 г. Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2022. С. 198–203.
6. Использование нативного и модифицированных образцов жома сахарной свеклы (*Beta vulgaris*) в качестве сорбционных материалов для удаления загрязняющих веществ из водных сред / К. И. Шайхиева, С. В. Степанова, И. Г. Шайхиев, С. В. Свергузова. DOI: 10.14258/jcprm.20240313555 // Химия растительного сырья. 2024. № 3. С. 49–70.
7. Думилина Д. В. Использование отходов сахарного производства при кормлении сельскохозяйственных животных // Научно-образовательная среда как основа развития интеллектуального потенциала сельского хозяйства регионов России : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 06 сентября 2024 г. Чебоксары : Чувашский государственный аграрный университет, 2024. С. 179–181.
8. Дудаев Ш. М. Влияние свекловичного жома на молочную продуктивность коров монбельярдской породы. DOI: 10.36684/140-1-2024-57-61 // Прорывные научные исследова-

ния как двигатель науки в сельском хозяйстве : материалы докладов Всерос. науч.-практ. конф. Грозный, 24 октября 2024 г. Грозный : Чеченский государственный университет имени Ахмата Абдулхамидовича Кадырова, 2024. С. 57–61.

9. Донченко Л.В., Ластков Д.О. Об актуальности глубокой переработки свекловичного жома в современных условиях. DOI: 10.24412/2413-5518-2023-2-40-45 // Сахар. 2023. № 2. С. 40–45.

10. Рециклинг отходов в АПК: справочник / И. Г. Голубев, И. А. Шванская, Л. Ю. Коноваленко, М. В. Лопатников. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2011. 296 с.

11. Жом в кормлении крупного рогатого скота / В. Ф. Радчиков, В. П. Цай, В. К. Гурин и др. // Сахар. 2016. № 1. С. 52–55.

12. Dietary forage and nonfiber carbohydrate contents influence B-vitamin intake, duodenal flow, and apparent ruminal synthesis in lactating dairy cows / E. C. Schwab, C. G. Schwab, R. D. Shaver, et al. // J. Dairy Sci. 2006. Vol. 89. No. 1. P. 174–187.

13. Пат. 2 542 530. РФ, МПК C13B 5/06 (2011.01). Способ получения сущеного свекловичного жома : № 2013137985/13 : заявл. 13.08.2013 : опубл. 20.02.2015 / Черников А. М. 4 с.

14. Пат. 2 719 156. РФ, МПК C13B 5/00 (2011.01). Способ получения сущеного свекловичного жома : № 2019110360 : заявл. 08.04.2019 : опубл. 17.04.2020 / Черников А. М. 4 с.

15. Вураско А. В., Симонова Е. И., Минакова А. Р. Сорбционные материалы на основе технической целлюлозы из соломы и шелухи риса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. № 226. С. 139–154.

16. Никифорова Т. Е., Габрина В. А., Разговоров П. Б. Особенности сорбции ионов тяжелых металлов биополимерами полисахаридной и полиамидной природы. DOI: 10.31857/S0044185623700298 // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2023. Т. 59. № 3. С. 231–243.

17. Кострюкова Н. В., Мельникова А. С., Платонова А. М. Анализ сорбирующих характеристик модифицированного отхода сахарного производства // Вестник НЦБЖД. 2022. № 3(53). С. 108–116.

18. Муратова А. Р., Кострюкова Н. В. Анализ сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти // Россия и мировое сообщество: проблемы демографии, экологии и здоровья населения : сб. статей VII междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 15–16 июля 2024 г. Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2024. С. 154–159.

19. Binding of divalent metal cations by sugar-beet pulp / V. M. Dronnet, C. M. G. C. Renard, M. A. V. Axelos, J.-F. Thibault. DOI: 10.1016/S0144-8617(97)00055-6 // Carbohydr. Polym. 1997. Vol. 34. No. 1–2. P. 73–82.

20. Лисичкин Г. В., Кулакова И. И. Ликвидация аварийных разливов нефти: состояние и проблемы (обзор). DOI: 10.31857/S0044461822090018 // Журнал прикладной химии. 2022. Т. 95. № 9. С. 1082–1110.

21. Грошева С. В. Шлапак С. А., Тихонова И. О. Новые сорбенты из крупнотоннажных агропромышленных отходов // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. Киров, 18–19 ноября 2024 г. Киров: Вятский государственный университет, 2024. С. 43–46.

22. Sugar-beet pulp pectin gels as biosorbent for heavy metals: preparation and determination of biosorption and desorption characteristics / Y. N. Mata, M. L. Blázquez, A. Ballester, et al. DOI: 10.1016/j.ces.2009.01.001 // Chem. Eng. J. 2009. Vol. 150. No. 2–3. P. 289–301.

23. Получение сорбирующего материала на основе жома сахарной свеклы / С. В. Мещеряков, И. С. Еремин, Д. О. Сидоренко и др. DOI: 10.33285/2411-7013-2019-6(291)-10-16 // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2019. № 6 (291). С. 10–16.

24. Исследование отхода от переработки сахарной свеклы в качестве сорбционного материала минеральных масел / И. Г. Шайхиев, С. В. Степанова, К. И. Шайхиева, А. И. Мавлетбаева // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 17. С. 258–261.

25. Биокомпозитные материалы для очистки водных сред, загрязненных углеводородами / Е. А. Иванова, Е. С. Лобакова, Р. К. Идулатов и др. DOI: 10.1134/S0028242119030080 // Нефтехимия. 2019. Т. 59. № 3. С. 297–303.

26. Биокомпозитные материалы для ликвидации разливов нефти в арктических условиях / Х. С. Джабраилова, Л. Э. Алескерова, Т. Н. Шапиро и др. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2024. № 5 (320). С. 6–17.

ОТВАЛЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА – НАКОПЛЕННЫЙ ВРЕД ИЛИ ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

А. И. Сафонов

Донецкий государственный университет,

andrey_safonov@mail.ru

Актуализированы вопросы необходимости рекультивации или структурной реорганизации характерных для территории Донбасса техногенных образований, встроенных в ландшафт, – отвалов угольных шахт. Терриконы и терриконики представляют собой долгосрочно неиспользуемый объект накопленного вреда как побочный продукт горнодобывающей промышленности. Перспективы многофункциональной перестройки должны быть сформулированы учёными, чтобы после военных событий была незамедлительная возможность их реализации.

Ключевые слова: терриконы, Донбасс, рекультивация, диагностика природных сред, техногенез, объекты накопленного вреда.

На сегодня Донбасс по праву можно назвать старопромышленным регионом с отложенным эффектом ожидаемой постконфликтной реанимации природных, социальных и технологических конструктов. Начавшийся в 50–60-е годы XX века период индустриализации в юго-западных частях СССР повлек за собой и сопутствующие сферы интеллектуальной занятости, направленные на повышение благосостояния и нормализации жизни при сложившихся условиях высокой промышленной нагрузки на окружающую человека среду: как на производстве, так и в местах постоянного проживания.

Накопленные отходы горнодобывающей, металлургической и сопряжённых с ними многих видов промышленности стали неотъемлемой частью городских и селитебных ландшафтов, формируя при этом контрастную мозаичность встроенного в быт человека техногенеза в непосредственной близости со всеми объектами социальной инфраструктуры. Только на территории г. Донецка насчитывается более 150 породных отвалов, из которых как минимум 20 имеют статус актуально горячих.

Цель работы – на основании обоснования существующей острой проблемы техногенной нагрузки на природные системы в Донбассе, осложненной военными событиями, провести доступные для исследования ботанико-экологические мониторинговые работы по оценке состояния терриконов и террикоников в Центральной части Донбасса. В дальнейшей перспективе такая

информация может стать основой для разработки и внедрения технологических приёмов рационального природопользования в территориальном и вещественно-ресурсном аспектах.

Современные инженерные предложения по способам переработки угольных отходов разнообразны и находят своё применение в промышленно развитых регионах [1, 2]. При этом в любой комплексной программе по реабилитации важным звеном квантификации является состояние растительного покрова [3] по видовому богатству разных таксономических групп и степени комплектации ими экологических ниш в фитоценотическом отношении. Помимо освободившейся территории (в том числе в центре городских агломераций) наибольшую перспективу рассматривают для получения концентрированного сырья с последующей целевой экстракцией редких и редкоземельных элементов [4]. Активно ведутся разработки по изучению состояния древесного и кустарникового состава из числа интродуцированных в Донбасс видов декоративных растений [5] также в контексте климатических трансформаций.

Учитывая востребованность тематического направления по оценке урбанизированных территорий на основании результатов химико-аналитического контроля повсеместно для регионов России [6], нами также инициированы работы по сбору растительных образцов для их ингредиентного анализа и выделения специфики биогеохимических процессов на локальном уровне в каждом конкретном техногенном объекте [7], было предложено проверить наличие совпадающих фитохимических профилей для 56 проанализированных химических элементов в тканях растений, имеющих доминирующих статус при формировании травянистого породо-почвопокровного защитного слоя в обязательной процедуре минимально требуемых рекультивационных подходов [8]. В реализации такой задачи полезным был отечественный опыт геостратегической оценки неблагоприятных факторов среди как для нео-техногенных объектов [9], так и непосредственно в урбанизированных экосистемах [10].

Благодаря наличию в регионе аттестованной лаборатории на кафедре аналитической химии Донецкого государственного университета (метод атомно-абсорбционной спектроскопии), а также помощи ведущих мировых лабораторий в Объединённом институте атомных исследований – нейтронно-активационный анализ (г. Дубна) и Институте геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН – масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (г. Москва) были проанализированы образцы индикаторных видов растений, имеющих значимость для реализуемого в Донбассе многолетнего экологического фитомониторинга. При этом проведены как наземные инвентаризационные геоботанические описания, так и получены сведения с использованием технологий спутникового зондирования характере проектного покрытия на поверхности отвалов угольных шахт – в местах непосредственного отбора проб для химического анализа.

Для 60 терриконов было определено наличие характерных 8 фитогеохимических профилей по рядам накопления элементов:

- 1) $Zn > Mn > Ba > Sr > Ti > B > Cu > Rb > Li > Mo > Cr > Ce > Pb \dots;$
- 2) $Mn > Ba > Zn > Sr > B > Rb > Ti > Cu > Li > Mo > Ni > Pb > Ce \dots;$

- 3) Mn > P > Zn > Cu > Mo > Ni > Pb > Cr > La > Co > Se > As > Cd ...;
- 4) Zn > Mn > P > Cu > Co > Pb > Mo > Ni > Cr > La > Se > As > Cd ...;
- 5) Cu > Mn > P > Zn > Ni > Pb > Mo > Cr > La > Co > As > Se > Cd ...;
- 6) P > Mn > Zn > Cu > La > Mo > Ni > Pb > Cr > Co > Se > As > Cd ...;
- 7) Mn > P > Zn > Ni > Cu > Co > Mo > Pb > Cr > La > Se > As > Cd ...;
- 8) Zn > Mn > Li > Co > Sr > Ti > B > Cu > Nd > Mo > Cr > La > Sc ...

Это свидетельствует в первую очередь о принадлежности разных отвалов к единым геологическим образованиям, однако в условиях военных событий регистрируемые аномалии по накоплению в растительных образцах также позволяют проводить дифференциацию и дополнительного фактора антропогенных трансформаций на фоне устоявшихся геохимических закономерностей. Выявленные особенности должны учитываться при планировании эксплуатации террикона или отражаться на характере использования породы при демонтаже объекта накопленного вреда. Сценарии ресурсоёмких технологий могут отличаться своим целевым назначением:

- для получения строительных материалов транспортной инфраструктуры и(или) возможного композита для формирования бетонных смесей,
- при переработке для заполнения пустот в результате первичной угледобычи в местах её прекращения,
- для экстракции редких и редкоземельных элементов,
- при последующем многоцелевом использовании породы в детализированной практике химических технологий, например, получения сорбентов, синтеза биологически активных веществ, органических удобрений и прочего.

На сегодня все элементы положительного ландшафта на территории Донецкой Народной Республики представляют собой стратегически значимые объекты как опорно-информационные пункты защиты от непрекращающихся обстрелов. Проведение полевых исследований в таких условиях ограничивает возможность сбора образцов в полевых условиях, однако с помощью методов спутникового зондирования можно провести анализ состояния объектов накопленного вреда по степени их озеленения как качественного показателя проводимой рекультивации. Установлено, что из 634 терриконов на территории Центрального Донбасса (в пределах административных границ Донецкой Народной Республики) только 480 имеют признаки когда-либо рекультивационных работ, более половины отвалов не имеют проектного покрытия (естественно или искусственно сформированного) растениями даже на 40% от всей поверхности отвала. Только 140 терриконов можно считать полностью рекультивированными по густоте травостоя и наличию древесно-кустарникового яруса, что для степной зоны Восточной Европы расценивается как успех лесоразведения в аридных условиях, отягощенных токсическим фоном промышленного импакта. Такие элементы рельефа рекомендовано благоустроить в дальнейшем для возможных рекреационных целей, экскурсионных образовательных троп при соблюдении правил экспедиционных выездов на местность. Ботанико-экологические наблюдения позволяют констатировать высокий уровень самовосстановления естественного травянистого покрова для многих участков сукцессионного процесса при правильно выполненных начальных этапах ремедиа-

ционных работ. Рекламные идеи благоустроить некоторые терриконы для мест горнолыжного спорта на сегодня рассматриваются как экономические нецелесообразные в связи с трансформацией климата.

Также в обязательном порядке рекультивационные работы в Донбассе нужно предусматривать и для других объектов накопленного вреда: отвалов коксохимического производства, шлаковые отвалы разного генезиса, накопители жидких химических отходов производства с полуразрушенными дамбами, могильники токсических отходов химических заводов. На сегодня вопросы размещения отходов всех классов опасностей так же для территории ДНР являются нерешенной проблемой из-за непрекращающихся военных событий и опасности проведения каких-либо восстановительных работ. Из имеющихся возможностей рекомендовано проводить ремедиационные мероприятия на основании травосмесей из аборигенных видов, семенной материал которых сформирован в условиях геохимического контраста и имеет ряд приспособительных признаков для выживания в особо стрессовых условиях.

В качестве перспектив для био-исследований в техногенных объектах на территории Донбасса важно выделить не апробированные в ДНР, но проводимые в других промышленно трансформированных регионах микробиологические и молекулярно-генетические технологии, позволяющие увеличить скорость восстановительных работ в антропогенно измененных экотопах.

Библиографический список

1. Коленчуков О. А., Михайлов А. Ю., Бухтояров В. В. Исследование современного состояния и аспектов развития перспективных технологий переработки угольных отходов. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-5-41-48 // Уголь. 2025. № 5 (1193). С. 41–48.
2. Методология исследования свойств угольных отходов для оценки их пригодности в строительстве / Б. П. Куликов, А. И. Безруких, И. Л. Константинов и др. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-10-30-34 // Уголь. 2025. № 10 (1198). С. 30–34.
3. Мониторинг растительности в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов / Е. А. Домнина, Е. В. Дабах, Т. Я. Ашихмина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2025-2-063-071 // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 2. С. 63–71.
4. Извлечение угольного концентрат из отходов углеобогащения как подготовка к выделению редких и редкоземельных элементов / А. В. Таскин, Д. Р. Федотов, А. Л. Шкуратов и др. DOI 10.18796/0041-5790-2024-4-40-44 // Уголь. 2024. № 4 (1179). С. 40–44.
5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025623667 РФ. Эколого-биологические особенности и реакция древесно-кустарниковых интродуцентов в зеленых насаждениях городов Донбасса на климатотехногенный прессинг : заявл. 19.08.2025 : опубл. 05.09.2025 / В. О. Корниенко, И. Ф. Пирко, А. О. Шкиренко ; ДонГУ. 26 с.
6. Химический состав почв и растений урбанизированных территорий Арктики (на примере муниципального образования Новый Уренгой) / М. Г. Опекунова, А. Ю. Опекунов, С. Ю. Кукушкин и др. DOI 10.18412/1816-0395-2025-8-58-65 // Экология и промышленность России. 2025. Т. 29. № 8. С. 58–65.
7. Сафонов А. И., Догадкин Д. Н., Неспирный В. Н. Фитогеохимические особенности некоторых отвалов угольных шахт в Донбассе. DOI: 10.5281/zenodo.13758560 // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2024. № 3. С. 86–99.
8. Safonov A. I., Dogadkin D. N., Nespirnyi V. N. Intelligent visualization and modeling of phytogegeochemical profiles of industrial dumps in Donbass. DOI: 10.18485/ecologica.2025.32.118.5 // Ecologica. 2025. Vol. 32. No. 118. P. 122–128.

9. Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34.

10. Епринцев С. А., Шекоян С. В., Виноградов П. М. Оценка неблагоприятных факторов окружающей среды урбанизированных территорий Центральной России. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-1-157-168 // Региональные геосистемы. 2025. Т. 49. № 1. С. 157–168.

МЕТОДИКА ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ИОНОВ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

***В. С. Сибирцев^{1, 2}, В. А. Щербакова¹, М. Ю. Авраменко¹, С. Н. Глебов²,
Е. С. Патрина¹, С. Н. Бармашов³***

¹ Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, vs1969r@mail.ru,

² Институт аналитического приборостроения,

³ Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет

В этой работе описана экспрессная инструментальная методика биотестирования токсических факторов окружающей среды (предусматривающая регистрацию динамики изменений pH жидкой питательной среды, инкубуируемой в присутствии и в отсутствии жизнеспособных тестовых микроорганизмов и тестируемых образцов, с последующей математической обработкой получаемых данных), с помощью которой была произведена оценка влияния ионов Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} и Ba^{2+} на жизненную активность *Lactobacillus acidophilus*.

Ключевые слова: микробиологическое тестирование, потенциометрия, ионы щелочноземельных металлов, токсические факторы окружающей среды.

Ионы металлов играют важную роль в жизнедеятельности любого живого организма. При этом ионы щелочных металлов участвуют в работе клеточных насосов, обеспечивающих градиент ионной силы, а также электрохимического потенциала между средой, окружающей клетку, и гиалоплазмой последней. А ионы большинства остальных металлов помогают формировать и регулировать пространственную структуру как простых белков, так и сложных белковых комплексов, выполняющих в живых организмах ферментативные, транспортные, структурные и иные важнейшие функции.

Деятельность человека приводит к значительному изменению водно-катионного состава различных водоёмов и территорий. Это является одним из важных факторов, влияющих на состояние экосистем таких территорий. Ионы щелочноземельных металлов (особенно такие как Mg^{2+} и Ca^{2+}) являются одними из наиболее распространённых катионов (помимо H^+ , Na^+ и K^+), встречающихся как в окружающей среде, так и в составе любого живого организма. А микроорганизмы являются, во-первых, основой любой экосистемы, во-вторых – достаточно адекватной для многих случаев моделью любых других

живых организмов (включая человеческий). Вследствие чего, знание основных условий взаимодействия между окружающей средой и микроорганизмами позволит разработать более надёжные и адекватные системы оценки экологической безопасности среды.

Поэтому актуален вопрос оценки воздействия различных концентраций ионов щелочноземельных металлов на активность *Lactobacillus acidophilus* (ТМ). Данные микроорганизмы выбраны нами в качестве тестового объекта, так как они широко распространены в природе (активно участвуют в деструкции различных отходов человеческой жизнедеятельности), а также являются типичными представителями микробиоты человека и многих животных.

Принятые в настоящее время в качестве стандартных при микроботестировании процедуры оценки общей выживаемости микроорганизмов требуют значительных затрат материалов и времени квалифицированного персонала. При этом исследователь получает довольно субъективную и «статичную» информацию о летальных нарушениях жизнедеятельности тестовых организмов.

Поэтому для оценки влияния исследуемых катионов металлов на динамику жизнедеятельности ТМ на основании уже имевшихся авторских разработок в области микробиологического тестирования [1–9] нами разработана экспресс-сная инструментальная мультипараметрическая потенциометрическая методика. Проведено три серии измерений, в каждой из которых исследовалась кинетика роста ТМ в 45 измерительных ёмкостях (ИЕ). При этом сначала в каждую из ИЕ (кроме № 1–3, используемых в качестве контроля) добавлялось (по 3 ИЕ в параллель) по 0,2 мл водного раствора, содержащего нужную концентрацию хлорида интересующего нас металла. После этого туда же добавлялось по 10 мл тестовой среды (ТС: водный раствор, содержащий 5 г/л глюкозы, 18 г/л белкового гидролизата, 2 г/л *NaCl* и 20 об.% закваски, содержащей около 10^7 кл/мл жизнеспособных *Lactobacillus acidophilus* ATCC 4356). Затем все ИЕ инкубировались в течение 3-х часов при $40,0 \pm 0,1$ °С. До и через каждый час после начала инкубации у ТС, содержащихся в каждой из ИЕ, с помощью иономера «Эксперт-001» с комбинированным электродом «ЭСК-10601/7», регистрировалось значение pH. После чего общая степень ингибирования жизнедеятельности ТМ заданными концентрациями ионов щелочноземельных металлов рассчитывалась по формуле:

$$\varepsilon_M = 0,55 \varepsilon_1 + 0,30 \varepsilon_2 + 0,15 \varepsilon_3,$$

где $\varepsilon_K = 100 [\sum_i (pH_{T,k,i} - pH_{T,k-1,i}) / \sum_j (pH_{C,k,j} - pH_{C,k-1,j}) - 1]$, $pH_{T,k,i}$ и $pH_{C,k,j}$ – pH ТС в *i*-тестовой (*T*) и *j*-контрольной (*C*) ИЕ (*i, j=9*) через *k* часов после начала их инкубации; а весовые коэффициенты в формуле для ε_M определялись по «методу главных компонент».

Плюс, дополнительно, по стандартной методике (предусматривающей визуальный подсчёт колоний ТМ, выросших после 24 ч их инкубации при $35,0 \pm 0,1$ °С в присутствии и в отсутствии заданных концентраций исследуемых ионов металлов на плотной ТС, имеющей тот же состав, что и использовавшаяся нами жидкую ТС, но с добавлением 20 г/л микробиологического агар–агара) для каждой из заданных концентраций исследуемых ионов металлов определялся аналогичный ε_M параметр:

$$\varepsilon_s = 100 (N_C \Sigma_i K_{t,i}) / (N_T \Sigma_j K_{C,j}) - 100,$$

где $K_{t,i}$ и $K_{C,j}$ – количество колоний ТМ, выросших в i -тестовой (T) и j -контрольной (C) чашках Петри, а N_T и N_C – общие количества усредняемых «тестовых» и «контрольных» чашек Петри. В результате чего мы удостоверились, что между параметрами ε_M и ε_s имела место линейная корреляция с достоверностью 75%.

В итоге нами были сделаны следующие выводы: по степени убывания ингибирующей (и возрастания активирующей) активности в отношении ТМ ионы щелочноземельных металлов можно выстроить в следующий ряд: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Sr}^{2+}$. При этом ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} в концентрации 0,03 М ингибирировали жизнедеятельность *L. acidophilus* на 35 и 56 % соответственно. При концентрациях Ca^{2+} и Mg^{2+} , равных 0,01 М, наблюдалось 12 и 23% ингибирирование жизнедеятельности *L. acidophilus*; а при концентрациях Ca^{2+} и Mg^{2+} , равных 0,003 М, имело место 3 и 2% активирование жизнедеятельности *L. acidophilus*.

В то же время, ионы Sr^{2+} и Ba^{2+} в концентрациях 0,005 М ингибирировали жизнедеятельность *L. acidophilus* на 41 и 26% соответственно, а в концентрациях 0,001 М – на 13 и 0 % соответственно. Тогда как при концентрациях Sr^{2+} и Ba^{2+} равных $2 \cdot 10^{-4}$ М имело место 10 и 17% активирование жизнедеятельности *L. acidophilus*.

Таким образом, методику, описанную в этой работе, можно использовать для общей оценки токсичности многих объектов. Она характеризуется экспрессностью, экономичностью и объективностью.

Библиографический список

1. Sibirtsev V. S., Garabadzhii A. V. Spectral study of the interaction of DNA with benzothiazolyl-benz- α -chromene. DOI: 10.1134/S0006297907080123 // Biochemistry (Moscow). 2007. Vol. 72. No. 8. P. 901–909.
2. Сибирцев В. С. Флуоресцентные ДНК-зонды: исследование механизмов изменения спектральных свойств и особенностей практического применения // Биохимия. 2007. Т. 72. № 8. С. 1090–1106.
3. Сибирцев В. С. Новые методы биотестирования с использованием микроорганизмов // Проблемы медицинской микологии. 2014. Т. 16. № 2. С. 127.
4. Сибирцев В. С., Кулаков А. Ю., Строев С. А. Кондуктометрическое биотестирование в применении к оценке про- и антибактериальных свойств католитов и анолитов. DOI: 10.17586/2226-1494-2016-16-3-573-576 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 3. С. 573–576.
5. Исследование влияния высокочастотных электрических полей на жизнедеятельность микроорганизмов при различной температуре / В. С. Сибирцев, А. Ф. Игнатьева, К. А. Шичкова и др. DOI: 10.17586/2226-1494-2017-17-2-279-286 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 2. С. 279–286.
6. Sibirtsev V. S. Investigation of mechanisms of change in spectral properties during interaction of benzazole, indole, and phenanthridium compounds with DNA. DOI: 10.1364/JOT.84.000294 // J. Opt. Technol. 2017. Vol. 84. No. 5. P. 294–301.
7. Сибирцев В. С., Строев С. А. Оптико-электрохимическая микробиотестовая система оценки токсической безопасности нефтепродуктов. DOI: 10.17586/2226-1494-2019-19-1-74-81 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 1. С. 74–81.

8. Using a conductometric method in microbiological control of natural excipients / E. P. Anan'eva, O. Yu. Bogdanova, S. V. Gurina, V. S. Sibirtsev. DOI: 10.1007/s11094-022-02721-z // Pharm. Chem. J. 2022. Vol. 56. No. 6. P. 872–876.

9. Application of impedance technology to the determination of microbial contamination of medicinal plant raw materials / E. P. Anan'eva, O. Yu. Bogdanova, S. V. Gurina, V. S. Sibirtsev. DOI: 10.1007/s11094-023-02967-1 // Pharm. Chem. J. 2023. Vol. 57. No. 6. P. 913–917.

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ

А. В. Скрябин, Д. М. Рыбалко, Н. А. Толмачева, Е. В. Зелинская

Иркутский национальный исследовательский технический университет,

majichi@yandex.ru

Настоящая статья посвящена системному анализу современных методов утилизации буровых отходов с оценкой их технологического потенциала для получения целевых продуктов. Особое внимание уделяется критериям выбора на основании экономической и экологической эффективности процессов. Проведенный анализ позволяет не только классифицировать существующие решения, но и выявить наиболее перспективные направления утилизации отходов в нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: отходы бурения, бурение скважин, буровой шлам, технология, метод, утилизация, шламовые амбары.

К основным этапам строительства скважины относят: проектные и подготовительные работы, монтаж и наладка оборудования, бурение и крепление скважины обсадными колоннами, освоение скважины [1, 2].

Для оценки экологического влияния буровых работ на каждом этапе строительства скважины нами систематизированы ключевые технологические этапы строительства скважин, образующиеся на рассматриваемых этапах отходы, а также другие негативные воздействия на окружающую среду (ОС).

Основные источники потенциального загрязнения окружающей среды включают следующие категории.

1. Технологические растворы для бурения и цементирования скважин.
2. Химические реагенты и материалы, применяемые при приготовлении и обработке растворов.
3. Отработанный буровой раствор, буровые сточные воды и выбуруенный шлам.
4. Технологические жидкости, используемые при испытаниях скважин.
5. Продукты сгорания топлива котельной установки и двигателей внутреннего сгорания (ДВС).
6. Горюче-смазочные материалы.
7. Хозяйственно-бытовые сточные воды и твердые бытовые отходы.

Среди всех видов производственных отходов, формирующихся в процессе строительства скважин, буровые отходы занимают доминирующее положение по объёму образования.

В структуре этих отходов особое место занимают буровой шлам, отработанный буровой раствор и буровые сточные воды, что обусловлено их значительной массой в общем балансе и комплексным подходом для последующей их утилизации.

Буровой шлам – это совокупность твердых частиц разрушенной горной породы, выносимых из ствола скважины на поверхность циркулирующим буровым раствором в процессе углубления забоя.

Отработанный буровой раствор – это технологическая жидкость, утратившая свои реологические и физико-химические свойства в процессе циркуляции в системе «скважина–поверхность» и не соответствующая более требованиям для дальнейшего использования по прямому назначению.

Буровые сточные воды представляют собой технологические стоки, образующиеся при промывке оборудования и буровой площадки. Данные воды характеризуются наличием остаточных количеств буровых растворов, химических реагентов и углеводородов. Высокая миграционная способность и способность аккумулировать поллютанты обусловливают их статус одного из наиболее экологически опасных отходов бурения, потенциал которого заключается в риске масштабного загрязнения компонентов лito- и гидросферы. Степень негативного воздействия напрямую детерминирована химическим составом применяемых буровых растворов и литологией [3].

Экологическая опасность данных отходов обусловлена сложным химическим составом, включающим широкий спектр загрязняющих веществ минерального и органического происхождения.

Количество и состав образующихся отходов при строительстве скважин зависит от применяемой технологии бурения, глубины бурения скважин, типа и рецептуры используемых растворов (используемых химических реагентов и материалов при приготовлении и обработке), физико-механических характеристик и минерального состава разбуриваемых горных пород [4]. Кроме того, по данным исследований [5–8], буровые отходы в своем составе могут содержать тяжелые металлы (медь, никель, цинк, свинец, марганец и др.) и нефтепродукты, в некоторых случаях показатели превышают ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК).

Отсутствие регламентированной системы управления данными отходами создает прямую угрозу загрязнения всех ключевых компонентов окружающей среды – литосферы, гидросферы и атмосферы, обусловливая высокую актуальность решения проблемы их экологически безопасной утилизации.

Помимо этого, растущие экологические стандарты нефтегазодобычи обусловливают потребность в эффективных технологиях управления буровыми отходами. В статье представлен комплексный обзор современных методов утилизации.

Выбор оптимальной технологии утилизации отходов бурения основан, прежде всего, концентрацией углеводородов в отходе, а также экологическими

и экономическими критериями. К числу ключевых факторов, подлежащих учету на стадии принятия технологического решения, относятся применяемая технология бурения, конструктивные особенности шламового амбара, компонентный состав отхода, географическая составляющая объекта, а также близость к территориям с особым природоохранным статусом.

Перспективным подходом является использование буровых шламов в качестве исходного сырья для получения строительных материалов, грунтовых смесей, материалов для отсыпки внутрипромысловых дорог и буровых площадок. Грунты, используемые в дорожном строительстве, должны отвечать определенным требованиям для обеспечения безопасности и долговечности дорожных конструкций.

Предметом наших исследований является буровой шлам, накопленный в шламовых амбара. Для изучения был взят нижний – придонный слой отстойника и материал из потока (со скважины). Изучены свойства буровых шламов с двух месторождений Иркутской области. В некоторых пробах шлама установлено наличие тяжелых металлов, ряд из которых превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) для почв, а также высокие содержания нефтепродуктов. Определен гранулометрический состав, влажность шлама.

На основании изучения литературы источников и патентной информации, а также справочников по Наилучшим доступным технологиям выбраны наиболее приемлемые с точки зрения доступности материалов и необходимых условий реализации технологии получения техногрунта. Разработан ряд рецептур для получения техногрунта. Предложена схема эксперимента по получению техногрунта в лабораторных и промышленных условиях.

В лабораторных условиях получены образцы техногрунта из буровых шламов. В ряде образцов техногрунта получено превышение показателей ПДК для почв по ряду тяжелых металлов. Пробы, полученные из «чистых» проб показали высокое качество техногрунта, как по физико-механическим свойствам, так и соответствие нормативам по показателям содержания тяжелых металлов.

Таким образом, проведение исследований состава и свойств полученного техногрунта позволяет дать обоснованную оценку его качества и определить возможности его использования в конкретных строительных проектах. Это будет способствовать обеспечению качественной и экологически безопасной деятельности при проведении буровых работ.

Библиографический список

1. Печенкин В. А. Технология бурения скважин: последовательность операции на нефтяном пласте // Вестник науки. 2022. № 12. С. 326–330.
2. Ишанов Е. Н., Сарбопеева М. Д. Анализ строительства скважин и методов освоения DOI: 10.24412/2712-8849-2025-586-1873-1885 // Вестник науки. 2025. Т. 3. № 5 (86). С. 1873–1885.
3. Промышленная безопасность строительства и реконструкции скважин / В. И. Балаба, И. Р. Василенко, А. И. Владимиров и др. М. : Национальный институт нефти и газа, 2006. 456 с.

4. Геоэкологические проблемы утилизации отходов нефтегазовой отрасли на крайнем севере России / В. А. Щерба, А. В. Мазаев, Д. В. Удалая и др. DOI: 10.24411/1728-323X-2020-14100 // Проблемы региональной экологии. 2020. № 4. С. 100–106.

5. Гаевая Е. В. Комплексная геоэкологическая оценка буровых шламов и подходы к их утилизации. DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-2-219-230 // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 2. С. 219–230.

6. Анализ отходов нефтепереработки как компонентов вторичного рекультивационного сырья / Н. А. Коршикова, А. И. Байтелова, В. А. Солопова, В. М. Якупов. DOI: 10.24412/1816-1863-2022-3-57-63 // Экология урбанизированных территорий. 2022. № 3. С. 57–63.

7. Тарасова С. С., Гаевая Е. В. Исследования токсичности буровых шламов и возможности их утилизации. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-3-75-79 // Проблемы региональной экологии. 2021. № 3. С. 75–79.

8. Нефешламовые амбары как объекты накопленного вреда окружающей среде и источники риска для здоровья населения / И. В. Май, Е. В. Максимова, Р. М. Термулаева и др. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1283-1289 // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 11. С. 1283–1289.

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В БИОЭТАНОЛ И ТВЕРДОЕ ТОПЛИВО

Д. В. Тарабукин, И. В. Новаковская

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, *dim1822@yandex.ru*

В статье предложен подход к переработке целлюлозы из упаковок Gable Top и Tetra Pak. Ферментативный гидролиз позволил превратить до 24% массы целлюлозы в восстанавливающие сахара и сбродить их в спирт-сырец. Негидролизованный остаток использован для производства топливных пеллет, а побочный продукт брожения СО₂ – для культивирования микроводорослей.

Ключевые слова: отходы упаковок, ферментативный гидролиз, биоэтанол, твердое топливо, микроводоросли, углекислый газ.

Упаковочные материалы серии Gable Top и Tetra Pak представляют собой потенциальный источник вторичного сырья для производства биотоплива второго поколения [1, 2]. Целлюлозная составляющая упаковок может быть эффективно превращена в моносахара посредством кислотного или ферментативного гидролиза [3]. Тем не менее, композитная природа упаковки создает трудности при выделении целевой биомассы, требуя значительных ресурсов и энергии [4].

Цель работы: разработка комплексного биотехнологического подхода к переработке целлюлозосодержащей фракции упаковок Gable Top и Tetra Pak с получением биоэтанола и сопутствующих продуктов.

Проведена механическая и щелочная предварительная обработка упаковок для выделения целлюлозной массы. Ферментативный гидролиз с применением целлюлазного комплекса *Trichoderma reesei* использовали для получения

восстанавливающих сахаров, которые сбраживали дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* в этанол. Побочный продукт брожения CO₂ улавливали методом хемосорбции карбонатом натрия и, в дальнейшем, использовали для стимуляции роста микроводорослей. Непрогидролизованный остаток целлюлозосодержащей фракции перерабатывался в твердые виды топлива.

Повышение концентрации NaOH на предварительном этапе повышает реакционную способность целлюлозы, но ведет к увеличению стоимости переработки. Использование ферментативного гидролиза позволило успешно конвертировать легкодоступную долю выделенной из упаковок целлюлозы в моносахара. Выход этанола, полученный из целлюлозных гидролизатов, сопоставим с выходом из чистой глюкозы. Образующаяся в процессе спиртового брожения двуокись углерода эффективно использовалась для ускорения роста микроводорослей. Непрогидролизованный остаток целлюлозы обладает хорошей энергоёмкостью и подходит для изготовления экологически чистого твёрдого топлива.

Таким образом, переработка использованных упаковочных материалов представляет собой устойчивый путь для производства возобновляемого биотоплива и твёрдых видов топлива. Комплексный подход, сочетающий биологическую обработку и утилизацию отходов, является технически осуществимым и способствует повышению экономической эффективности утилизации целлюлозосодержащих отходов.

Библиографический список

1. Тарабукин Д. В. Биоконверсия целлюлозосодержащих фракций упаковочных материалов в простые сахара. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-9-80-83 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 4. С. 80–83.
2. Тарабукин Д. В., Патова Е. Н., Новаковская И. В. Перспективы глубокой переработки бумажного шлама с использованием ферментов, микроводорослей и дрожжей. DOI: 10.37482/0536-1036-2024-2-166-177 // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2024. № 2. С. 166–177.
3. Mild sodium carbonate pretreatment of wheat straw for improving cellulose and xylan enzymatic hydrolysis / Z. Ruonan, M. Yang, J. Yin, et al. DOI: 10.1016/j.indcrop.2025.120728 // Industrial Crops and Products. 2025. Vol. 227. Article No. 120728.
4. Recovery, separation and production of fuel, plastic and aluminum from the Tetra Pak waste to hydrothermal and pyrolysis processes / M. J. Muñoz-Batista, G. Blázquez, J. F. Franco, et al. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.11.007 // Waste Management. 2022. Vol. 137. P. 179–189.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗООГУМУСА НАСЕКОМЫХ ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ *HERMETIA ILLUCENS*

А. Д. Уткин, Г. И. Сутула, Я. В. Пухальский, С. И. Лоскутов

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок –
филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем
имени В. М. Горбатова» РАН, acipenser2018samara@yandex.ru

Нами был проведен качественный анализ микробиологического состава зоогумуса личинок черной львинки в зависимости от разных типов диет. В числе прочих были идентифицированы штаммы, перспективные с биотехнологической точки зрения, такие как *Heyndrickxia sporothermodurans* и *Heyndrickxia oleronia*. В частности, *H. oleronia* может быть продуцентом антимикробных пептидов (АМП), таких как амилоциклин, фенгицин и др., что можно предположить, опираясь на данные молекулярной филогении по близкородственным видам и штаммам этой бактерии. АМП могут применяться в медицине в качестве замены конвенциональным антибиотикам, а также пищевой промышленности в роли заменителей химических консервантов.

Ключевые слова: *Hermetia illucens*, *Heyndrickxia sporothermodurans*, *Heyndrickxia oleronia*, биоконверсия, микробиом, зоогумус насекомых.

Черная львинка (*Hermetia illucens*) является перспективным объектом для биоконверсии органических отходов. Ключевую роль в этом процессе играет симбиотическая микрофлора желудочно-кишечного тракта личинок. Анализ микробиома зоогумуса представляет собой доступный метод исследования облигатной микробиоты *Hermetia illucens* и оценки его биотехнологического потенциала.

Цель работы. Провести качественный анализ микробиологического состава зоогумуса личинок черной львинки (*Hermetia illucens*), выращенных на различных субстратах, с выделением перспективных штаммов микроорганизмов.

Материалы и методы. Личинки чёрной львинки были взяты для исследований из маточной колонии насекомых, содержащихся в инсектарии лаборатории промышленных биотехнологических инноваций Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок (Санкт-Петербург, Россия). До эксперимента насекомые выращивались при температуре 27 ± 2 °С и относительной влажности воздуха $50\pm10\%$. Для кормления использовались пшеничные отруби (ГОСТ 7169-2017, пищевая ценность на 100 г продукта: белки – 16,0 г; жиры – 4,0 г; углеводы – 65,0 г), смешанные с водой в соотношении 1:2 по массе.

С зоогумуса проводили микробиологические смыки с последующим посевом на твердые агаризованные среды методом истощающего штриха [1] в диапазоне разведений от 10^{-2} до 10^{-9} КОЕ. Из выросших колоний выделяли ДНК для последующего секвенирования.

В качестве основного метода выделения ДНК использовался комбинированный метод (набор «Сорб-ГМО-Б», СИНТОЛ, Россия) основанный на освобождении ДНК из клеток с помощью цетилtrimетиламмония (ЦТАБ), экстракции хлороформом, сорбции ДНК на сильконизированных частицах и осаждение ДНК в присутствии осаждающего реагента. Комбинирование метода ЦТАБ и сорбентно-осаждающего метода выделения ДНК обеспечивает высокую эффективность экстракции ДНК. Полученная ДНК была использована в качестве матрицы для проведения амплификации фрагментов гена 16S rРНК и их секвенировании. При амплификации были использованы универсальные праймеры 27f AGAGTTGATCMTGGCTCAG / 1525r AAGGAGGTGWTCCARCC [2]. Для образцов, не давших ответ с этими праймерами были использованы другие, амплифицирующие фрагмент меньшего размера, 515f GTGCCAGCMGCCGCGTAA [3] и 806r GGACTACVSGGGTATCTAAT [4].

ПЦР проводили в амплификаторе MyCycler™ (Bio-Rad, США) при следующем режиме: предварительная денатурация (95 °C) – 3 мин; денатурация (95 °C) – 30 с, отжиг праймеров (55 °C) – 30 с, элонгация (72 °C) – 1 мин (всего 35 циклов, элонгация – 5 мин), с использованием Encyclo-полимеразы (Evrogen, Москва). Секвенирование проводилось на приборе 3500xL Genetic Analyzer (Applied Biosystems™), согласно рекомендациям производителя, с праймерами, использованными при амплификации.

Результаты. На данный момент существует множество исследований, посвященных изучению личинок *Hermetia illucens*, число которых продолжает расти. В одном систематическом обзоре [5] обобщены результаты многих работ по этой теме по состоянию на 2024 год. Большинство авторов отмечают корреляцию состава микробиоты от рациона кормления и условий содержания *Hermetia illucens* [6, 7].

В рамках нашей работы, мы выращивали личинок *Hermetia illucens* на 5 типах пищевого субстрата:

1. Стандарт: смесь из пшеничных отрубей с добавлением воды в соотношении 1:2 по массе.
2. Пивная дробина: пивная дробина и дрожжи.
3. Отходы кулинарии: смесь приготовленных риса, картофеля, различных макаронных изделий, курицы, моркови, бутербродов, сыра, лука и других ингредиентов.
4. Кофейный жмых: смесь пшечичных отрубей, в сочетании с кофейным жмыхом в необходимом количестве.
5. Грибной мицелий: отходы производства лимонной кислоты (мицелий *Aspergillus niger*)

С полученного зоогумуса, проводили микробиологические смывы на основании методики твердого истощающего посева Нетрусова [1] в разведении от 10^{-2} до 10^{-9} КОЕ, и проводили посев истощающим штрихом на твердную агаризованную среду. С культур, полученных при разведении 10^{-4} КОЕ, удалось отобрать отдельные колонии для посева истощающим штрихом.

Из культуральной биомассы с чашек Петри были выделены образцы ДНК для секвенирования.

Ранее нами уже проводилось секвенирование образцов ДНК бактерий, полученный из зоогумуса, питавшимися пшеничными отрубями, тогда среди мажорных видов преобладали бациллярные формы (в частности, *Heyndrickxia sporothermodurans*, *Heyndrickxia oleronia* и *Brucella pseudointermedia*), среди ми-норных видов есть расхождения (отмечено присутствие энтерококков, лакто-бактерий и пр.), патогенных форм обнаружено не было.

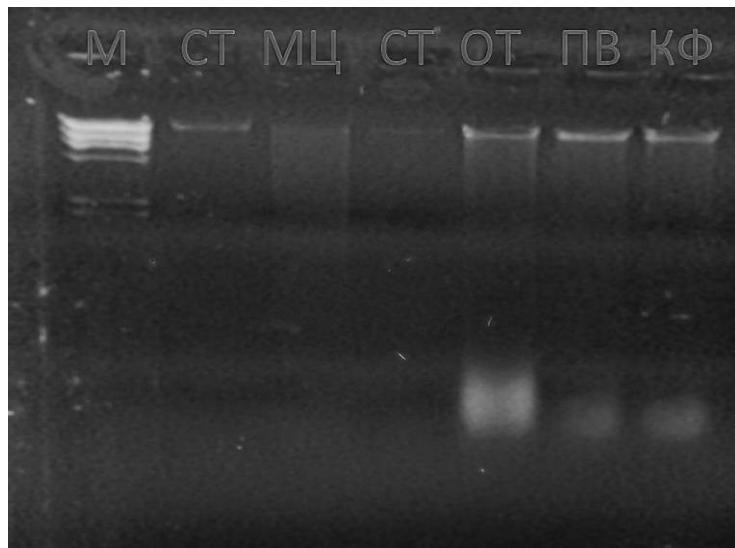


Рис. 1. Гель-электрофорез образцов ДНК со смызов зоогумуса:
М – маркер (100 кб), СТ – стандарт; МЦ – мицелий, ОТ – отходы кулинарии;
ПВ – пивная дробина; КФ – кофейный жмых

Выделение бактериальной ДНК проводилось с помощью 2 разных методов, поставляемых в составе наборов фирмы «Евроген» (выделение на спин-колонках с использованием частиц SiO_2) и «СИНТОЛ» (метод ЦТАБ в сочетании с сорбентно-осаждающим методом). По результатам гель-электрофореза (рис. 1) метод ЦТАБ показал более стабильный выход бактериальной ДНК, и был выбран основным для дальнейшей работы.

Отмеченные нами виды микроорганизмов описаны относительно недавно [7], однако согласно данным молекулярной филогении [8], среди их близких родственников есть продуценты биологически активных пептидов с антимикробными свойствами [9], такими как амилоциклицин и фенгицин.

На данный момент проведено комплексное изучение зоогумуса личинок с применением ПЦР, микробиологических посевов и секвенирования, питавшихся смесью чистых пшеничных отрубей. Данные по другим субстратам будут дополняться в ходе дальнейшей работы, и станут основой более крупного исследования.

Библиографический список

1. Нетрусов А. И., Егорова М.А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М. : Академия, 2005. 608 с.
2. Bourrain M., Achouak W., Urbain V. DNA extraction from activated sludges. DOI: 10.1007/PL00006809 // Curr. Microbiol. 1999. Vol. 38. P. 315–319.

3. Parada A., Needham D., Fuhrman J. Every base matters: assessing small subunit rRNA primers for marine microbiomes with mock communities, time series and global field samples. DOI: 10.1111/1462-2920.13023 // Environ. Microbiol. 2015. Vol. 14. P. 1403–1405.
4. Minor revision to V4 region SSU rRNA 806R gene primer greatly increases detection of SAR11 bacterioplankton / A. Apprill, S. McNally, R. Parsons, L. Weber. DOI: 10.3354/ame01753 // Aquat. Microb. Ecol. 2015. Vol. 75. P. 129–137.
5. Shu-Wei L., Shelomi M. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) microbiome and microbe interactions: a scoping review. DOI: 10.3390/ani14223183 // Animals. 2024. Vol. 14. P. 3183–3190.
6. Deciphering the functional diversity of the gut microbiota of the black soldier fly (*Hermetia illucens*): recent advances and future challenges / M. Eke, K. Tougeron, A. Hamidovic, et al. DOI: 10.1186/s42523-023-00261-9 // Anim. Microbiome. 2023. Vol. 5. No. 1. Article No. 40.
7. Characterization of a newly isolated biosurfactant fengycin produced by *Heyndrickxia coagulans* strain / E. Styková, Z. Bedlovičová, N. Š. Hudáková, et al. DOI: 10.1186/s13568-025-01942-1 // AMB Express. 2025. Vol. 15. Article No. 139.
8. Taxonomic evaluation of the *Heyndrickxia* (basonym *Bacillus*) *sporothermodurans* group (*H. sporothermodurans*, *H. vini*, *H. oleronia*) based on whole genome sequences / G. Fiedler, A.-D. Herbstmann, E. Doll, et al. DOI: 10.3390/microorganisms9020246 // Microorganisms. 2021. Vol. 9. No. 2. Article No. 246.
9. *Bacillus acidicola* sp. nov., a novel mesophilic, acidophilic species isolated from acidic *Sphagnum* peat bogs in Wisconsin / R. A. Albert, J. Archambault, R. Rosselló-Mora, et al. DOI: 10.1099/ijns.0.02337-0 // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2005. Vol. 55. P. 2125–2130.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

М. А. Фалевская
ООО «СельхозБиоГаз», *shbiogaz@mail.ru*

В статье сравниваются основные технологии переработки сельхозотходов: компостирование, сжигание, сушка и анаэробное сбраживание. Показано, почему биогазовая технология эффективнее других, и как она позволяет получать энергию и органические удобрения.

Ключевые слова: переработка сельскохозяйственных отходов, анаэробное сбраживание, биогазовая установка, биогаз, эффлюент, органические удобрения, возобновляемая энергия.

По данным Минсельхоза РФ, ежегодно в стране образуется свыше 300 млн т навоза и помёта, не считая растительных остатков, отходов пищевых производств и канализационных стоков. При неправильном хранении органика выделяет метан, сероводород и аммиак, загрязняет грунтовые воды и создаёт санитарно-эпидемиологическую угрозу для населения. Кроме того, из-за высокого содержания влаги и неустойчивости органического вещества отходы быстро теряют питательные элементы, превращаясь из потенциального ресурса в проблему.

Начиная с 2022 г., требования к обращению с отходами ужесточены. Вступили в силу следующие нормативные документы:

- Федеральный закон № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства» (от 14.07.2022 г.);
- Постановление Правительства РФ № 1940 «Об утверждении требований к обращению побочных продуктов животноводства»;
- Федеральный закон № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»;
- Федеральный закон № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
- Постановление № 1096 «О федеральном государственном экологическом контроле».

Эти документы закрепляют необходимость учёта, хранения, утилизации и обезвреживания всех видов органических отходов, включая навоз, помёт и осадки сточных вод.

Согласно ГОСТ 33380-2015 «Удобрения органические. Эффлюент. Технические условия» и ГОСТ 34102-2017 «Удобрения органические на основе органических отходов», конечный продукт переработки должен иметь V класс опасности, быть безопасным для почвы и растений и содержать биологически активные вещества. Таким образом, переработка органики становится не просто вопросом экологии, а условием законопослушного и устойчивого развития сельского бизнеса.

Целью работы является анализ существующих технологий переработки сельскохозяйственных отходов и выявление наиболее эффективных, экологичных и экономически оправданных решений, отвечающих современным требованиям законодательства Российской Федерации.

Объекты исследования: органические отходы животноводства и растениеводства – навоз крупного рогатого скота, свиной навоз, птичий помёт, растительные остатки, отходы пищевой промышленности, осадки сточных вод и канализационные стоки.

Методы:

1. Анализ нормативно-правовой базы РФ в области обращения с отходами.
2. Сравнительный анализ технологий переработки (компостирование, сжигание, сушка, анаэробное сбраживание).
3. Техническое моделирование работы, проверка и настройка технологических процессов переработки органики в биогазовых установках.
4. Наблюдения и производственные испытания на действующих объектах в пяти регионах России.
5. Анализ состава конечных продуктов – биогаза и эффлюента.

Исследования проводились в сотрудничестве с ведущими институтами: Институт биохимии и физиологии микроорганизмов имени Г. К. Скрябина, МГУ имени М. В. Ломоносова, ФНАЦ ВИМ, ФИЦ «Биотехнологии», РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева.

Результаты и обсуждение.

1. Компостирование – аэробное разложение органики при участии бактерий, грибов, актиномицетов, дождевых червей и насекомых. Процесс проходит в четыре фазы: лаг-, мезофильная, термофильная и фаза созревания. Во время компостирования температура внутри массы может достигать 60–70 °C, что

обеспечивает гибель патогенной микрофлоры и семян сорняков. Результатом становится гумусоподобный материал — компост или биогумус.

Преимущества: простота технологии; возможность переработки смеси отходов; невысокие капитальные затраты.

Недостатки: длительность процесса (3–6 мес.); потребность в больших площадях; выбросы CO_2 и NH_3 ; потери азота (до 50%).

Закрытое компостирование в биореакторах сокращает сроки до 30–45 дней, но требует энергии и автоматизации. Метод применим в хозяйствах малой мощности и в качестве дополнительного способа утилизации твёрдой фракции после биореактора [1, 2].

2. Термическая переработка (сжигание, пиролиз, газификация). Твердая органика сжигается или нагревается при высоких температурах (700–1200 °C). При пиролизе процесс проходит без доступа кислорода, образуя биоуголь, жидкое топливо и пиролизный газ. В процессе сжигания объём отходов уменьшается в десятки раз, а выделяемое тепло можно использовать для отопления или выработки электроэнергии.

Преимущества: уменьшение объёма отходов в 20–30 раз; получение тепловой или электрической энергии; уничтожение патогенной микрофлоры.

Недостатки: высокая энергоёмкость; образование выбросов NO_x , CO , SO_2 ; необходимость предварительной сушки; низкая ценность остаточного продукта.

Технология рациональна для отходов, непригодных для биопереработки, например, для муниципальных полигонов и предприятий мясопереработки [1, 2].

3. Сушка – удаление влаги из органики за счёт нагрева воздуха, газа или вакуума. После сушки отходы превращаются в сыпучий материал, удобный для транспортировки и гранулирования. Сушка позволяет стабилизировать состав отходов и увеличить срок их хранения без потери питательных свойств.

Преимущества: уменьшение массы и объёма сырья в 10 раз; обеззараживание продукта; возможность получения гранулированных удобрений или коровьев.

Недостатки: дорогостоящее оборудование; высокий расход электроэнергии; ограниченная применимость для влажных отходов животноводства.

Сушка эффективно дополняет биогазовую технологию – для получения сухих или гранулированных форм эффлюента.

4. Анаэробное сбраживание – биогазовая технология. Процесс проходит в герметичном биореакторе без доступа кислорода. Активная микрофлора разлагает органику на простые соединения, образуя биогаз и эффлюент. Полный цикл длится 12–14 дней (вместо 200 в лагуне).

Этапы биохимического разложения:

1. Гидролиз – расщепление жиров, белков и углеводов.
2. Кислотообразование – образование органических кислот и газов.
3. Ацетогенез – преобразование кислот в уксусную кислоту.
4. Метаногенез – образование метана и CO_2 .

Состав биогаза: метан – 60–80%; CO_2 – 20–40%; H_2O – 2–7%; H_2S – 20–20 000 ppm. Биогаз используется для отопления (газовые котлы); в когенерации

онных установках (тепло + электричество); после очистки — как биометан и моторное топливо.

Состав эффлюента: азот — 3,7%; фосфор — 2,6%; калий — 9,4% (в сухом веществе), а также бор, цинк, медь, марганец, железо, молибден, гуминоподобные соединения и природные стимуляторы роста (ауксины). Эффлюент не содержит семян сорняков и патогенов, относится к V классу опасности.

Преимущества: переработка любого вида органики; сокращение сроков и площадей хранения; полное устранение запахов; получение тепла, электроэнергии и удобрений; снижение класса опасности отходов; уменьшение выбросов CH_4 и NH_3 в атмосферу.

Экономическая эффективность биогазовых комплексов определяется совокупностью факторов.

1. Энергетический эффект. Установка мощностью 50 т/сут вырабатывает до 1200 м³ биогаза, что заменяет 720 м³ природного газа.

2. Сокращение расходов на удобрения. Использование эффлюента снижает потребность в минеральных удобрениях на 30–50%.

3. Снижение платежей за негативное воздействие. Перевод отходов из III–IV в V класс опасности освобождает предприятие от платы за размещение и штрафов.

4. Вторичные продукты. Из твердой фракции получают гранулы и грунты, из жидкой — биомелиоранты и стимуляторы роста, из биогаза — CO_2 для теплиц [3].

Проведённый анализ показал:

1. Компостирование остаётся простым, но малоэффективным при больших объёмах отходов.

2. Сжигание и пиролиз решают задачу обезвреживания, но не создают добавленной стоимости.

3. Сушка может использоваться как вспомогательная операция для производства гранул и кормов.

4. Анаэробное сбраживание — единственная технология, которая одновременно: обеспечивает полную переработку отходов; производит энергию и удобрения; снижает класс опасности до V; соответствует экологическим требованиям.

Таким образом, биогазовые комплексы СБГ представляют собой технологическое решение, позволяющее предприятиям перейти к безотходной и энергоэффективной модели производства, снизить себестоимость продукции и повысить экологическую репутацию [4].

В перспективе широкое внедрение таких комплексов в аграрном секторе России может стать основой региональных программ «Биоэнергетическая деревня», обеспечивающих не только энергонезависимость, но и новое качество сельской среды.

Библиографический список

1. Власов О. А. Технологии переработки отходов. М., Вологда : Инфра-инженерия, 2022. 304 с.
2. Кольцов В. Б. Переработка и утилизация твердых отходов : учебник и практикум для вузов / под общей ред. В. И. Каракеяна. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во Юрайт, 2025. 123 с.
3. Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов : коллективная монография / под ред. и сост. А. Н. Кожевниковой, А. Ю. Каллистова, Ю. В. Литти, М. В. Кевбриной. М. : Университетская книга, 2016. 320 с.
4. Фалевская М. А. Технология переработки сельскохозяйственных отходов анаэробным методом. // Теория, практика и перспективы применения биологически активных соединений в сельском хозяйстве : сб. материалов XI междунар. науч.-практ. конф. Сыктывкар : Институт химии Коми НЦ УрО РАН, 2015.

О ВЛИЯНИИ РЯДА ФАКТОРОВ НА СТЕПЕНЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГИДРОКСИДА НИКЕЛЯ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ

А. М. Фоминых, К. О. Камалов, С. В. Девятерикова

Вятский государственный университет,

stud127533@vyatsu.ru, usr00705@vyatsu.ru, usr01730@vyatsu.ru

В статье представлены результаты исследований очистки сточных вод от ионов никеля методом электрофлотации в зависимости от времени, кислотности раствора, а также вида и количества ПАВ. Определены оптимальные условия извлечения иона никеля в виде гидроксида.

Ключевые слова: электрофлотация, сточные воды, ионы никеля, поверхностно-активные вещества.

Одним из вариантов минимизации негативного воздействия техногенного производства на окружающую среду является использование эффективных методов очистки сточных вод перед их сбросом [1].

Предприятия машиностроительного комплекса невозможно представить без гальванического производства, где выполняются технологические операции цинкования, никелирования, меднения, хромирования, оксидирования стали и др. [2].

Гальванические производства вносят существенный вклад в загрязнение окружающей среды, особенно опасными для биосфера ионами тяжелых металлов. Высокий расход воды (до 2 м³ и более на 1 м² поверхности покрываемых деталей) обусловлен неэффективной методикой промывки, что приводит к образованию больших объемов сточных вод [3, 4].

Существует большое число специализированных процессов, используемых для удаления ионов металлов из сточных вод. К ним относятся химическое осаждение, ионный обмен, жидкостная экстракция, цементация, комплексообразование, электрохимические операции, биологические методы, адсорбция, выпаривание, мембранные процессы. Данные методы позволяют осуществлять

очистку стоков, корректировать физико-химические свойства обрабатываемой воды, концентрировать и извлекать из нее ценные химические продукты. Наиболее эффективным считается сочетание различных способов [2, 3].

На промышленных предприятиях обычно схема очистных сооружений включает в себя нейтрализацию стоков с образованием малорастворимых гидроксидов металлов. Согласно литературным данным [2], для очистки стоков целесообразно использовать электрохимические методы.

Электрофлотация основана на процессе выделения электролитических газов за счет протекания электролиза воды на нерастворимых электродах и флотационном эффекте. В электрофлотаторе в результате протекания электрохимических реакций происходит флотация дисперсных частиц (например, гидроксидов тяжелых металлов) и адсорбированных на них частиц органических веществ (поверхностно-активных веществ (ПАВ) и нефтепродуктов). В газожидкостной эмульсии плотность электрического тока регулирует размер пузырьков и их наполнение, что оказывает прямое воздействие на эффективность процесса электрофлотационной очистки воды [5]. Образующиеся флотокомплексы транспортируются выделяющимися на электродах газовыми пузырьками размером 10–70 мкм на поверхность воды, где накапливаются в слое флотошлама, который периодически удаляют при помощи автоматического пеноуборочного устройства. Данный способ характеризуется высокой эффективностью, экономичностью, производительностью, простотой и хорошей сочетаемостью с другими методами очистки [6, 7].

Таким образом, исследование параметров электрофлотации является актуальной задачей.

Целью работы явилось изучение зависимости степени извлечения ионов никеля от pH кислотности раствора, времени эксперимента, а также от вида и количества ПАВ.

На лабораторном испытательном стенде была проведена серия экспериментов по очистке сточных вод, содержащих 50 мг/л ионов никеля, методом электрофлотации. Процесс очистки сточных вод проводили в электрофлотаторе объемом 1 л. В качестве электродов применяли проволочные сетки из нержающей стали. Изменяющимися факторами являлись pH раствора, количество ПАВ и время. Содержание ионов никеля в растворе определяли с помощью спектрофотометра INGAEnergy 350X–Max20 Premium.

Зависимость степени извлечения ионов никеля от pH и времени эксперимента приведены на рисунке.

Как видно из рисунка, максимальная степень очистки сточных вод достигается при pH = 10, увеличиваясь с ростом времени электрофлотации.

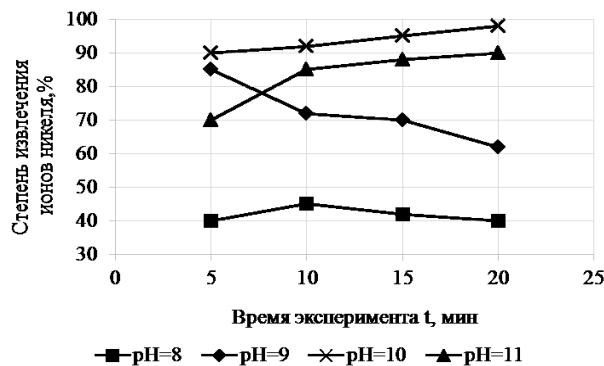


Рис. Зависимость степени извлечения ионов никеля, %, от pH используемого раствора, ед., и времени эксперимента, мин

Были проведены исследования влияния различных ПАВ на эффективность извлечения ионов никеля. Результаты определения влияния концентрации поверхностно-активных веществ (сульфонол и катамин-АБ) на степень извлечения ионов никеля из сточных вод приведены в таблице.

Таблица

Влияние вида и концентрации ПАВ на степень извлечения ионов никеля из сточных вод при времени электрофлотации 10 мин

ПАВ	Концентрация ПАВ, мг/л					
	сульфонол			катамин-АБ		
	10	50	100	10	50	100
Степень извлечения, %	95,0	82,2	77,1	89,7	72,0	71,3

Из таблицы видно, что присутствие ПАВ в минимальных концентрациях способно существенно увеличить степень извлечения ионов никеля, причем сульфонол является более эффективным, чем катамин-АБ.

Таким образом, оптимальными условиями для извлечения ионов никеля из сточных вод методом электрофлотации является pH = 10, присутствие 10 мг/л сульфонола и время процесса 15–20 мин.

Библиографический список

1. Родионов А. И., Клужин В. Н., Торочешников Н. С. Техника защиты окружающей среды. М. : Химия, 1989. 512 с.
2. Татаринцева Е. А., Ольшанская Л. Н., Бухарова Е. А. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов и технологии утилизации металлсодержащих гальваношламов. DOI: 10.15593/2409-5125/2021.03.05 // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2021. № 3. С. 53–64.
3. Баранов Е. А., Смирнов Д. Н. Комплексные технологические схемы очистки сточных вод с возвратом воды в производство. М. : Мир, 1978. 32 с.
4. Смирнов Д. Н., Генкин В. С. Очистка сточных вод в процессе обработки металлов. М. : Металлургия, 1989. 224 с.
5. Физико-химические основы флотации / Отв. ред. Б. Н. Ласкорин, Л. Д. Плаксина. М. : Наука, 1983. 264 с.
6. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / В. А. Колесников, В. И. Ильин, Ю. И. Капустин и др. Под. ред. В. А. Колесникова. М. : Химия, 2007. 303 с.

7. Роль поверхностно-активных веществ в электрофлотационном процессе извлечения гидроксидов и фосфатов меди, никеля и цинка / А. В. Колесников, В. В. Кузнецов, В. А. Колесников, Ю. И. Капустин. DOI: 10.7868/S0040357115010042 // Теоретические основы химической технологии. 2015. Т. 49. № 1. С. 3–11.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЛЕКАРСТВЕННЫХ КАРАНДАШЕЙ СО СМОЛОЙ ЕЛИ НА ИХ СВОЙСТВА

С. А. Харина, В. В. Шишкина, А. Р. Киреева, С. С. Козачок, А. И. Фокина
Вятский государственный университет, sf885@mail.ru

В статье описан опыт изготовления лекарственных карандашей с включением смолы ели обыкновенной, а также изучения их механических свойств и способности к высвобождению антиоксидантов в зависимости от состава. Состав влияет на стойкость к истиранию и индекс твердости композиций для изготовления лекарственных карандашей, последние предопределяют эффективность высвобождения биологически активных веществ, в том числе обладающих антиоксидантными свойствами.

Ключевые слова: карандаши, смола ели, твердость, стойкость к истиранию, высвобождение антиоксидантов.

Смола ели является природным сырьем, ее источником могут быть отходы рубок леса. Она обладает сильнейшими антибактериальными свойствами, что делает смолу перспективной заменой синтетическим аналогам. Одной из форм, в состав которой возможно включение смолы, является лекарственный карандаш. Карандаши лекарственные – твердая лекарственная форма в виде карандаша цилиндрической или конической формы с закругленным концом, предназначенная для наружного применения с целью оказания местного действия [1]. Во время контакта с кожными покровами человека происходит миграция биологически активных веществ, важных для оказания лечебного действия. Основной функцией лекарственных карандашей со смолой ели является оказание местного действия, связанного с заживлением ран и небольших ожогов, оказания бактерицидного и анальгетического эффектов. Возможность применения определяется механическими свойствами, такими как твердость и стойкость к истиранию композиций [2], а также возможностью поступления действующих компонентов к месту воздействия (определяется способностью веществ высвобождаться из лекарственной формы).

Цель настоящего исследования – определение взаимосвязи в системе «состав – механические свойства – высвобождение антиоксидантов» для оценки оптимальности рецептуры материала карандаша.

Изготавливали карандаши методом выливания. Компоненты расплавляли на водяной бане при постоянном перемешивании до получения однородной массы и заливали в подготовленные формы до полного застывания. Для изготовления карандашей использовали следующие компоненты: пчелиный воск,

вазелин ветеринарный, масло подсолнечное рафинированное, смолу ели обыкновенной и парафин. Массы компонентов карандашей указаны в таблице 1.

Таблица 1

Состав карандашей

Вариант (массовая доля смолы в композиции, %)	Воск, г	Вазелин, г	Масло, г	Смола, г	Парафин, г
8,0	6,8	12,5	9,5	3,2	7,6
12,0	6,7	12,0	9,0	4,8	7,6
15,0	5,0	11,0	9,0	6,0	9,0

Основными формообразующими и пластифицирующими компонентами композиций являются пчелиный воск и парафин. Добавление данных веществ в состав карандашей обуславливает не только их способность держать форму, но и способность сопротивляться внешнему механическому воздействию. При подборе соотношений компонентов руководствовались следующими характеристиками: способность композиции удерживать форму, оставлять след на коже, проявлять антибактериальные свойства. Далее исследовали механические свойства композиций: намазываемость, устойчивость к истиранию, твердость и количество антиоксидантов, высвобождающихся в 70% водно-спиртовый раствор.

Намазываемость (кроющая способность) характеризует легкость и равномерность распределения вещества на коже и слизистых. Она является важным параметром для мягких и средней плотности форм, определяя удобство их использования и правильность применения. При чрезмерной кроющей способности расход препарата увеличивается настолько, что рациональность, рентабельность и удобство его применения значительно снижается. Поэтому при разработке состава лекарственной формы необходимо добиться оптимальных значений кроющей способности [3, 4]. Для определения кроющей способности на полоски фильтровальной бумаги наносили по три штриха карандашом, формируя однородное покрытие, и взвешивали на аналитических весах. Стирание материала карандаша имитировали путем накладывания на подложку фильтровальной бумаги и прокатывания по ней груза массой 100 г. Опыт проводили при комнатной температуре. Стойкость к истиранию ($x, \%$) рассчитывали по формуле:

$$x = \frac{m - m_2}{m - m_1} \cdot 100\%$$

где m – начальная масса подложки с нанесенным слоем, г; m_1, m_2 – масса подложки без покрытия и с нанесенным покрытием после стирания, г.

Твердость композиции определяет ее устойчивость при различных не только механических, но и климатических воздействиях. Лекарственный карандаш должен обладать достаточной прочностью, чтобы сохранять пленкообразующий слой на коже при температуре человеческого тела. Твердость также показывает устойчивость композиции к истиранию: чем меньше данная величина, тем больше расход лекарственного средства. Индекс твердости был определен с помощью твердомера по Шору типа А.

Результаты, полученные в ходе испытаний, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Механические свойства композиций

Вариант (массовая доля смолы в композиции, %)	Индекс твердости, усл. ед.	Стойкость к истиранию, %
8,0	7	6,9
12,0	14	5,6
15,0	16	5,1

Индекс твердости увеличивается от композиции с массовой долей смолы 8% до композиции с массовой долей смолы 15%, что обусловлено снижением доли размягчающих компонентов (вазелин и масло) и увеличением количества парафина и смолы в составах лекарственных карандашей. Несмотря на высокий (для лекарственных субстанций) индекс твердости, композиции обладают высокой мягкостью, а также полностью не затвердевают при охлаждении до 0 °C. Вариант с 8% смолы настолько мягок, что установить индекс оказалось сложно. Намазываемость композиций изменяется обратно пропорционально твердости. В вариантах с 8 и 12% смолы добавлено меньше смолы ели и формообразующего компонента парафина, больше подсолнечного масла и вазелина, что приводит к постепенному (от варианта с 8% смолы к варианту с 15%) снижению степени истирания. В композиции с массовой долей смолы 15% наблюдаются наименьшие твердость и степень истирания; варианты с содержанием смолы 12 и 15% между собой существенно не отличаются. Материалы обоих вариантов не сушат кожу, хорошо и равномерно распределяются по ее поверхности и визуально не отличаются между собой.

При изучении выхода антиоксидантов методом инверсионной вольтамперометрии (стандарт – спиртовый раствор абиетата натрия с концентрацией 1 мг/мл), установлено, что из композиции с долей смолы 8% выделяется 166±19 мг/г карандаша, в вариантах с 12 и 15% смолы – 321±81 мг/г и 339±67 мг/г соответственно. Это также указывает на близость по свойствам материала последних двух вариантов.

Таким образом, перспективными для дальнейших исследований являются композиции с количеством смолы 12 и 15%, так как обладают пользовательскими свойствами, превосходящими вариант с содержанием смолы 8% и удовлетворяющими по механическим характеристикам.

Библиографический список

1. ОФС.1.4.1.0028. Карандаши лекарственные. Государственная фармакопея РФ. XV изд. [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-4/1-4-1-lekarstvennye-formy/karandashi-lekarstvennye/?ysclid=mj2153c6ac427860385> (дата обращения: 06.11.25).
2. ГОСТ 31649-2012. Продукция декоративной косметики на жировосковой основе. Общие технические условия. М. : Стандартинформ, 2019. 8 с.
3. Дьячкова Л. В., Трухачева Т. В., Жебентяев А. И. Изучение структурно-механических свойств мазевых основ // Вестник фармации. 2012. № 3. С. 23–28.
4. Вайнштейн В.А. Исследование структурно-механических свойств мягких лекарственных форм // разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 3. С. 70–78.

ПРИМЕНЕНИЕ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ПЕРОКСОСОЛЬВАТОВ С ЦЕЛЬЮ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ НЕФТЕДОБЫЧИ

Т. Е. Харитонова, В. В. Тажитдинова, А. В. Колесников, Т. В. Конькова

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,

kharitonova.te12@gmail.com, lera.tvv2001@mail.ru, artkoles@list.ru,

kontat@list.ru

В статье представлены экспериментальные данные по применению раствора пероксосольвата фторида аммония (ПФА) в качестве реагента, используемого при разработке нефтяных скважин и их эксплуатации. Выявлено, что раствор ПФА снижает экологическую нагрузку на окружающую среду, в сравнении с используемыми кислотными реагентами, за счет более низкой растворяющей активности по отношению к минералам пласта.

Ключевые слова: пероксосольваты, бескислотные составы, обработка ПЗП, экологизация нефтедобычи, кислотная обработка.

На каждом этапе производственной деятельности нефтегазодобывающих предприятий происходит мощное антропогенное воздействие, сопровождающееся загрязнением природных объектов и разрушением биосферы. Разработка природоохранных мероприятий и их эффективность зависят от своевременного определения механизма загрязнения, состава и свойств загрязняющих веществ [1].

Процессы разведки, бурения, добычи, подготовки, транспортировки и хранения нефти и газа требуют больших объемов воды для технологических, транспортных, хозяйствственно-бытовых и противопожарных нужд с одновременным сбросом таких же объемов высокоминерализованных, содержащих агрессивные химические реагенты, поверхностно-активные вещества и нефтепродукты, сточных вод [2].

Широкое распространение в процессах разработки и эксплуатации скважин получили кислотные воздействия на пласт. Популярность таких составов обусловлена доступностью компонентов и их низкой стоимостью. Они применяются как при вскрытии продуктивного пласта, так и при снижении дебита в ходе эксплуатации скважины [3].

Главным образом эффект от применения кислотных композиций заключается в получении в горной породе сети дополнительных каналов фильтрации различной геометрической формы и направленности, обеспечивающих увеличение проницаемости коллектора. В ходе взаимодействия кислот с минералами пласта протекает ряд обменных реакций с образованием больших объемов высокоминерализованных вод. Образующиеся насыщенные растворы обладают коррозионной активностью (табл. 1) и склонностью образовывать блокирующие эмульсии, так как минерализация прямым образом влияет на устойчивость коллоидных растворов [4].

Таблица 1

Коррозионная активность кислот [5]

№	Кислота	Рабочая концентрация в растворе, %	Коррозионная активность
1	HCl	5–28%	Очень высокая
2	HF	3–15%	Чрезвычайно высокая
3	H ₂ SO ₄	10–50%	Высокая
4	HCOOH	5–10%	Умеренная

Кроме того, возникает необходимость утилизировать концентраты солей, выделяемых на установках обессоливания. Так, например, в ходе реакции с карбонатной породой на 1 м³ 12% раствора образуется более 350 кг хлористого кальция в растворе.

Наиболее распространенным методом утилизации полученных растворов является подземное захоронение. Данный метод наносит большой экологический урон и приводит к загрязнению подземных вод, почвы и, как следствие, снижению биологического разнообразия. В связи с ужесточением экологических норм все большую популярность обретают технологии «нулевого сброса», направленные на минимизацию экологических рисков. Такой подход подразумевает полное выпаривание и кристаллизацию солей. Однако в силу высокой стоимости технологии ее реализация практически не производится.

Таким образом, проведение кислотных стимуляций пласта оказывает комплексный негативный эффект на экосистемы, обусловленный как использованием реагентов высокого класса опасности при проведении операции, так и образованием большого объема отходов после нее.

Поставленная задача по экологизации процессов нефтедобычи в данной работе решается путем внедрения в этапы разработки нового класса соединений – пероксосольватов фтористых солей. Данный класс веществ представляет собой твердый источник пероксида водорода ($K_nA_m \cdot xH_2O_2$), обладающий широким спектром воздействия как на органические, так и на неорганические соединения.

Целью исследования является экологизация процессов нефтедобычи путем применения растворов на основе пероксосольватов и сравнение их эффективности с применением кислотных композиций.

Были проведены исследования растворяющей способности кислотных композиций и растворов на основе пероксосольвата фторида аммония (ПФА) на образцах горной породы (керна) Карабашского месторождения гравиметрическим методом. Были исследованы кислотные композиции на основе соляной и плавиковой кислот в различных концентрациях и 5%-ный раствор ПФА без и с добавлением уксусной кислоты при температурах 25 °C и 40 °C (табл. 2).

Результаты опытов свидетельствуют о том, что соляная и плавиковая кислоты обладают высокой растворяющей способностью по отношению к глинистым минералам, что является недостатком при их практическом использовании, поскольку значительное растворение цемента полимиктового коллектора приводит к выносу частиц породообразующих минералов и последующей кольматации пор.

Таблица 2

Общая растворимость образцов керна Карабашского месторождения при гравиметрическом анализе после кислотной обработки и обработки пероксисольватами при температуре °С

T, °C	№ образца	ИГ, м	Кислотные композиции				
			12% HCl	6% HCl 0,5% HF	3% HCl 0,5% HF	5% ПФА 5% CH ₃ COOH	5% ПФА
			Растворимость, %				
25	4055	854,55	7,92	15,62	13,55	13,19	5,02
	4060	856,08	9,87	16,94	14,11	14,18	5,34
	4064	856,91	23,18	30,76	28,44	27,06	7,19
	4069	858,23	6,15	13,51	11,33	9,31	4,58
40	4055	854,55	8,15	13,65	15,49	5,49	4,68
	4060	856,08	12,06	15,92	14,83	7,97	5,20
	4064	856,91	24,10	30,09	29,43	9,50	7,43
	4069	858,23	6,02	12,92	12,32	7,80	5,12

Примечание: Т – температура; ИГ – геомеханический интервал керна.

Композиции на основе ПФА имеют существенно меньшую растворяющую способность. Таким образом, они более медленно взаимодействуют с минералами, благодаря чему возможна более глубокая обработка удаленной прискважинной зоны и образование меньших объемов вторичных осадков.

При взаимодействии кислот с глинистыми минералами происходит ионный обмен межслоевых катионов на протон, а кроме того, имеет место вымывание октаэдрических катионов, преимущественно алюминия, приводящее к разрушению слоистой структуры.

Проводилось исследование содержания ионов щелочных и щелочноземельных металлов у образцов Карабашского месторождения до и после обработки растворами соляной кислоты с концентрацией 12 масс.% и ПФА с концентрацией 5 масс.%, определено содержание ионов щелочных и щелочноземельных металлов (табл. 3). Определение емкости катионного обмена было выполнено с помощью модифицированной для образцов горных пород методики с гексааминкобальта трихлоритом.

Таблица 3

Емкость катионного обмена, мг-экв/100 г, образцов Карабашского месторождения (фракция 0,5–1 мм) до и после обработки раствором соляной кислоты и раствором ПФА

Образец	Обменные катионы			
	Ca ²⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Необработанный	0,91	2,07	1,01	1,04
Обработка HCl (12 масс.%)	0,63	0,15	0,86	0,06
Обработка ПФА (5 масс.%)	0,63	0,14	0,86	0,06

Из результатов анализа видно, что обработка растворами соляной кислоты с концентрацией 12 масс.% и ПФА с концентрацией 5 масс.% позволяет снизить содержание щелочных и щелочноземельных металлов. Причём данные,

полученные в обоих случаях обработки, близки по значению, что подтверждает эффективность раствора ПФА на уровне кислотных обработок.

Были определены фильтрационные свойства кернов Карабашского месторождения до и после обработки 12%-ным раствором соляной кислоты и 5%-ным раствором ПФА (табл. 4). Тестирование на восстановление проницаемости проводилось на установке моделирования пластовых условий ПУМА-650.

Таблица 4

**Результаты фильтрационных исследований кернов
Карабашского месторождения**

№ образца	Состав раствора	Проницаемость по нефти, $\times 10^{-3}$ мкм ²		Процент восстановления
		до обработки	после обработки	
4074	12% HCl	0,250	0,282	112,8
4099		2,276	2,995	131,6
4052	5% ПФА	0,560	0,840	123,3
4093		3,287	4,507	137,1

Полученные в ходе фильтрационных исследований данные подтверждают, что эффективность раствора на основе пероксосольватов фторида аммония в условиях заглинизованных терригенных коллекторов не ниже, чем у кислотного состава.

Таким образом, проведенное исследование свидетельствует о перспективности использования пероксосольватов в технологиях нефтедобычи. Наряду с эффективностью, не уступающей традиционным кислотным составам стимуляции пласта, предлагаемая технология обладает более низким классом опасности и минимизирует количество образующихся отходов.

Библиографический список

1. Экологические аспекты при строительстве нефтяных и газовых скважин / О. В. Савенок, В. Г. Григулецкий, Д. В. Рахматуллин и др. М.; Вологда : Изд-во «Инфра-Инженерия», 2021. 652 с.
2. Тетельмин Б. В., Язев В. А. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2009. 352 с.
3. Дмитриева А. Ю., Залитова М. В., Шайхиев И. Г. Экологические аспекты в технологии интенсификации добычи нефти путем направленной пенокислотной обработки // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 22. С. 158–161.
4. Орлов Г. А., Кендис М. Ш., Глушченко В. Н. Применение обратных эмульсий в нефтедобыче. М. : Изд-во «Недра», 1991. 224 с.
5. Экология нефтегазового комплекса : учебное пособие. Т. 1 / под общ. ред. А. И. Владимира, В. В. Ремизова. М. : ГУП изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. 416 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕЗОДОРИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ЗАПАХ КУРИНОГО ПОМЕТА

М. Х. Хето, В. В. Рутман

Вятский государственный университет, rutman.slavik@yandex.ru

Выполнена экспериментальная оценка влияния различных добавок, рекомендуемых для использования в качестве дезодорирующих агентов, на запах куриного помета. Установлено, что соответствующие добавки приводят к изменению интенсивности и характера запаха, однако не устраняют его полностью. Надежное дезодорирование возможно при внесении в помет комплекса добавок с последующим высушиванием полученной смеси.

Ключевые слова: куриный помет, птицеводство, запах, дезодорация, побочные продукты животноводства, органические удобрения.

Современное птицеводство относится к наиболее динамично и устойчиво развивающимся отраслям сельского хозяйства. Кроме основной продукции (мяса, яиц) на птицеводческих предприятиях образуется значительное количество побочных продуктов, основным из которых является птичий помет (ПП). В состав ПП переходит около 50% питательных веществ рациона. Птичий, в частности куриный, помет (КП) богат азотом, фосфором и серой, что обусловлено особенностями пищеварения птиц и характером их откорма. Высокое содержание питательных веществ позволяет использовать КП в качестве ценного органического удобрения, однако соответствующий продукт имеет весьма существенный недостаток – крайне неприятный резкий запах [1]. Запаховое загрязнение прилегающих к птицеводческим предприятиям территорий оказывает неблагоприятное воздействие на качество жизни населения и существенно осложняет возможность переработки КП в товарные формы удобрений [2].

Расширение и интенсификация промышленного птицеводства все более и более обостряет проблему защиты населения от воздействия неприятных запахов. В настоящее время опубликовано значительное число работ, посвящённых проблеме дезодорации КП, однако количество жалоб, поступающих от населения на запаховое загрязнение воздуха, только увеличивается [3]. Общая характеристика добавок и механизма их действия приведена в таблице 1.

Цель настоящей работы – изучить влияние отмеченных в литературных источниках дезодорирующих материалов на интенсивность и характер запаха КП.

Исследования выполняли в лабораторных условиях на примере образцов свежего КП, предназначенного для переработки в гранулированные формы органоминеральных одобрений (ОМУ). Влажность КП – $40\pm2\%$; содержание подстилочных материалов (древесных опилок) – $5\pm2\%$; pH – $7,0\pm0,5$; цвет – близкий к черному; запах – очень неприятный, резкий, кислый.

Таблица 1
Общая характеристика дезодорирующих добавок

Дезодорирующая добавка	Механизм действия	Преимущества	Недостатки
Древесный уголь	Адсорбирует многие запахообразующие вещества (ЗОВ)	Безопасен для окружающей среды (ОС) и птицы	Относительно высокая стоимость. Кратковременный эффект действия. Ограниченный перечень сорбируемых компонентов запаха.
Серная кислота	Смещает pH в неблагоприятную для гнилостной микробиоты область ($\text{pH} \leq 5$). Связывает NH_3 в нелетучие соли аммония	Безопасна для ОС при правильном использовании. Доступная стоимость	Усиливает эмиссию летучих органических кислот и H_2S за счет их вытеснения из солей. При работе требуется строгое соблюдение техники безопасности. Опасна для животных. Вызывает коррозию оборудования.
CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Смещает pH в неблагоприятную для микробиоты область ($\text{pH} \geq 9$). Связывает органические кислоты и H_2S в нелетучие соли кальция	Безопасность. Доступная стоимость	Усиливает эмиссию аммиака. Увеличивает потери азота. Кратковременный эффект действия.
Суперфосфат	Связывание некоторых серосодержащих компонентов запаха (H_2S , тиолы и др.)	Безопасность. Обогащение фосфором	Высокая стоимость. Ограниченный спектр связываемых ЗОВ
Цеолит	Сорбирует NH_3 , H_2S , летучие органические соединения	Безопасность. Доступная стоимость	Невысокая сорбционная емкость
Глауконит	Сорбция ЗОВ	Безопасность. Положительное влияние на почвенное плодородие. Доступная стоимость	Невысокая сорбционная емкость
Глауконитсодержащие хвосты обогащения фосфоритов			
Гуматы калия и натрия	Возможное связывание некоторых ЗОВ в нелетучие формы	Экологическая безопасность. Агрохимическая эффективность	Высокая стоимость

В качестве дезодорирующих агентов (добавок) испытывали материалы, внесение которых в КП не приводило к ухудшению его экологических и агрохимических характеристик [4]. Дезодорирующие агенты вносили в норме 10% от массы КП. Серную кислоту (в виде раствора с массовой долей 10%) добавляли до достижения $\text{pH} 5,0\text{--}5,5$. Добавки смешивали с КП, оставляли на 24 ч в лабораторных условиях, затем высушивали в термостате при 103 ± 2 °С до постоянной массы. Запах образцов оценивала группа экспертов из 5 человек.

Интенсивность запаха оценивали в баллах от 0 (отсутствие специфичного неприятного запаха) до 4 (сильный неприятный запах).

Результаты оценки запаха КП в баллах (средние значения и стандартные отклонения) через 60 мин после внесения добавок и после высушивания до постоянной массы приведены в таблице 2.

Таблица 2
Влияние добавок на запах куриного помета

Добавка	Запах КП через 60 мин после внесения добавок (до высушивания), баллы	Запах после высушивания, баллы
Куриный помет без добавок	4,0±0,0	1,3±0,2
Древесный уголь	3,8±0,2	1,1±0,2 (сохраняется фекальный запах)
Серная кислота	4,0±0,0 Усиление кислого запаха	1,4±0,1
CaO, Ca(OH) ₂	4±0,0 Резкое усиление запаха аммиака	0,6±0,1
Суперфосфат	4,0±0,0	1,3±0,2
Цеолит	4,0±0,0	1,4±0,2
Глауконит	3,6±0,2	0,8±0,2
Глауконитсодержащие хвосты обогащения фосфоритов	3,7±0,2	0,8±0,2
Гуматы калия и натрия	4,0±0,0	1,5±0,1
Ca(OH) ₂ + глауконит + дре- весный уголь	4,0±0,0	0,0

Результаты исследований показали, что ни одна из испытанных добавок не привела к устранению неприятного запаха КП. Существенное снижение этого показателя наблюдали только после высушивания образцов КП до постоянной массы при температуре 103±2 °С. Высушивание позволяет удалить из КП летучие компоненты и инактивировать гнилостную микробиоту, в результате жизнедеятельности которой образуются ЗОВ и парниковые газы [5]. Полное устранение неприятного запаха наблюдали только после внесения в КП комплексной добавки, содержащей известь, глауконит и древесный уголь (в определённом соотношении компонентов) с последующим высушиванием. Все компоненты комплексной добавки отличаются экологической безопасностью, доступной ценой и положительным влиянием на плодородие почв. Полученные в настоящей работе данные хорошо согласуются с результатами ранее выполненных исследований [6].

Внесение в КП экологически безопасных добавок, обладающих потенциальным дезодорирующим эффектом, не позволяет существенно снизить интенсивность неприятного запаха. Использование соответствующих добавок для обработки помета и снижения запаха в птичниках нецелесообразно.

Надёжное устранение запаха наблюдается при внесении в КП комплексной добавки, содержащей гашёную известь, глауконит и древесный уголь (в определённом соотношении компонентов) с последующим высушиванием.

Данный приём может найти практическое применение в технологии переработки КП в гранулированные формы органоминеральных удобрений.

Библиографический список

1. Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я., Хето М. Х. Проблемы устранения запахового загрязнения окружающей среды побочными продуктами птицеводства (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2024-4-006-020 // Теоретическая и прикладная экология. 2025. № 1. С. 6–20.
2. Прохоров И. А., Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Оптимизация агрохимических свойств и товарных характеристик органоминеральных удобрений на основе куриного помета // Вестник Вятского ГАТУ. 2025. № 1 (23). С. 124–135.
3. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Технологии контроля запаха в условиях животноводческих предприятий // Вестник Вятского ГАТУ. 2025. № 1 (23). С. 103–113.
4. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Основные подходы к снижению запахового загрязнения окружающей среды предприятиями животноводства (обзор). DOI: 10.25750/1995-4301-2024-3-006-019 // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 6–19.
5. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В. Альтернативная оценка вклада метана в парниковый эффект. DOI 10.25750/1995-4301-2023-3-197-207 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 3. С. 197–207.
6. Сырчина Н. В., Полушкина И. С. Органоминеральные и биоорганоминеральные удобрения на основе куриного помета // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 144–147.

УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ МЕДНЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИННОЙ КИСЛОТЫ И ЕЕ СОЛЕЙ

М. А. Шумилова, Ф. Ф. Чausов, Д. К. Жиров

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,

shumilovata@udman.ru

Исследованы физико-химические характеристики тартрата меди(II), полученного в результате осаждения ионов металла из отработанного кислого электролита меднения растворами винной кислоты и ее солей. Предложена принципиальная схема универсального технологического модуля для выделения концентратов меди из отработанных гальванических стоков меднения.

Ключевые слова: отработанный раствор меднения, винная кислота, калий-натрий виннокислый, аммоний виннокислый, тартрат меди(II), технологический модуль.

Основой промышленности всего мира является гальваническое производство, являющееся главным поставщиком не только продуктов покрытия для большинства отраслей, но и сильнейших токсикантов, загрязняющих природную среду. В настоящее время основная стратегия в плане защиты окружающей среды заключается в переориентации гальванических производств с утилизации отходов на их регенерацию.

В качестве новых продуктов, получаемых при регенерационной утилизации отработанных растворов меднения (ОРМ), мы рассматривали тартраты меди(II). Наш выбор был основан на том, что тартраты меди плохо растворяются в воде и хорошо отделяются от жидкой фазы фильтрованием [1, 2], поэтому винная кислота и ее соли были исследованы в качестве реагентов-осадителей для отработанных растворов меднения. Известно, что виннокислые соли меди используются в качестве катализаторов органических реакций, пигментов, в качестве фунгицидов и медных микроудобрений в сельском хозяйстве, лекарственных средств в ветеринарии, для антибактериальной обработки воды, а также как прекурсоры для получения высокотемпературных сверхпроводников, биологических сенсоров, электродных материалов и др.

Несмотря на то, что виннокислая медь известна давно, ее строение и структура изучена сравнительно недавно. Установлено, что тартраты меди могут отличаться степенью замещения водорода в молекуле кислоты [3] и содержанием кристаллизационной воды [4], что определяет структурное разнообразие тартратов меди и свойств материалов на их основе.

Целью представленной работы являлся поиск оптимальных условий и изучение физико-химических закономерностей образования тартратов меди(II) из отработанного кислого электролита меднения, используемых в дальнейшем для производства новых продуктов.

Объектом исследования был отработанный раствор кислого меднения АО «ИЭМЗ «Купол», в состав которого входит медный купорос ($120\text{--}240\text{ г/дм}^3$) и серная кислота ($50\text{--}100\text{ г/дм}^3$).

Концентрацию ионов меди(II) в форме аммиакатов в надосадочной жидкости определяли спектрофотометрическим методом [5]. Представленные концентрации являются средними величинами для трёх аналитических повторностей (значение относительного стандартного отклонения не превышает 4,5%). Степень извлечения (СИ) ионов металла рассчитывали по формуле:

$$\text{СИ} = (C_{\text{нач}} - C_{\text{ост}})/C_{\text{нач}} \cdot 100\%$$

где $C_{\text{нач}}$ и $C_{\text{ост}}$ – начальная и остаточная концентрации меди(II) в пробе, $\text{г}\cdot\text{дм}^{-3}$.

Величину pH в процессе осаждения контролировали с помощью лабораторного ионометра И-160МИ (погрешность измерения менее $\pm 0,03$).

Идентификацию полученных осадков осуществляли по их инфракрасным спектрам, снятых на ИК – спектрометре с Фурье – преобразованием ФСМ 1202 в виде кривых пропускания $T, \%$ – ν в области $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ относительно воздуха.

Рентгенофазовый анализ полученных осадков проводили на дифрактометре Miniflex-600 (Rigaku Inc.) в $\text{Co}-\text{K}_\alpha$ -излучении.

Термогравиметрический и дифференциально-термический анализ (ТГА/ДТА) выполняли на автоматизированном дериватографе Shimadzu-60H в среде аргона в интервале от комнатной температуры до $500\text{ }^\circ\text{C}$ при скорости нагрева образца $3\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Осадок тартрата меди(II), полученный в результате реакции взаимодействия ОРМ с разными реагентами, может отличаться условиями образования соли и растворимостью в воде в зависимости от pH раствора, что влечет необ-

ходимость в исследовании влияния pH на полноту извлечения меди из ОРМ в виде осадка ее виннокислой соли.

Процесс смещивания отработанного электролита и осадителя осуществляли на лабораторной установке, приближающей условия эксперимента к промышленным условиям. Синтез тартрата меди происходил в результате прибавления по каплям раствора калий-натрий виннокислого к ОРМ при непрерывном перемешивании с мольным соотношением реагентов тартрат:медь(II) $\approx 1,5:1,0$; описываемым уравнением реакции:



Виннокислая медь образуется в течение 30–40 с после слияния реагентов в растворе, выпадая в виде голубовато-зеленого мелкодисперсного осадка. Осадок отфильтровывали через фильтр и промывали дистиллированной водой до отрицательной реакции на сульфат-ионы (проба с хлоридом бария), затем сушили при комнатной температуре в эксикаторе.

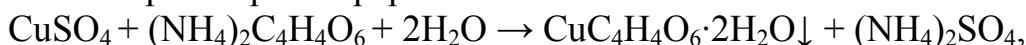
Экспериментально установлено (табл.), что оптимальным диапазоном pH для извлечения ионов меди из ОРМ с применением калий-натрий виннокислого является область 3,7–4,1 единиц pH. В этих условиях содержание ионов металла в фильтрате понизилось примерно в 53 раза по сравнению с исходным и степень извлечения меди превышает 98%.

Таблица

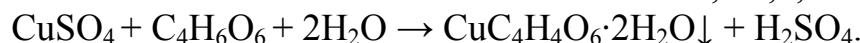
Степень извлечения меди винной кислотой и её солями из ОРМ в зависимости от pH, %

Реагент	KNaC ₄ H ₄ O ₆					
pH	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Степень извлечения, %	71,29	94,60	98,72	98,11	97,53	94,66
Реагент	(NH ₄) ₂ C ₄ H ₄ O ₆					
pH	2,5	3,0	3,35	3,6	4,0	4,3
Степень извлечения, %	93,13	97,25	98,21	97,05	97,01	96,26
Реагент	C ₄ H ₆ O ₆					
pH	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
Степень извлечения, %	94,69	97,76	97,97	98,32	98,11	97,69

По аналогичной методике получали осадок тартрата меди(II) при взаимодействии ОРМ с раствором тартрата аммония:



и раствором винной кислоты с мольным соотношением 1,0:2,0, соответственно:



Определено, что оптимальная величина pH для тартрата аммония лежит в диапазоне 3,2–3,5, а для винной кислоты – в области 3,5–4,0. В обоих случаях степень извлечения меди превышает 98%, а остаточная концентрация металла находится на уровне 0,78 и 0,74 г·дм⁻³ соответственно.

Исследовано влияние порядка смещивания реагентов (одновременный ввод реагентов в реактор (синхронное смещивание) и добавление осадителя к ОРМ (прямое осаждение)) на выделяемые осадки. Максимальное извлечение металла в варианте с винной кислотой зафиксировано при синхронном осаждении, в то время как при использовании в качестве осадителя калий-натрий–

виннокислого наибольшая степень извлечения меди наблюдается при прямом взаимодействии реагентов.

Анализ осадков методом ИК-спектроскопии показал, что характеристические полосы валентных колебаний хорошо согласуются с имеющимися литературными данными [6–8]: 486 ν (Cu–O), 641, 743 δ (OH), 822 δ (O–C=O), 1073 и 1050 δ (C–O), 1105 δ (O–H), 1324–1365 ν (C–O), 1608 ν (C=O), 2974 ν (OH), 3405 (H_2O) cm^{-1} .

Результаты ТГА/ДТА осадков тартрата меди показали, что при прямом режиме осаждения образуется моногидрат, а при синхронном – дигидрат тартрата меди (II).

Учитывая данные экспериментов, предложена принципиальная схема универсального технологического модуля для осаждения концентратов меди из отработанных технологических растворов, состоящего из оборудования периодического действия. Отработанные медьсодержащие электролиты и реагент-осадитель из резервуаров-накопителей с помощью блока управления, регулирующего скорость подачи растворов и соотношение их объемов, подают в реактор, где реакционную массу продолжают перемешивать в течение 12–24 ч для созревания осадка. Затем, при работающей мешалке, реакционную массу выгружают в нутч-фильтр, из которого раствор отсасывают в вакуум-сборник, а осадок на фильтре просасывают воздухом до полного удаления остатков раствора. Выделенный на фильтре осадок можно упаковать в виде маловодной пасты либо окончательно высушить до порошкообразного состояния для дальнейшего перевода в новый востребованный продукт.

Библиографический список

1. Подчайнова В. Н., Симонова Л. Н. Медь. М. : Наука, 1990. 279 с.
2. Леванов А. В., Чуканова А. Э., Исаикина О. Я. Произведение растворимости солей двухвалентной меди с двухосновными карбоновыми кислотами. DOI: 10.31857/S0044453724030065 // Журнал физической химии. 2024. Т. 98. № 3. С. 52–61.
3. Diaquabis(hydrogen tartrato)copper(II) dehydrate / M. T. M. Al-Dajani, H. H Abdallah, N. Mohamed, et al. DOI: 10.1107/s160053681002115x // Acta Crystallographica. Sec. E. 2010. Vol. 66. No. 7. Article No. m774–m775.
4. Dehydration induced 2D-to-3D crystal-to-crystal network re-assembly and ferromagnetism tuning within two chiral copper(II)–tartrate coordination polymers / Y.-H. Liu., S.-H. Lee, J.-C. Chiang, et al. DOI: 10.1039/c3dt52330f // Dalton Transactions. 2013. Vol. 42. No. 48. P. 16857–16867.
5. Кусенков А. Н., Макаренко Т. В. Лабораторный практикум по аналитическим методам в экологии. Гомель : Гомельский государственный университет, 2000. 90 с.
6. Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. М. : МГУ, 2012. 55 с.
7. Казицына Л. А., Куплетская Н. Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. М. : Высшая школа, 1971. 264 с.
8. Jethva H. O., Dabhi R. M., Joshi M. J. Structural, spectroscopic, magnetic and thermal studies of gel-grown copper levo-tartrate and copper dextro-tartrate crystals. DOI: 10.9790/4861-0803033342 // Journal of Applied Physics. 2016. Vol. 8. No. 3. P. 33–42.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ДРОНОВ

Т. Р. Щитковская, Д. Ю. Багаева, А. М. Султанбаева

Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, gtr110285@rambler.ru

В статье рассматриваются проблемы обеспечения экологической безопасности при утилизации промышленных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Проведен анализ состава и особенностей конструкционных материалов дронов, определены потенциальные экологические риски, связанные с их накоплением и переработкой. Особое внимание уделено современным технологиям вторичной переработки электронных компонентов и аккумуляторных систем. Предложены направления совершенствования нормативной базы и системы экологического мониторинга, ориентированные на минимизацию негативного воздействия отходов дрон-индустрии на окружающую среду.

Ключевые слова: промышленный дрон, утилизация, электронные отходы, экологическая безопасность, вторичная переработка, литий-ионные аккумуляторы.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно применяются в промышленности – в сфере логистики, геодезии, экологического мониторинга, строительства, сельского хозяйства и добывающей отрасли [1]. Согласно прогнозам Международного энергетического агентства, к 2030 году количество промышленных дронов в мире превысит 10 миллионов единиц. Однако стремительное развитие этой технологии сопровождается формированием нового вида техногенных отходов – отработанных компонентов дронов, включающих аккумуляторные батареи, композитные материалы, микропроцессорные платы и электродвигатели. Эти элементы содержат токсичные вещества (литий, никель, свинец, эпоксидные смолы, редкоземельные металлы), способные представлять серьезную экологическую опасность при неправильной утилизации. Поэтому мы считаем, что проблема экологической безопасности при утилизации промышленных дронов является новым и малоизученным направлением в системе обращения с электронными отходами, что определяет актуальность данного исследования.

Цель исследования: определить экологические риски, возникающие при утилизации промышленных дронов, и разработать рекомендации по повышению экологической безопасности данного процесса.

БПЛА представляют собой сложные технические системы, каждая часть которых после выхода из строя образует определенный тип отходов. Эти отходы различаются по химическому составу, токсичности и возможности вторичного использования.

Основные группы компонентов:

1. Корпус и рама, которые обычно изготавливаются из композитных материалов – углепластика (CFRP) или стеклопластика (GFRP). Эти материалы прочные, лёгкие и устойчивые к воздействию внешней среды, но крайне плохо разрушаются в природе, что создаёт проблему их утилизации [2].

2. Силовая установка: включает литий-ионные или литий-полимерные аккумуляторы. В их составе — литий, кобальт, никель, марганец, алюминий, медь и электролиты на основе органических растворителей. При разрушении корпуса батареи возможно выделение токсичных соединений, а при неправильном хранении – риск возгорания [3].

3. Электронные системы управления: печатные платы, микропроцессоры, датчики и модули связи. Платы содержат цветные и драгоценные металлы (медь, золото, серебро), а также свинец и бромированные антипириены. Последние представляют опасность для здоровья человека и экосистемы.

4. Электродвигатели и приводы. Данные компоненты содержат магниты с редкоземельными элементами (неодим, самарий, диспрозий) и медные обмотки. Эти элементы ценные для повторного использования, но их извлечение требует специализированных технологий.

Для переработки отходов БПЛА применимы технологии, используемые для электронных отходов и аккумуляторных систем [4]. Сравнительная характеристика основных методов представлена в таблице 1.

Таблица 1
Сравнительный анализ методов утилизации компонентов БПЛА

Метод	Суть метода	Преимущества (+) и Недостатки (-)	Экологическая оценка	Применимость к компонентам БПЛА
Механическая переработка	Дробление, сепарация, шредирование.	+ Простота, низкая стоимость. – Не извлекает редкоземельные металлы.	Относительно безопасна как предварительная стадия.	Корпуса, рамы, платы (начальный этап).
Пирометаллургические методы	Высокотемпературное плавление (800–1500 °C).	+ Эффективное извлечение металлов. – Высокие энергозатраты, токсичные выбросы.	Высокий углеродный след, риск выбросов диоксинов.	Печатные платы, электродвигатели.
Гидрометаллургические методы	Химическое выщелачивание кислотами/щелочами.	+ Высокое извлечение Li, Co, Ni; низкие энергозатраты. – Образование сточных вод.	Наиболее экологичный метод. Снижение выбросов CO ₂ на 58–81%.	Аккумуляторы, электронные платы.
Пиролиз	Бескислородное термическое разложение.	+ Сохранение углеродного волокна, генерация газов. – Требует точного контроля параметров.	Предотвращает захоронение композитов. Потенциальные выбросы.	Корпуса и рамы из CFRP/GFRP.

На основе проведенного анализа сформулирован следующий комплекс рекомендаций:

1. Внедрение системы сбора и логистики отходов БПЛА. Создание централизованных пунктов приема по принципу «расширенной ответственности производителя» (РОП). Обязательная предварительная сортировка на фракции (аккумуляторы, электроника, композиты, двигатели) для направления на специализированные предприятия.

2. Развитие технологий рециклинга композитных материалов. Внедрение пиролиза для утилизации корпусов из угле- и стеклопластика. Это позволяет разложить полимерную матрицу с получением энергетических газов и сохранением ценного углеродного волокна для повторного использования в ненагруженных конструкциях.

3. Организация замкнутого цикла переработки аккумуляторов. Делать акцент на гидрометаллургических методах, обеспечивающих высокий процент извлечения лития, кобальта и никеля. Извлеченные материалы должны возвращаться в производственный цикл для создания новых аккумуляторов.

4. Создание цепочек рекуперации редких и драгоценных металлов. Для электронных плат и двигателей применять комбинированные методы (механическая сепарация + гидрометаллургия). Это позволяет извлекать медь, золото, серебро, а также стратегически важные редкоземельные элементы (неодим, диспрозий), снижая зависимость от импорта и экологический ущерб от первичной добычи.

5. Совершенствование нормативной базы и экономическое стимулирование.

Для успешной реализации вышеуказанных мер необходима разработка и ужесточение экологического законодательства, закрепляющего принцип расширенной ответственности производителя (РОП) в отношении БПЛА. Это обязывает компании-производители обеспечивать сбор и утилизацию вышедшей из строя техники. Параллельно следует создавать экономические стимулы (например, налоговые льготы) для предприятий, внедряющих передовые технологии переработки и использующих в своей продукции вторичные материалы, полученные из отходов БПЛА.

Проведенное исследование подтверждает, что утилизация промышленных БПЛА представляет собой значительную экологическую проблему, требующую безотлагательного решения. Существующие подходы к переработке электронных отходов требуют адаптации с учетом специфики конструкции и материалов дронов. Разработанный комплекс рекомендаций, включающий организационные, технологические и нормативно-экономические меры, направлен на создание безопасной и экономически эффективной системы обращения с отходами дрон-индустрии. Реализация предложенных мер на принципах циклической экономики позволит не только минимизировать экологические риски, но и создать новые рынки вторичных материальных ресурсов, обеспечивая устойчивое развитие одной из самых динамичных высокотехнологичных отраслей.

Библиографический список

1. Вэй Я. Л. Алгоритмы работы многофункционального комплекса БПЛА // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2014. № 10. С. 772–777.
2. Мишкин С. И. Применение углепластиков в конструкциях беспилотных аппаратов (обзор). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-87-95// Труды ВИАМ. 2022. № 5. С. 87–95.
3. Мельникова А. С., Кострюкова Н. В. Способ утилизации литий-ионных аккумуляторов с извлечением ценных компонентов. DOI: 10.23947/2541-9129-2024-8-4-7-15 // Безопасность техногенных и природных систем. 2024. № 4. С. 7–15.
4. Вамболь С. А., Вамболь В. В. Экологическая безопасность объектов окружающей среды при утилизации отходов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2016. № 1-1. С. 63–68.

Научное издание

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ
С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Материалы

VII Всероссийской научно-практической конференции
18–19 ноября 2025 г.

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова
Дизайн обложки: А. А. Лямина

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,

167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, 28.

Подписано к печати 29.12.2025. Формат 60 x 84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 7,31. Тираж 30 экз. Заказ № 92.

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС».

610029, г. Киров, п. Ганино, ул. Северная, 49А. Тел. +7 912 828 45-11
E-mail: raduga-press@list.ru