



**VI Всероссийская  
научно-практическая конференция  
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ  
С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ**



Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Вятский государственный университет»

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Федеральный экологический оператор»

Информационный центр по атомной энергии Кирова

Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук

## **ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

Материалы

VI Всероссийской научно-практической конференции

г. Киров, 18–19 ноября 2024 г.

Киров 2024

УДК 628.477(03)

ББК 38.931(03)

Т 384

Печатается по рекомендации Научного совета ВятГУ

**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, **С. Г. Литвинец**, проректор, канд. с.-х. наук, **А. С. Олькова**, профессор, д-р биол. наук, **Т. А. Адамович**, доцент, канд. геогр. 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, **Е. А. Клековкина**, доцент, канд. геогр. наук, **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук, **В. В. Рутман**, м. н. с., **В. М. Рябов**, старший преподаватель, **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, **С. В. Шабалкина**, доцент, канд. биол. наук.

Т 384 Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. (г. Киров, 18–19 ноября 2024 г.). – Киров : Вятский государственный университет, 2024. – 196 с.

ISBN 978-598228-284-2

В книгу вошли материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Технологии переработки отходов с получением новой продукции». Рассмотрены технологии переработки и рециклинга неорганических и органических отходов, методы и технологии переработки отходов производства и потребления с получением новой продукции. Представлены системы обеспечения экологической безопасности техногенных территорий, а также организационно-правовые и социальные аспекты 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 978-598228-284-2

© Вятский государственный университет (ВятГУ), 2024

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 1 МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

<i>Иванова И. В., Русскова И. Г.</i> Анализ перспектив использования древесных отходов как топливного сырья.....	7
<i>Удоротина Е. В., Мартакова Ю. В., Казакова Е. Г., Ушаков Н. В., Кучин А. В.</i> Порошковые лигноцеллюлозные материалы из древесной зелени ели .....	10
<i>Мартынов В. В., Щемелинина Т. Н., Анчугова Е. М., Донцов А. Г.</i> Подбор оптимальной среды на основе кородревесных отходов для культивирования ксилотрофных базидиомицетов .....	14
<i>Суворов Д. А., Вакар Л. Л., Кузнецов А. Е.</i> Повышение эффективности биологической очистки сточных вод с активным илом при использовании оксидативного воздействия .....	17
<i>Багайскова Ю. В., Манаенков И. В.</i> Применение биотехнологий для решения проблемы переработки растительных отходов, образующихся в тепличном хозяйстве.....	19
<i>Матвеева А. А., Учаев Д. И.</i> К вопросу переработки древесно-растительных отходов городского хозяйства в компост .....	22
<i>Киреева А. Р., Фокина А. И., Харина С. А., Шишкина В. В.</i> Разработка рецептуры лекарственных карандашей на основе пчелиного воска и смолы ели обыкновенной.....	24
<i>Вотинцева С. А., Козвонин В. А., Товстик Е. В.</i> Исследование экстрагирующей способности L-аргинина для извлечения флавоноидов из растительного сырья.....	27
<i>Шутова Д. В., Соловьёва Е. С.</i> Получение экстрактов с высоким содержанием витамина С и β-каротина из отходов переработки растительного сырья .....	30
<i>Щербакова Т. П.</i> Методы переработки агропромышленных отходов .....	34
<i>Габдулхаев К. Р., Хакимуллин Ю. Н., Зимина А. С., Готлиб Е. М.</i> Изучение возможности применения диоксида кремния из рисовой шелухи в рецептуре силоксановых резин .....	37
<i>Данилова С. Н., Ямалеева Е. С., Готлиб Е. М., Охлопкова А. А., Ярусова С. Б., Гордиенко П. С.</i> Состав и свойства синтетического волластонита, полученного на основе отходов производства риса и борной кислоты.....	40
<i>Грошева С. В., Шлапак С. А., Тихонова И. О.</i> Новые сорбенты из крупнотоннажных агропромышленных отходов .....	43
<i>Мытько Д. В., Шибeka Л. А.</i> Структурные особенности сорбента, полученного из отхода производства солода .....	46

<b>Никитина Е. Л., Загорец П. А., Феофанова Ю. А., Качков А. А.</b> Использование органических сорбентов для очистки воды от нефтепродуктов.....	50
<b>Голубь Р. И., Кручиреску Д. Г., Работникова Л. И., Войтко Е. Д., Арнаут С. Л., Фёдоров С. К.</b> Экономическая перспектива производства виноградного подкислителя.....	53
<b>Пузик Г. А., Дорошкевич В. С., Зубкова Ю. Н.</b> Применение гуминовых стимуляторов роста растений на лесных культурах с целью охраны биосферы.....	57
<b>Бухарина И. Л., Пашкова А. С., Ковальчук А. Г.</b> Технологии утилизации органических отходов с использованием биообъектов.....	61
<b>Прокудина О. В., Песцов Г. В., Третьякова А. В., Мягкова А. С.</b> Изучение и подбор субстратов из органических отходов для культивирования личинок насекомого <i>Hermetia illucens</i> .....	64
<b>Песцов Г. В., Прокудина О. В., Третьякова А. В., Мягкова А. С.</b> Получение белкового концентрата и липидов из личинок насекомого черная львинка.....	67

## СЕКЦИЯ 2 ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И РЕЦИКЛИНГ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

<b>Дьячков А. А., Рубин Е. М., Колесников А. В.</b> Обзор перспективных методов очистки серной кислоты с сохранением целевого компонента .....	70
<b>Драгунова О. А., Шадрина В. С., Крюков А. Ю., Винокурова О. В., Десятов А. В.</b> Переработка отработанных литий-ионных аккумуляторов на основе железофосфата лития .....	73
<b>Мазунин С. С., Лопарев А. А., Девятерикова С. В., Камалов К. О.</b> Сепарация отработанных литий-ионных аккумуляторов электронных сигарет .....	76
<b>Шумилова М. А., Суксин Н. Е., Чаусов Ф. Ф.</b> Кинетика процесса осаждения никеля из отработанного электролита.....	80
<b>Айтбаев А., Рубин Е. М., Колесников А. В.</b> Оценка энергетических затрат электрохимического метода получения пероксида водорода.....	85
<b>Бушуев Д. А., Зеновьев И. А., Милетенко Н. И., Кунилова И. В.</b> Исследование эффективности магнитной сепарации золошлаковых отходов слоевого сжигания углей .....	89
<b>Щербакова Т. П., Гилев Д. С.</b> Влияние техногенной добавки на структуру и свойства цементного камня .....	92
<b>Ярусова С. Б., Гордиенко П. С., Панасенко А. Е., Харченко У. В., Беленева И. А., Буланова С. Б., Данилова С. Н.</b> Сорбция микроорганизмов силикатами кальция из техногенного сырья.....	97
<b>Сырчина Н. В., Козвонин В. А.</b> Влияние фосфоритов Верхнекамских бедных на содержание подвижных форм фосфора и калия в агродерново-подзолистых почвах.....	100

<i>Кудрявцева А. С., Камалов К. О., Девятерикова С. В.</i> Установка для определения газопроницаемости пористых материалов.....	103
---	-----

СЕКЦИЯ 3  
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И РЕЦИКЛИНГ  
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

<i>Рубцова С. А., Хуришкainen Т. В., Чукичева И. Ю., Удоратина Е. В., Кучин А. В.</i> Инновационные технологии переработки отходов лесопромышленного комплекса для получения новых веществ и материалов.....	108
<i>Рябков Ю. И., Булатов С. И., Кучин А. В.</i> Разработка новых материалов и технологий при утилизации техногенных отходов.....	111
<i>Данилова С. Н., Охлопкова А. А., Ярусова С. Б., Дьяконов А. А., Васильев А. П., Гордиенко П. С.</i> Разработка композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена с бинарным наполнением .....	116
<i>Красновских М. П., Горина Э. Ю., Иванов Д. В., Мокрушин И. Г.</i> Оценка применения продуктов пиролиза полимерных отходов в качестве добавок к дорожному битуму.....	119
<i>Гордиенок И. А., Бродский В. А.</i> Оптимизация систем очистки сточных вод предприятий гальванического металлургического профиля с использованием адаптивных баз данных.....	122
<i>Малькова Ю. О., Бродский В. А., Перфильева А. В., Кисленко П. Н.</i> Извлечение малорастворимых соединений бария из сточных вод методом электрофлотации с целью их повторного использования в промышленности .....	126
<i>Атаманова О. В., Тихомирова Е. И., Проказов Н. Д., Кошелев А. В.</i> Очистка водных сред от сульфат-ионов модифицированным бентонитом.....	130
<i>Рубин Е. М., Колесников А. В.</i> Повышение выхода по току электрохимической утилизации электролитов свинцовых аккумуляторов при использовании каскада электролизеров .....	134
<i>Чаусов Ф. Ф., Шумилова М. А., Пастухова Н. Н., Тимербаева З. З.</i> Термохимические свойства осаждаемых форм меди(II), выделяемых из отработанных технологических растворов.....	138
<i>Тимербаева З. З., Шумилова М. А., Чаусов Ф. Ф., Пастухова Н. Н., Мустакимов Р. В.</i> Эффективность реагентов комплексного действия – ингибиторов коррозии, солеотложений, бактерицидов и альгицидов, полученных из отработанных растворов гальванических производств.....	142
<i>Пастухова Н. Н., Тимербаева З. З., Яковлев В. А., Чаусов Ф. Ф.</i> Эффективность цинкового комплекса нитрило-трис-метилефосфоновой кислоты как ингибитора коррозии, солеотложения и биообрастаний в системе охлаждения ТЭЦ.....	145
<i>Писарева А. А., Лавриненко А. А.</i> Исследование флотации золошлаковых отходов .....	148

<b>Шаринов Д. А., Четвериков С. П.</b> Биodeградация перфторкарбоновых кислот в почве и воде бактериями родов <i>Pseudomonas</i> , <i>Ensifer</i> и их ассоциациями.....	152
<b>Миндубаев А. З., Бабынин Э. В., Минзанова С. Т.</b> Штаммы черного аспергилла, превращающие токсикант первого класса опасности в удобрение .....	155

#### СЕКЦИЯ 4

### СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

<b>Ашихмина Т. Я., Тимонов А. С., Дабах Е. В., Домнина Е. А., Кантор Г. Я., Кочурова Т. И., Кутявина Т. И., Сазанова М. Л., Рутман В. В.</b> Экологическое обследование состояния компонентов окружающей среды до начала эксплуатации филиала Экотехнопарка «Мирный».....	159
<b>Харитонов А. Э., Федосеев А. Н., Макарова А. С.</b> Основы эколого-методической системы сохранения природных экосистем и защиты биотопов от разрушения и загрязнения вредными веществами .....	164
<b>Михрабов А. И., Шлапак С. А., Тихонова И. О., Хачатуров-Тавризян А. Е.</b> Концепция создания экотехнопарка на основе метода аналитического иерархического процесса (Analytic Hierarchy Process) с учетом региональных особенностей.....	169
<b>Тихомирова Е. И., Кошелев А. В., Атаманова О. В., Головков В. Ф.</b> Технологии реабилитации объектов накопленного вреда окружающей среде с получением потенциально плодородного грунта .....	172
<b>Морозов А. А.</b> Внедрение современных экологических трендов в обращении с отходами I–II классов опасности .....	178
<b>Шлапак С. А., Михрабов А. И., Тихонова И. О.</b> Анализ перспектив снижения выбросов парниковых газов от биоразлагаемых отходов.....	181
<b>Кропачева С. А., Ашихмина Т. Я., Рутман В. В.</b> Отношение населения г. Кирова к проблеме раздельного сбора коммунальных отходов.....	184
<b>Щитковская Т. Р., Муртазина Д. Р., Гайсина Л. А.</b> Правовые аспекты в обращении с отходами и пути их решения.....	189
<b>Щитковская Т. Р., Мубаракова Э. Р., Гайсина Л. А.</b> Ресурсосберегающие технологии переработки отходов.....	192

# СЕКЦИЯ 1

## МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

### АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ КАК ТОПЛИВНОГО СЫРЬЯ

*И. В. Иванова<sup>1</sup>, И. Г. Русскова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С. М. Кирова, irenalta@mail.ru*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
russkova\_ig@spbstu.ru*

В статье приведены результаты проведенных исследований теплотехнических характеристик различных древесных отходов (опилки, щепа, кора) разных пород древесины. Опытным путем выявлены особенности древесных отходов – наличие большого содержания влаги и золы. Для определения оптимальных значений параметров процесса сжигания использована методика, позволяющая оптимизировать расходы на подсушку сырья для получения максимально калорийного генераторного газа. Показана перспективность применения данного сырья как наиболее экологичного и экономически выгодного.

Ключевые слова: древесные отходы, газообразное топливо, теплотехнические характеристики, влажность, зольность.

Использование древесных отходов в качестве топлива, как альтернатива существующим – газу, углю, нефти, в ближайшие десятилетия приобретет особую актуальность. Это связано не только с сокращением запасов добываемых природных ресурсов, но и необходимостью решения экологических проблем, связанных с утилизацией побочных продуктов процесса лесозаготовки. На сегодняшний день проблема складирования древесных отходов в отвалах представляет не только пожарную, но и экологическую опасность. Кроме того, в ряде регионов страны, удаленных от систем центрального электроснабжения, а это почти 60% всей территории страны [1], локальные теплоэнергетические установки работают на привозном топливе, поэтому видится экономически оправданной и экологически обоснованной переработка древесных отходов в газообразное топливо на месте образования отходов древесины. Газообразное топливо, полученное в результате сгорания древесины, обладает рядом преимуществ перед другими видами топлива – возможностью транспортирования на большие расстояния, накопления, полнотой сгорания и отсутствием сажи-стых и сернистых соединений, приводящих к образованию кислотных осадков. В промышленных масштабах производятся древесные пеллеты и брикеты, ко-



торые можно отнести к нормированному топливу, с успехом вовлекаемому в топливный баланс.

Любое промышленное топливо из древесины должно отвечать требованиям ГОСТ-2720-44, где заданы параметры не только породы, но определены оптимальные относительная влажность – не более 18% и размеры газогенераторной чурки 4×7×10 см. Однако процесс газификации различных древесных отходов отличается от газогенераторной «стандартной» чурки. Это обусловлено различием в отходах лесозаготовок, лесопильных, деревообрабатывающих предприятий и относится не только к размерам, но и к влажности, зольности отходов. Для оценки перспектив использования того или иного вида отходов в качестве газогенераторного топлива была проведена серия опытов на лабораторной базе кафедры промышленной энергетики СПбГЛТУ (рис. 1). В качестве экспериментальных образцов были взяты три вида наиболее распространенных отходов лесозаготовок и деревообработки: опилки из пилорамы, топливная щепка и кора деревьев хвойных пород. В результате эксперимента опытным путем были получены значения влажности  $W^p$ , зольности  $A^p$ , летучих веществ  $V^l$  и кокса древесных отходов в соответствии с общепринятыми методиками [2–4]. Теплоту сгорания рабочего топлива определяли калориметрическим методом (рис. 2). Полученные данные приведены в таблице.



Рис. 1. Лабораторная установка для определения летучих горючих веществ и зольности топлива



Рис. 2. Калориметрическая установка для определения теплоты сгорания твердого топлива

*Таблица*

**Значения основных теплотехнических характеристик  
трех опытных образцов отходов древесины**

№ п/п	Отходы	$W^p$ , %	$A^p$ , %	$V^l$ , %	Кокс, %
1	Опилки	30,02	0,42	82,2	17,8
2	Топливная щепка	14,7	1,80	84,1	15,9
3	Кора хвойных пород	49,8	1,41	71,3	28,7

Исходя из уравнения элементного состава сухой массы древесных отходов и полученных в результате эксперимента значений зольности рабочей массы и влажности можно теоретически рассчитать элементарный состав рабочей массы древесных отходов при любой величине исходной влажности образца древесины [5]. Это позволяет спрогнозировать величину теплоты сгорания отходов и подобрать необходимый газогенератор с требуемым КПД.

Так, при влажности 20% все образцы древесных отходов показали достаточно высокую теплоту сгорания порядка 14 МДж, что гарантирует получение высококалорийного генераторного газа, при этом нет необходимости дополнительно подсушивать отходы [6].

Расчеты показали, что при себестоимости топлива от ГУПТЭК по 1200 руб. за 1 Гкал, при этом потребитель платит в среднем до 2800 руб. за 1 Гкал теплоты, включая затраты на доставку, эксплуатацию сетей и т. д., в то время как себестоимость древесных отходов обходится потребителю в 300–400 руб. за 1 Гкал теплоты. В этом случае капитальные затраты сводятся к приобретению подходящей топки, которые выпускает промышленность в широком диапазоне типоразмеров и под разные задачи. В среднем, при цене котла порядка 2 млн руб. (например, фирмы ОАО «Бийский котельный завод», паровые турбины малой мощности фирмы ОАО «Калужский турбинный завод» и др.), срок окупаемости такого оборудования составит 3–5 лет.

Таким образом, используя отходы лесозаготовки и деревообработки в качестве топлива можно решить целый ряд эколого-экономических задач, направленных на снижение объемов заготовок традиционной древесины, утилизацию отходов из отвалов, сокращению поступления оксидов азота и серы при их сжигании по сравнению с другими видами топлива, а также получить выраженный экономический эффект.

#### **Библиографический список**

1. Иванова И. В., Дейс А. Д. Рациональное ресурсо- и теплоиспользование в лесной промышленности // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019. СПб. : СПбГЛТУ, 2020. С. 119–127.
2. ГОСТ Р 52911-2013. Топливо твердое минеральное. Определение общей влаги. М. : Стандартинформ, 2014. 11 с.
3. ГОСТ 11022-95 (ИСО 1171-97). Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности (с Изменением № 1). М. : Стандартинформ, 2006. 6 с.
4. ГОСТ 6382-2001 (ИСО 562-98, ИСО 5071-1-97). Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. 19 с.
5. Топливо. Тепловой баланс котельного агрегата: учебное пособие для студентов очной и заочной форм обучения / А. А. Куликов, А. Ф. Смоляков, И. Н. Дюкова и др. СПб. : СПбГЛТУ, 2012. 64 с.
6. Иванова И. В., Русскова И. Г. Исследование теплотехнических характеристик топлива из древесных отходов и их экологической безопасности. DOI: 10.61260/2218-130X-2023-3-1-10 // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2023. № 3. С. 1–10.

## ПОРОШКОВЫЕ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ЕЛИ

*Е. В. Удоратина, Ю. В. Мартакова, Е. Г. Казакова,  
Н. В. Ушаков, А. В. Кучин*

*Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ylya100287@mail.ru*

Методом кислотной гидролитической деструкции из постэкстракционного отхода древесной зелени ели (*Picea abies*) получены лигноцеллюлозные порошковые материалы. Исследованы физико-химические, структурно-химические и морфологические изменения полученных лигноцеллюлозных порошков в сравнении с исходным образцом.

Ключевые слова: древесная зелень, *Picea abies*, постэкстракционный отход, гидролитическая деструкция, лигноцеллюлозные порошки, функциональный состав, надмолекулярная структура, микроструктура, термические свойства.

После извлечения ценных биологически активных веществ из древесной зелени хвойных растений по технологии эмульсионной экстракции [1] остается более 90% постэкстракционных отходов (шрота), часть которых используется в животноводстве в качестве биологически активной кормовой добавки [2], однако большая часть этого отхода остается невостребованной. Изучение химического состава шрота показало, что основным его компонентом является лигноуглеводный комплекс, состоящий из ~36% лигнина, ~24% целлюлозы, ~12% гемицеллюлоз [3].

Лигноцеллюлозные отходы имеют большой потенциал в отношении как выделения из них отдельных компонентов (целлюлозы, лигнина, гемицеллюлоз), так и получения на их основе разнообразных лигноцеллюлозных материалов, в том числе и порошковых [4]. Такие материалы имеют потенциал применения в качестве сорбентов, добавок, модификаторов и носителей в композиционных материалах [5].

Самым распространённым способом получения порошковых лигноцеллюлозных материалов является их частичная гидролитическая деструкция с использованием растворов минеральных кислот. В процессе такой обработки происходит разрушение структуры лигноуглеводного комплекса. При этом физико-химические характеристики получаемых продуктов (размер частиц, кристалличность и термическая стабильность) и их морфология в значительной степени зависят от вида сырьевого источника, и от условий кислотной деструкции (температуры, времени реакции, типа и концентрации используемой кислоты, а также соотношения твердого вещества и кислоты).

Лигноцеллюлозные порошки (ЛПЦ) получали из постэкстракционного отхода древесной зелени ели, представляющего собой полидисперсный материал с размером частиц 0,5–1,0 см и остаточной щелочностью 10,8 мг NaOH/г образца (1,1%). Предварительно промытый деонизированной водой от остаточной щелочности, декатионированный 0,1 н. HCl и высушенный при 40 °С материал

подвергали гидролитической деструкции 10%-ными растворами минеральных кислот ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ) и пероксомonosерной кислоты ( $H_2SO_5$ ), при концентрации массы 5%, при температуре кипения смеси в течение 3 ч. Полученные ЛЦП были обозначены как ЛЦП- $H_2SO_4$ , ЛЦП- $HNO_3$ , ЛЦП- $H_2SO_5$ , соответственно.

Физико-химические характеристики ЛЦП приведены в таблице 1. В результате гидролитической деструкции шрота получены ЛЦП с выходом от 43 до 61%, содержащие лигнина от 14 до 29%. Наименьшим значением выхода и меньшим содержанием лигнина характеризуется ЛЦП- $HNO_3$ , так как азотная кислота является активным делигнифицирующим агентом. В процессе обработки серной и пероксомonosерной кислотами в большей степени происходит деструкция нецеллюлозных компонентов, с преобразованием их в легко удаляемые низкомолекулярные соединения, с сохранением лигнина.

Таблица 1

**Физико-химические свойства лигноцеллюлозных порошков**

Параметр	Шрот	ЛЦП- $H_2SO_4$	ЛЦП- $HNO_3$	ЛЦП- $H_2SO_5$
Выход (%)	–	60,7±1,7	42,5±1,1	53,1±1,3
Содержание лигнина (%)	28,9±1,3	21,7±1,6	14,1±2,5	26,6±1,1
Содержание карбонильных групп (%)	0,57	0,50±0,1	0,52±0,1	0,56±0,1
Содержание карбоксильных групп (%)	1,17	2,09±0,2	2,50±0,2	4,98±0,2
Полный поверхностный заряд, $-q_{max} \times 10^{-3}$ Кул/г	–	22,85	28,5	70,42

Примечание: «–» – не определяется для исходного образца.

Гидролитическая деструкция способствует обогащению ЛЦП карбоксильными группами, содержание которых увеличивается в ~2–4 раза, что делает получаемые порошковые материалы наиболее реакционноспособными по сравнению со шротом. Изменение в функциональном составе обусловлено частичной деструкцией макромолекул лигнина и полисахаридов, вероятно, за счет разрыва эфирных и гликозидных связей. Наибольшее содержание функциональных  $COOH$ –,  $CONH$ –групп среди ЛЦП наблюдается в ЛЦП- $H_2SO_5$ . Пероксомonosерная кислота способствует окислительной деструкции сырья, вследствие чего содержание  $COOH$ –групп увеличивается в ~2 раза по сравнению с другими ЛЦП. Для исследования доступности функциональных групп исследовали их электроповерхностные характеристики. Чем больше содержится в ЛЦП  $COOH$ –групп, тем выше полный поверхностный заряд ( $-q_{max}$ ) его частиц (табл. 1). Наименьший заряд поверхности во всем интервале значений pH водной суспензии имеет образец ЛЦП- $H_2SO_4$ : ( $-q_{max} \sim 22850$  Кул/г при pH = 9). Величина отрицательного заряда поверхности ЛЦП- $H_2SO_5$  больше в 3 раза и составляет при этом же значении pH  $-q_{max} = 70420$  Кл/г. Графически зависимость отрицательного заряда поверхности от величины pH водной суспензии для ЛЦП представлена на рисунке 1. Таким образом, лигноцеллюлозный порошок, полученный гидролитической обработкой сырья пероксомonosерной кислотой, имеет существенно большую ионообменную активность поверхностных функ-

циональных групп (-COOH), что делает его перспективным для использования, например, в качестве сорбента.

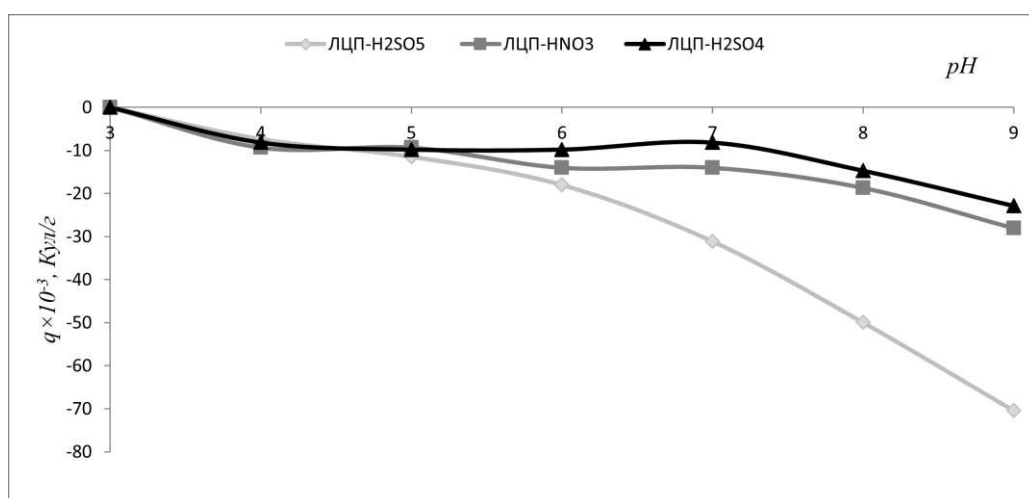


Рис. 1. Зависимость полного поверхностного заряда  $q$  от величины pH водной суспензии

Надмолекулярную структуру для ЛЦП и исходного шрота изучали методом рентгенофазового анализа (рис. 2).

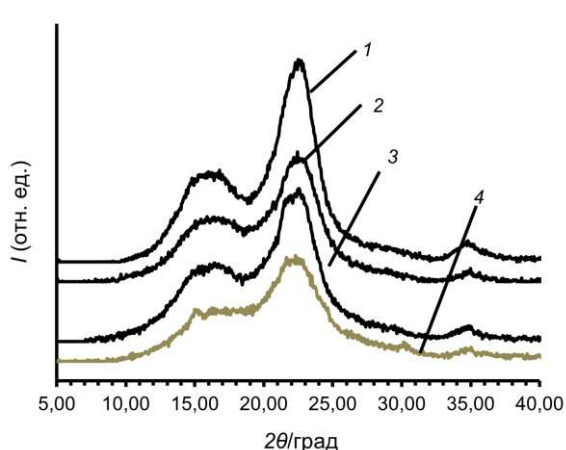


Рис. 2. Рентгеновские дифрактограммы ЛЦП-НNO<sub>3</sub> (1), ЛЦП-Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (2), ЛЦП-Н<sub>2</sub>SO<sub>5</sub> (3) и шрота (4)

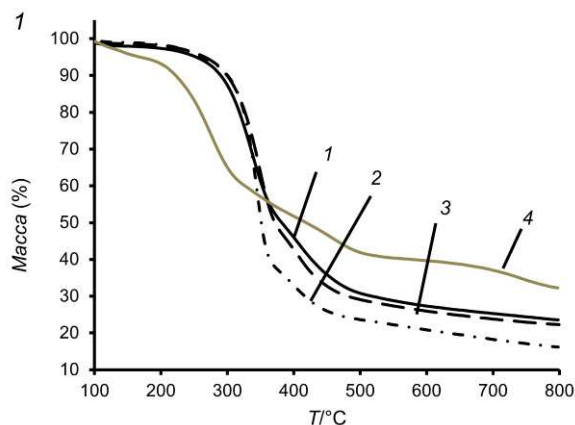


Рис. 3. ТГА (1) термограммы ЛЦП-Н<sub>2</sub>SO<sub>5</sub> (1), ЛЦП-НNO<sub>3</sub> (2), ЛЦП-Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3) и шрота (4)

Положение основных рефлексов на дифрактограммах в области углов  $2\theta$  15°–17°, 22–23° и 34–35°, относящихся к отражению от плоскостей 1–10, 110, 200 и 004 целлюлозной ячейки, соответственно, характерно для структурной модификации целлюлозы I и является идентичным как для исходного сырья, так и для ЛЦП. Это свидетельствует о том, что значительных различий в надмолекулярной структуре исходного и порошковых образцов не наблюдается, также не происходит значительных изменений кристаллографической ячейки целлюлозы. Однако, рефлексы в области кристалличности ( $2\theta = 22\text{--}23^\circ$ ) характеризуются большей интенсивностью у ЛЦП, и в большей степени ЛЦП-

$\text{HNO}_3$ , что связано с меньшим содержанием в нем лигнина, являющегося аморфным полимером.

Изучены термические свойства ЛЦП с помощью метода термогравиметрии (ТГ) (рис. 3). Анализ кривой ТГ показывает, что ЛЦП являются термически более устойчивыми, чем шрот. В интервале температур 280–490 °С отмечен процесс интенсивной термодеструкции ЛЦП, тогда как для шрота характерна интенсивная потеря массы в более широком диапазоне температур (210–500 °С). Интенсивная термодеструкция связана с разрывом внутримолекулярных связей между атомами С-С, С-Н, С-О и межмолекулярных связей в лигноуглеводных образцах. Меньшая термическая устойчивость шрота объясняется большим содержанием нецеллюлозных полисахаридов в составе ее лигнополисахаридного комплекса, которые быстрее разлагаются при пиролизе. Напротив, ЛЦП, в частности ЛЦП- $\text{H}_2\text{SO}_5$ , содержит большое количество лигнина (табл. 1), что и сказывается на большей термостабильности по сравнению с исходным образцом и другими ЛЦП.

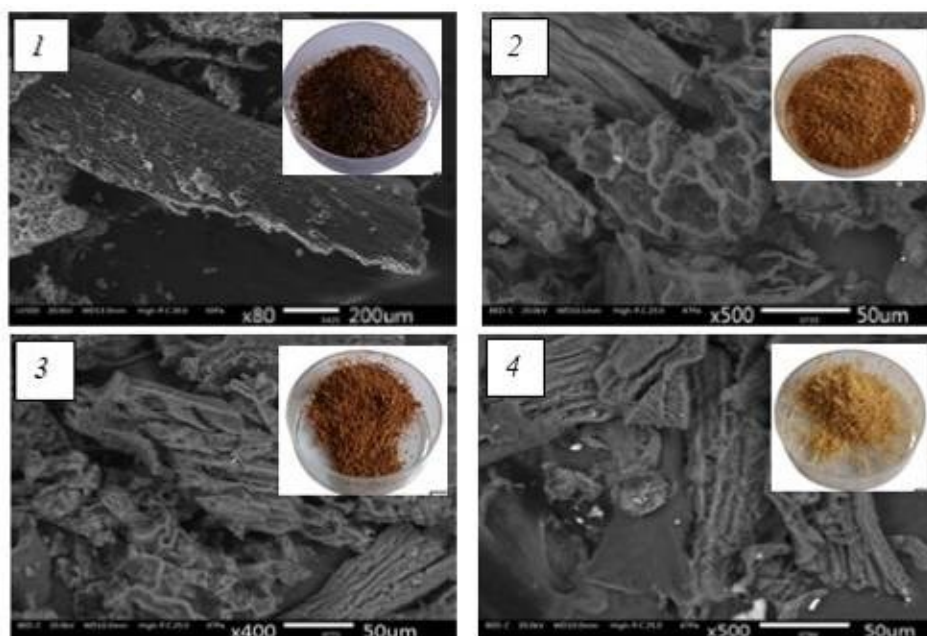


Рис. 4. Фотографии ЛЦП и микрофотографии (РЭМ) поверхности ЛЦП: 1 – шрот, 2 – ЛЦП- $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 3 – ЛЦП- $\text{H}_2\text{SO}_5$ , 4 – ЛЦП- $\text{HNO}_3$

Анализ микроструктуры и морфологических особенностей шрота и продуктов на его основе, проведенный с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ), показал, что все образцы являются полидисперсными с широким распределением частиц по размерам (рис. 4). Шрот характеризуется в основном крупными частицами продолговатой формы с максимальной длиной 1,0–2,3 мм и шириной в 2 раза меньше (900–500 мкм). Поверхность частиц – шероховатая, имеет фибриллярную структуру. Морфологическая структура ЛЦП имеет общие черты – более однородные по размеру частицы в основном палочкообразной формы со средними размерами 90–570 мкм в длину и 50–100 мкм в ширину. Поверхность частиц ЛЦП не имеет упорядоченной фибрил-

лярной структуры, она более рыхлая с меньшей плотностью и более высокой пористостью.

Таким образом, из постэкстракционного остатка древесной зелени ели методом частичной гидролитической деструкции получены лигноцеллюлозные порошковые материалы. Физико-химические и термические свойства лигноцеллюлозных порошков, их морфологию и надмолекулярную структуру можно регулировать типом кислотного реагента. ЛЦП из отхода древесной зелени могут являться альтернативой порошковым материалам, полученных из других растительных источников.

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда, проект № 21-73-20091, <https://rscf.ru/project/21-73-20091/>.*

#### **Библиографический список**

1. Кучин А. В., Хуршкайнен Т. В. Вэрва – комплексные биопрепараты для растениеводства. Сыктывкар : Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2020. 240 с.
2. Кучин А. В., Хуршкайнен Т. В. Хвойная кормовая добавка Вэрва для животных и птиц. Сыктывкар : Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2019. 160 с.
3. Мартакова Ю. В., Удоратина Е. В. Комплексное изучение компонентов шрота – отхода переработки древесной зелени ели. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-151-158 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 151–158.
4. Haldar D., Purkait M. K. Micro and nanocrystalline cellulose derivatives of lignocellulosic biomass: A review on synthesis, applications and advancements. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.116937 // Carbohydrate Polymers. 2020. Vol. 250. P. 116937.
5. Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application-A review / D. Trache, M. H. Hussin, C. T. Hui Chuin et al. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.09.056 // International Journal of Biological Macromolecules. 2016. Vol. 93. P. 789–804.

### **ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ КОРОДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ**

***В. В. Мартынов, Т. Н. Щемелинина, Е. М. Анчугова, А. Г. Донцов***  
*Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук,  
[martynov.v.v@ib.komisc.ru](mailto:martynov.v.v@ib.komisc.ru)*

В материалах представлен сравнительный анализ двух питательных сред для культивирования ксилотрофных базидиомицетов – продуцентов ферментов для биоконверсии растительного сырья. Выявлен высокий уровень накопления целлюлозолитических ферментов штаммом *Rhodofomes roseus* на среде с использованием кородревесных отходов (КДО) в качестве единственного источника углерода. Установлена зависимость накопления целлюлозолитических ферментов штаммом *Fomitopsis pinicola* от длительности культивирования и содержания КДО в питательной среде.

Ключевые слова: кородревесные отходы, питательная среда, ксилотрофные базидиомицеты, ферментативная активность.



Проблема утилизации кородревесных отходов (КДО) длительного хранения остро стоит и в Республике Коми. В черте г. Сыктывкар почти 100 лет – с 1926 г. существует короотвал Сыктывкарского лесопильно-деревообрабатывающего комбината. В настоящее время его площадь составляет около 10 га, высота колеблется от 20 до 27 м, а объем размещенных отходов оценивают в 1 млн м<sup>3</sup> [1]. Остаются актуальными поиск и разработка технологий, позволяющих вовлечь в хозяйственный оборот накопленные объемы КДО. Одним из возможных решений для их утилизации является использование КДО в составе питательных сред для культивирования ксилотрофных базидиомицетов – продуцентов ферментных препаратов для биоконверсии растительного сырья [2].

В работе использовали КДО верхней части профиля с малым сроком хранения (2–5 лет). В качестве продуцентов ферментов использовали отобранные в окрестностях г. Сыктывкара и введенные в культуру штаммы ксилотрофных базидиомицетов: *Rhodofomes roseus* (Alb. & Schwein.) Kotl. & Pouzar и *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.

В результате проведенных исследований разработана модифицированная среда для глубинного культивирования, состав которой включает следующие элементы: источники азота ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и мочевины), фосфора (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), а так же микроэлементы (MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, MnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, CaCl<sub>2</sub>). В качестве источника углерода использовали КДО (среда 1). Контролем служила среда, содержащая те же минеральные компоненты и сахароза в концентрации 1% от объема. В рамках эксперимента оценивали количественные показатели активности ферментов (эндоглюконазы, экзоглюконазы, β-глюкозидазы) в зависимости от состава питательных сред.

Внесение КДО в качестве единственного источника углерода положительно влияет на ферментативную активность грибов. Так, например, уже на восьмые сутки культивирования на КДО у штамма *F. pinicola* наблюдали высокую эндоглюканазную активность (1800 ед./г), что согласуется с данными Paramjeet et al. [3]. Для штамма *R. roseus* при культивировании на КДО наблюдали высокий уровень активности ферментов, особенно эндоглюканазы и β-глюкозидазы. Эти результаты также совпадают с данными других исследователей, которые отмечали высокую ферментативную активность данного штамма при использовании различных субстратов [4] (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Целлюлазная активность *Fomitopsis pinicola***

Активность Ед./г	Сутки				
	4	8	12	16	20
Среда 1 (КДО)					
Эндоглюканаза	414,93 <sup>a</sup>	1821,55 <sup>b</sup>	393,03 <sup>c</sup>	161,68 <sup>d</sup>	86,71 <sup>e</sup>
Экзоглюканаза	279,94 <sup>a</sup>	316,79 <sup>b</sup>	234,77 <sup>c</sup>	217,67 <sup>c</sup>	350,45 <sup>d</sup>
β-глюкозидаза	43,17 <sup>a</sup>	137,89 <sup>b</sup>	530,07 <sup>c</sup>	443,58 <sup>d</sup>	631,85 <sup>e</sup>
Среда 2 (Сахароза)					
Эндоглюканаза	105,8 <sup>a</sup>	269,6 <sup>b</sup>	339,1 <sup>c</sup>	378,13 <sup>d</sup>	584,94 <sup>e</sup>
Экзоглюканаза	96,3 <sup>a</sup>	258,87 <sup>b</sup>	389,24 <sup>c</sup>	584,64 <sup>d</sup>	784,74 <sup>e</sup>
β-глюкозидаза	62,2 <sup>a</sup>	171,3 <sup>b</sup>	347,4 <sup>c</sup>	520,35 <sup>d</sup>	691,27 <sup>e</sup>



Целлюлазная активность *Rhodofomes roseus*

Активность ед/г	Сутки				
	4	8	12	16	20
Среда 1 (КДО)					
Эндоглюканаза	509,82 <sup>a</sup>	428,99 <sup>b</sup>	623,79 <sup>c</sup>	890,16 <sup>d</sup>	1038,41 <sup>e</sup>
Экзоглюканаза	236,15 <sup>a</sup>	275,52 <sup>b</sup>	372,88 <sup>c</sup>	457,68 <sup>d</sup>	865,24 <sup>e</sup>
β-глюкозидаза	30,38 <sup>a</sup>	327,11 <sup>b</sup>	540,98 <sup>c</sup>	844,77 <sup>d</sup>	1285,82 <sup>e</sup>
Среда 2 (Сахароза)					
Эндоглюканаза	142,8 <sup>a</sup>	225,13 <sup>b</sup>	314,25 <sup>c</sup>	691,16 <sup>d</sup>	640,82 <sup>e</sup>
Экзоглюканаза	145,9 <sup>a</sup>	396,48 <sup>b</sup>	595,3 <sup>c</sup>	616,53 <sup>c</sup>	610,2 <sup>c</sup>
β-глюкозидаза	122,12 <sup>a</sup>	336,55 <sup>b</sup>	407,9 <sup>c</sup>	667,4 <sup>d</sup>	897,83 <sup>e</sup>

*Примечание:* разные буквы указывают на значимые различия ферментативной активности на основе теста Манна-Уитни при  $p < 0,05$ .

Необходимо отметить, что относительно высокой активности штаммов-продуцентов на обеих средах удалось достигнуть в сравнительно длительные сроки – на двадцатые сутки, тогда как ранее проведенные исследования показали, что штаммы могут иметь аналогичные показатели активности на 14–16 суток. Это может быть связано с особенностями самого КДО как субстрата, представляющего собой лигноцеллюлозный комплекс, состоящий из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина.

## Библиографический список

1. Специфика трансформации органического вещества в кородревесных отвалах длительного хранения / Р. С. Василевич, Е. Д. Гундерина, Д. Н. Габов и др. // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы V Всеросс. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 71–74.
2. El Enshasy H. A. Mushroom cultivation in submerged culture for bioactive compounds production. DOI: 10.1201/9781003343806-3 // Bioprospects of Macrofungi. 2023. P. 17–30.
3. Paramjeet S. Manasa P., Korrapati N. Biofuels: Production of fungal-mediated ligninolytic enzymes and the modes of bioprocesses utilizing agro-based residues. DOI: 10.1016/j.bcab.2018.02.007 // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2018. Vol. 14. P. 57–71.
4. Shakhova N. V., Volobuev S. V. Revealing new active and biotechnologically perspective producers of oxidative and cellulolytic enzymes among pure cultures of xylotrophic *Agaricomycetes* from the Southern Non-Chernozem zone of the European part of Russia. DOI: 10.5943/cream/10/1/12 // Current Research in Environmental & Applied Mycology (Journal of Fungal Biology). Vol. 10. No. 1. P. 113–119.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С АКТИВНЫМ ИЛОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОКСИДАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Д. А. Суворов, Л. Л. Вакар, А. Е. Кузнецов*

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

В работе исследовалась очистка модельных промышленных сточных вод с высоким содержанием органических загрязнений с использованием преадаптации активного ила к перексиду водорода, освещения видимым светом и внесения пероксида водорода, а также при различных комбинациях указанных факторов.

Ключевые слова: РОВ-технологии, ХПК, ил, перексид водорода.

Разработка способов повышения эффективности очистки сточных вод от органических загрязнений, в частности, биологической очистки, представляет собой приоритетную задачу для современной природоохранной деятельности. С целью повышения эффективности биологической очистки сточных вод на кафедре биотехнологии РХТУ имени Д. И. Менделеева разрабатывается новая технология, использующая преадаптированный к оксидативному стрессу активный ил в сочетании с комбинированным воздействием на него оксидативного стресса и освещения видимым светом, которая получила название «технология регулируемого оксидативного воздействия (РОВ-технология)» [1]. Предполагается, что благоприятное влияние на очистку, наблюдаемое при использовании РОВ-технологии, может проявляться вследствие того, что, после воздействия стресс-факторов на клетки микроорганизмов наблюдаются изменения в регуляции клеточных процессов и биосинтезе различных ферментов [2], а также повышается устойчивость биоценозов ила к различным неблагоприятным воздействиям.

Использовалась модельная сточная вода с ХПК 3800 мг  $O_2$ /л следующего состава (г/л): ацетат натрия – 0,94; глюкоза – 2,80; дрожжевой экстракт – 0,34; пептон – 0,58;  $(NH_4)_2SO_4$  – 0,83;  $CaCl_2$  – 0,40;  $KH_2PO_4$  – 0,22;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,20;  $NaCl$  – 0,06. Путем многократного пересева на модельной сточной воде были получены линии активного ила, преадаптированные к различным количествам вносимого агента оксидативного стресса – пероксида водорода. Среди полученных линий ила была выбрана для дальнейшего изучения линия ила, преадаптированная к внесению 0,16 г  $H_2O_2$  на 1 г АСВ биомассы ила (0,20 г  $H_2O_2$ /л в пересчете на объемную концентрацию), у которой наблюдались наиболее выраженные и воспроизводимые изменения с улучшением показателей очистки модельной сточной воды в условиях воздействия пероксида водорода и света.

Для полученной преадаптированной линии ила определяли показатели очистки в отношении снижения значения ХПК в сравнении с неадаптированной

контрольной линией. Ил преадаптированной и неадаптированной линий предварительно выращивали в колбах объемом 250 мл на качалке с 50 мл модельной сточной воды при комнатной температуре и перемешивании при 180 об/мин в течение 7 суток, затем отмывали центрифугированием при 4000 об/мин в течение 10 минут и ресуспендировали в 100 мл исходной модельной сточной воды с последующим проведением биологической очистки в темноте или при освещении видимым светом с интенсивностью 700 Лк, а также при внесении разных количеств пероксида водорода в исходную модельную сточную воду.

Динамика снижения значения ХПК в ходе процесса очистки представлена в таблице.

Таблица

**Динамика изменения ХПК, мг  $O_2$ /л для линии ила преадаптированной к 0,16 г  $H_2O_2$ /г АСВ, в сравнении с неадаптированной линией в условиях очистки при освещении видимым светом очищаемой среды или в его отсутствии, а также разным количестве вносимого  $H_2O_2$  в исходную модельную сточную воду с ХПК 3800 мг  $O_2$ /л**

Линия ила	Условия	Количество внесенного $H_2O_2$ , г $H_2O_2$ / г АСВ	Длительность очистки, час				
			6	21	48	72	168
Неадаптированная к $H_2O_2$	Свет	0	2251	1995	394	220	162
		0,004	2436	2115	335	245	198
		0,043	2580	2138	375	222	186
		0,216	2600	2220	345	251	180
		0,431	2558	2257	437	233	179
	Темнота	0	2375	1906	372	255	184
		0,004	2485	1865	329	180	176
		0,043	2371	1820	360	247	207
		0,216	2292	1656	320	239	208
		0,431	2391	1794	363	257	196
Преадаптированная к 0,16 г $H_2O_2$ / г АСВ	Свет	0	2168	1388	209	170	159
		0,004	2097	1224	195	171	164
		0,043	2025	1059	180	172	168
		0,216	2172	1012	166	163	156
		0,431	2205	1092	175	168	163
	Темнота	0	2138	1390	209	152	145
		0,004	2090	1018	251	152	140
		0,043	2044	1051	154	144	132
		0,216	2187	1407	203	194	168
		0,431	2144	1424	168	158	141

Линия ила, преадаптированная к 0,16 г  $H_2O_2$ /г АСВ, очищала воду от органических загрязнений существенно лучше, чем неадаптированная линия. При этом внесение  $H_2O_2$  оказывало воспроизводимое и значимое положительное влияние на снижение ХПК преадаптированной линией лишь при очистке на свету, тогда как в отношении неадаптированной линии ила такого не наблюдалось. Применительно к очистке сточных вод с высокой загрязненностью органическими соединениями полученные результаты подтверждают важность использования комбинации трех факторов в условиях контролируемого оксида-

тивного воздействия: преадаптации к пероксиду водорода клеток активного ила, внесения в процессе очистки пероксида водорода и освещения видимым светом.

#### **Библиографический список**

1. Пат. 2744230. РФ, С1, МПК С02F 3/00. Способ биологической очистки сточных вод с регулируемым оксидативным воздействием : № 2020118749 : заявл. 2020.06.07 : опубл. 2021.03.03 / Кузнецов А. Е., Мелиоранский А. В. 6 с.

2. Lushchak V. I. Adaptive response to oxidative stress: Bacteria, fungi, plants and animals. DOI: 10.1016/j.cbpc.2010.10.004 // Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 2011. Vol. 153. No. 2. P. 175–190.

### **ПРИМЕНЕНИЕ BIOTEХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ТЕПЛИЧНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*Ю. В. Багайскова, И. В. Манаенков*

*Волгоградский государственный университет,  
j.v.bagayskova@gmail.com, manaenkov@volsy.ru*

В настоящее время одна из самых актуальных проблем является проблема энергосбережения, энергоэффективности предприятия, а также уменьшение затрат при производстве продукции.

В данной статье рассмотрена проблема образования растительных отходов в тепличных хозяйствах, а также способы ее утилизации путем преобразования в биотопливо, которое можно использовать для производства тепловой и электроэнергии.

Ключевые слова: растительные отходы, тепличное хозяйство, биотопливо, ботва, топливные брикеты, топливные гранулы.

Современные тепличные комплексы в настоящее время представляют одну из самых интенсивно развивающихся отраслей растениеводства и практикуются во многих странах мира. В России растениеводство занимает 54% объема сельхозпроизводства [1].

В тепличных хозяйствах при выращивании овощей образуется большое количество ботвы. Например, площадь тепличного комплекса ООО «Овощевод» г. Волжский, который входит в ГК «РОСТ», составляет 68,3 га [2], а урожайность составляет 47 тыс. овощей в год [3]. Ежегодно на данном предприятии, согласно данным компании ООО «ТОРА» г. Волжский, которая является оператором по обращению с отходами I–V класса опасности, образуется 5418 т растительных отходов [4], что составляет 79,32 т с 1 га. Весь объем растительных отходов ООО «Овощевод» размещает на специализированном полигоне, что представляет собой достаточно весомые финансовые затраты для тепличного хозяйства.

Внедрение биотехнологий в сферу тепличных хозяйств позволит организовать практически безотходное производство и ведет к созданию новых продуктов.

Существуют различные способы утилизации ботвы, которые позволят снизить затраты производства и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Мы считаем, что наиболее перспективным способом для утилизации растительных отходов ООО «Овощевод» является получение из ботвы томатов твердого биотоплива в виде гранул или брикетов путем измельчения и прессования ботвы с добавлением древесины. Именно благодаря древесине, в которой содержится лигнин (природный полимер, содержащийся в растительных клетках), измельченная ботва прекрасно гранулируется и брикетируется.

Технологический процесс получения топливных гранул (пеллет) состоит из следующих этапов. Сырье пропускается через дробилку, которая его измельчает до фракции с размерами  $25 \times 25 \times 2$  мм [5]. Далее, оно поступает в сушилку, после которой необходимо произвести доизмельчение сухого сырья до фракции не более 4 мм [5]. После сушки производится водоподготовка. Сырье с влажностью менее 8% плохо поддается прессованию, поэтому необходимо дополнительно увлажнить сырье путем добавления воды или обработки паром. После готовое сырье попадает в пресс-формователь. Именно под воздействием пресса лигнин выделяется из древесины, размягчается и склеивает все составляющие материалы. Выделение и спекание лигнина обеспечивает твердость биотоплива, его прочность и защиту от влаги, что важно для транспортировки и хранения. После гранулы охлаждают, фасуют и упаковывают. Упаковка топливных гранул для удобства потребителя может быть насыпью, в мешках или же в мелкой расфасовке.

Технология получения топливных брикетов очень похожа на технологию получения гранул: прессование сырья и мелких фракции древесины под высоким давлением при нагревании или без него, с последующим измельчением, сушкой и прессовкой сырья.

При производстве брикетов, так же, как и при производстве гранул, важную роль играет влажность сырья, которая влияет на плотность брикета. Если влажность превышает 14% [5] брикет может просто разрушиться. Объем брикета составляет примерно 1/10 от объема использованного при его производстве сырья [5].

После окончания технологического процесса получения биотоплива его можно использовать для получения тепловой и электроэнергии путем сжигания.

Для каждого вида топлива существует определенная технология сжигания. Топливные брикеты горят практически бездымно, в отличии от угля и дизельного топлива. Кроме того, они более энергоэффективны, чем обычные дрова. Теплотворная способность брикетов  $4,5-5,0$  кВт·ч/кг, т. е. выше, чем у дров [6]. При получении тепловой энергии путем сжигания в котле гранулированного биотоплива, котел, исчерпав топливо, может продолжать воспроизводить тепло еще в течение 24 часов за счет малой скорости протекания процесса [5].

Достоинством же топливных брикетов является постоянство температуры при горении на протяжении 4 и более часов [5]. Топливные брикеты выделяют больше тепла, чем опилки или щепа в чистом виде.

Преимуществом использования биотоплива перед другими видами топлива для экологии является то, что сжигание биотоплива не добавляет в атмосферу диоксид углерода, вызывающий парниковый эффект [7].

Из всего выше сказанного делается вывод о том, что использование растительных отходов, образующихся в тепличном хозяйстве, в качестве биотоплива позволит сократить энергетическую зависимость от внешних источников, тем самым снизить затраты предприятия и себестоимость выращиваемой продукции.

Спрос на биотопливо в гранулах и брикетах ежегодно растет. Россия входит в тройку стран экспортеров топливных пеллет на европейском рынке. При этом только около 20% произведенного биотоплива потребляется в России [8].

Обычно твердые виды биотоплива используют в бедных странах, где нет других источников энергии, либо они очень дорогостоящие.

До 80% всего биотоплива используется людьми для приготовления еды, уборки или обогрева дома, 18% – задействовано в промышленности как источник энергии [9]. Но в будущем биотопливо может стать одним из ключевых возобновляемых источников энергии.

На запуск бизнеса по производству топливных брикетов с нуля понадобится около 10000000 рублей. Окупаемость такого бизнеса займет около 3 лет при среднемесячной прибыли около 300000 рублей [10].

Внедрение технологии переработки растительных отходов ООО «Овощевод» позволит существенно сократить нагрузку на полигон и не только экономить на утилизации, но и получать значительный дополнительный доход.

#### **Библиографический список**

1. Сельское хозяйство России. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 12.10.2024).
2. Группа компаний «РОСТ». Современные тепличные комплексы. Овощевод [Электронный ресурс]. – URL: <https://rostgroup.ru/greenhouses/ovoshevod/> (дата обращения: 12.10.2024).
3. Эксперт Юг. Волгоградскую «Ботанику» поглотил «РОСТ» [Электронный ресурс]. – URL: <https://expertsouth.ru/articles/volgogradskuyu-botaniku-poglotil-rost/> (дата обращения: 12.10.2024).
4. Годовые отчеты компании ООО «ТОРА» за 2023 г.
5. Технология производства биотоплива. Журнал «Международная Биоэнергетика» [Электронный ресурс]. – URL: <https://biointernational.ru/tiekhnologhiia-proizvodstva-biotopliva/>(дата обращения: 12.10.2024).
6. Топливные древесные брикеты как альтернатива другим видам топлива. Деловая сеть ELport. ru [Электронный ресурс]. – URL: [https://elport.ru/articles/toplivnyie\\_drevesnyie\\_briketyi\\_kak\\_alternativa\\_drugim\\_vidam\\_topliva](https://elport.ru/articles/toplivnyie_drevesnyie_briketyi_kak_alternativa_drugim_vidam_topliva) (дата обращения: 17.10.2024).
7. Биотопливо. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 12.10.2024).
8. Биотопливо: что это, виды, плюсы и минусы. РБК Тренды [Электронный ресурс]. – URL: <https://triends.rbc.ru/triends/green/610a89709a7947d644d231bb> (дата обращения: 12.10.2024).

9. Биотопливо и слоевое сжигание. Издательский дом «Аква-Терм» [Электронный ресурс]. – URL: [https://aqua-therm.ru/articles/articles\\_216.html](https://aqua-therm.ru/articles/articles_216.html) (дата обращения: 17.10.2024).
10. Как открыть производство топливных брикетов с нуля. Альтера Инвест [Электронный ресурс]. – URL: <https://alterainvest.ru/rus/biznes-idei/detail-1448683/> дата обращения: 17.10.2024).

## **К ВОПРОСУ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА В КОМПОСТ**

*А. А. Матвеева, Д. И. Учаев*

*Волгоградский государственный университет,  
aamatveeva@bk.ru*

Проблема переработки древесно-растительных отходов существует достаточно давно. Но и в настоящее время она также актуальна, особенно в городском хозяйстве, где данные виды отходов образуются при проведении сезонных работ по уходу за зелеными насаждениями (ветки от обрезки деревьев, опавшая листва, скошенная трава). Авторы в своей статье проанализировали проблему, обосновали ее значимость, рассмотрели методы переработки, и сделали выводы о целесообразности переработки мусо-перерабатывающими предприятиями данных видов отходов.

Ключевые слова: древесно-растительные отходы, компост, переработка, удобрения, измельчители, городское хозяйство.

Основными источниками образования древесно-растительных отходов являются деревоперерабатывающие предприятия. Однако, в городских хозяйствах при сезонных работах по уходу за зелеными насаждениями данные отходы также образуются в большом количестве, которые впоследствии размещаются на специализированных полигонах. При этом при переработке древесно-растительных отходов можно получить новый продукт, тем самым уменьшив затраты предприятия, или даже получить дополнительную прибыль.

Ветки от обрезки деревьев, опавшая листва, скошенная трава являются постоянно обновляемым источником энергии. Например, из данных отходов можно получить отличное удобрение – компост.

Огромную роль, которая влияет на скорость протекания процесса компостирования, играет размер и форма исходного сырья. Чем крупнее исходный материал, тем больше времени потребуется на полную переработку компоста. Существует несколько методов переработки древесно-растительных отходов: биологический, механический и химический, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Для измельчения древесно-растительных материалов используются дробилки. Для более мелкого измельчения используется измельчитель древесно-растительных отходов, который работает следующим образом. В верхнюю часть измельчителя, так называемый бункер, загружается растительное сырье и

попадает на зубчатые валки для первичного измельчения. Далее, через среднюю часть бункера, выполненного в виде усеченного корпуса частично измельченный материал попадает на ножевой аппарат, который включает в себя три ножевые системы, где окончательно измельчается и выгружается [1].

Общепринято сырье для компоста делить на «зеленое» и «коричневое». В зеленом сырье много азота, а в коричневом много углерода. Если углерода больше, а азота относительно мало, то рост бактерий и других микроорганизмов будет ограничен, скорость разложения органических веществ замедлится, а процесс ферментации будет достаточно длительным. Высокое же содержание углерода и азота в исходном сырье приведет к разложению азота в почве, в результате чего почва будет испытывать недостаток азота, тем самым замедлит рост растений. Оптимальное соотношение углерода к азоту в компостируемом материале 25–30:1. Так в свежескошенной траве это соотношение равно 15:1, а в сухих опавших листьях 50:1. То есть комбинация их в равных по объему долях даст близкую к оптимальной смесь [2].

Помимо содержания в компосте углерода и азота, требуется наличие в материале кислорода, наличие которого достигается путем перемешивания смеси. Также нужна достаточная влажность, которая необходима для протекания процесса компостирования. Но, если увлажнять компостную массу слишком часто, то полезные микробы погибнут от недостатка кислорода. При этом если компост будет слишком сухой, то микробы могут также погибнуть. Оптимальная влажность для создания качественного компоста должна держаться на уровне 50–60% [2].

Нельзя добавлять в компост стекло, пластик, синтетику и даже древесину, обработанную химическими препаратами. Также не стоит в компост часто добавлять новые ингредиенты, иначе процесс «созревания» компостной массы никогда не закончится.

Для компостирования используются специальные бункеры или открытые площадки. Для сложных способов компостирования применяют компостеры – технические средства, в которых происходит процесс компостирования с добавлением в массу нужного количества влаги и кислорода с целью получения компоста в кратчайшие сроки.

Получившееся в результате компостирования удобрение содержит калий, фосфор, азот, кальций и многие другие полезные элементы. В некоторых странах опавшую листву собирают, перерабатывают в листовую почву и продают в промышленных масштабах [3].

Применяя измельчители для древесно-растительных отходов, можно получить не только новый продукт, такой как компост, или различные виды биотоплива, но и принести экономическую выгоду предприятию-утилизатору, но и огромную экологическую пользу для городской среды в целом.

Любая урбоэкосистема отличается своими физико-географическими, природно-климатическими условиями, экономико-географическим положением, поэтому города-спутники, образующиеся и функционирующие на территории городской агломерации, сталкиваются с ежегодными проблемами переработки древесно-кустарниковой растительности при ведении озеленительных



работах [4]. В состав Волгоградской агломерации входит город-спутник Волжский, имеющий свой зеленый пояс, где произрастает древесно-кустарниковая растительность. Проблема утилизации стоит на повестке дня достаточно остро, поскольку образующиеся органические отходы могут быть вовлечены в технологический процесс вторичной переработки, используя при этом метод компостирования. Так, на территории г. Волжского расположено крупное предприятие по сбору, утилизации и переработке крупных всех видов отходов, включая медицинские отходы, отходы I–V класса опасности, ООО «Тора». Данная организация имеет технологические возможности по переработке древесно-кустарниковой растительности, что позволит занять нишу по данному виду сырья и позволит сократить расходы на озеленительные мероприятия администрации города, а также наладить цикличность процесса, совпадающего с графиком сезонных проводимых работ по озеленению [5].

Подобная практика применима уже в других урбоэкосистемах субъектов РФ, особенно необходимо отметить положительный опыт у г. Москва и Московской области, где качество производимого компоста соответствует установленным нормативам, позволяет повышать плодородие городских почв, снизить стоимость рекультивации техногенно-загрязненных почв в условиях городской среды, уменьшить объем отходов, вывозимых на полигоны.

#### **Библиографический список**

1. RCYCLE.NET // Опавшая листва как удобрение: готовим и применяем компост. [Электронный ресурс]. – URL: <https://recycle/net/drevesina/listya/kak-udobrenie-prigotovlenie-komposta?ysclid=m27aog78xv759542286#i-4/> (дата обращения: 13.10.2024).
2. Соотношение углерода и азота в компосте. [Электронный ресурс]. – URL: <https://clabel.org/ru/kompost/kompostlamada-karbon-ve-azot-orani/> (дата обращения: 13.10.2024).
3. Панова Т. В., Панов М. В. Повышение качества измельчения древесно-растительных отходов. DOI: 10.52691/2500-2651-2023-98-4-63-66 // Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 4 (98). С. 63–66.
4. Семенютина А. В., Ноянова Н. Г. Региональная специфика озеленения малых городов Южной сухостепной зоны // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2019. № 6 (372). С. 146–159.
5. Официальный сайт ООО «Тора». [Электронный ресурс]. – URL: <https://tora.ooo/> (дата обращения: 13.10.2024).

## **РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ ЛЕКАРСТВЕННЫХ КАРАНДАШЕЙ НА ОСНОВЕ ПЧЕЛИНОГО ВОСКА И СМОЛЫ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ**

*А. Р. Киреева, А. И. Фокина, С. А. Харина, В. В. Шишкина  
Вятский государственный университет, sashakir02@mail.ru*

В статье представлен опыт разработки лекарственных карандашей на основе пчелиного воска с включением смолы ели обыкновенной. А также результаты изучения физико-химических свойств материала, разработанных карандашей (количество антиоксидантов, кислотное число и температура каплепадения).

Ключевые слова: лекарственные карандаши, смола, пчелиный воск, свойства.

Пчелиный воск – продукт жизнедеятельности пчёл, сложное органическое соединение. Представляет собой твёрдое, мелкозернистое в изломе вещество, окраска которого варьирует от почти бесцветной до тёмно-жёлтой, светло-коричневой и коричневой. Пчелиный воск, полученный при соблюдении технологии переработки качественного воскового сырья, безвкусный или имеет слабый привкус меда [1]. Пчелиный воск обладает бактерицидными, ранозаживляющими и антиоксидантными свойствами и положительно влияет на кожу [2, 3].

Смола (терпентин, живица) – бесцветное вязкое вещество с характерным хвойным запахом. Терпентин содержится в смоляных ходах, пронизывающих все части дерева, и выделяется при его повреждении. Защитные и целебные свойства терпентина объясняются наличием в нём бактерицидных и дезинфицирующих веществ. Благодаря содержанию этих веществ терпентин используется в народной медицине [4]. В медицине живица применяется при инфекционных и неинфекционных поражениях слизистых оболочек полости рта, пищевода, лечении заболеваний желудочно-кишечного тракта, кожных покровов [5].

Благодаря своим физико-химическим и структурообразующим свойствам воск может быть основой лекарственных карандашей, а смола компонентом с особыми лечебными свойствами. Таким образом, может решаться задача создания экологичных и удобных в использовании лекарственных форм. Карандаши лекарственные – твёрдая лекарственная форма в виде карандаша цилиндрической или конической формы с закруглённым концом, предназначенная для наружного применения с целью оказания местного действия [6].

Цель работы – разработка лекарственных карандашей на основе пчелиного воска с добавлением смолы ели обыкновенной и оценка их физико-химических свойств.

Для приготовления карандашей использовали метод выливания, который заключается в смешении жидких и твердых компонентов в определенных пропорциях. 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, смола ели обыкновенной. Массы компонентов карандашей указаны в таблице 1.

Таблица 1

### Состав карандашей

Вариант (согласно массовой доле смолы в композиции, %)	Воск, г	Вазелин, г	Масло, г	Смола, г
Без смолы	9,0	13,0	10,0	–
1,0	8,7	13,0	10,0	0,3
2,5	8,2	13,0	10,0	0,8
5,0	7,4	13,0	10,0	1,6

Примечание: «–» – компонент не добавляли.

Определяли физико-химические свойства (сумму антиоксидантов в 70% спиртовой вытяжке, кислотное число и температуру каплепадения) карандашей и исходных компонентов, используемых для их изготовления. Метод определения кислотного числа основан на потенциометрическом кислотно-основном титровании образца карандаша раствором гидроксида калия до значения рН 10,2–10,5. Кислотное число характеризует качество применяемых жировых ингредиентов животного и растительного происхождения. Температура каплепадения – это температура, при достижении которой в контролируемых условиях падает первая капля расплавленного вещества. Сумму антиоксидантов определяли в 70% спиртовом экстракте из изготовленных композиций методом инверсионной вольтамперометрии, где в качестве окислителя использовали раствор пероксида водорода с концентрацией равной 0,016 мг/мл, в качестве стандарта – раствор абиетиновой кислоты с концентрацией 1 мг/мл. Результаты представляли в формате «среднее значение ± стандартное отклонение».

Установлено, что самое высокое содержание антиоксидантов имеет карандаш с массовой концентрацией смолы 5% – 340,9±13,8 мг/г карандаша. По мере уменьшения содержания смолы количество антиоксидантов снижается. В карандаше с массовой концентрацией смолы 2,5% сумма антиоксидантов составила 176,6±17,4 мг/г, в карандаше с массовой концентрацией смолы 1% – 162,3±11,9 мг/г, в карандаше, который не содержит смолу – 108,4±16,5 мг/г.

Результаты исследования кислотного числа и температуры каплепадения представлены в таблице 2.

Таблица 2

### Результаты исследований

Образец	Показатель	
	Кислотное число, мг КОН/г	Температура каплепадения, °С
1	2	3
Масло	1,20±0,06	–
Воск	16,97±0,74	71,5±2,1
Смола	152,06±0,67	55,00±1,4
Варианты композиции (согласно массовой доле смолы, %)		
Без смолы	4,65±0,03	56,5±0,7
1,0	5,77±0,14	60,5±0,7

Окончание таблицы 2

1	2	3
2,5	7,60±0,87	60,5±0,7
5,0	10,48±0,12	63,0±1,4
Требования НД	Не более 15,00	Не ниже 55,0

Примечание: «–» – показатель не определяли.

Высокое значение кислотного числа смолы ели связано с содержанием в смоле жирных и смоляных кислот, а также эфирных масел, следовательно, с повышением концентрации смолы в карандашах увеличивается кислотное число. Значения кислотного числа карандашей находятся в диапазоне 4,65–10,48 мг КОН/г. Температура каплепадения карандашей также увеличивается с повышением концентрации смолы, так как смола скрепляет все компоненты и

увеличивает твердость. Значения температуры каплепадения – от 56,5 °С до 63,0 °С. При нанесении на кожные покровы композиция хорошо намазывается и не стекает при нагревании до температуры человеческого тела.

Оба показателя соответствуют требованиям ГОСТ 31649-2012 и не противоречат возможности использования в качестве лекарственного карандаша для нанесения на кожные покровы, а наличие экстрагируемых антиоксидантов указывает на проявление антиоксидантных свойств в результате применения.

#### **Библиографический список**

1. Субботина Е. А. Качественная оценка пчелиного воска с пасек Рязанской области и Краснодарского края. DOI 10.48612/ta9u-k1v4-buzz // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. Краснодар, 2021. Т. 10. № 1. С. 290–292.
2. Беззубов Л. П. Химия жиров. М. : Пищевая промышленность, 1975. 99 с.
3. Кузнецова Л. С., Лихота Т. Т. Разработка состава, технологии и анализ карандашей медицинских с камфорой // Фундаментальные исследования. 2001. № 3. С. 522–523.
4. Умеров Э. Э., Гривенко С. Г., Усманова Т. И. Обоснование применения биологически активных перевязочных материалов для местного лечения гнойных ран и трофических язв // Таврический медико-биологический вестник. 2018. Т. 21. № 2–1. С. 93–100.
5. Влияние биологически активной добавки на качество выращиваемых телят / А. И. Фролов, О. Б. Филиппова, А. Н. Бетин, В. И. Дорохова DOI: 10.35694/YARCX.2021.54.2.011 // Вестник АПК Верхневолжья. 2021. № 2 (54). С. 67–72.
6. ОФС.1.4.1.0028. Карандаши лекарственные. Государственная фармакопея Российской Федерации. XV изд. М., 2023.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРАГИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ L-АРГИНИНА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

*С. А. Вотинцева<sup>1</sup>, В. А. Козвонин<sup>1,2</sup>, Е. В. Товстик<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, soffea.inc@gmail.com,*

<sup>2</sup> *Кировский государственный медицинский университет*

В статье представлены результаты исследования применения 10%-го водного раствора L-аргинина, продукта переработки белоксодержащих отходов, в качестве экстрагента флавоноидов из цветков календулы лекарственной. Проведена оценка содержания флавоноидов в водно-аргининовом экстракте из цветков календулы лекарственной спектрофотометрическим методом. Содержание флавоноидов в пересчёте на рутин составило 208,70±0,19 мг/см<sup>3</sup>.

Ключевые слова: L-аргинин, экстрагент, экстракт, цветки календулы лекарственной, спектрофотометрия, флавоноиды.

Проблема переработки отходов с получением целевых продуктов не теряет своей актуальности. Перспективными продуктами, получаемыми гидролизом и экстрагированием природного белкового сырья (субпродуктов животноводства, древесной зелени деревообрабатывающей промышленности, растительно-

го жмыха пищевой промышленности), считаются аминокислоты (АК) [1–3]. В связи с реализацией АК преимущественно в сфере фармацевтических и пищевых разработок важна не только экологичность указанного метода, но и безопасность – из отходов природного происхождения выделяются АК в форме стереоспецифичных для организма L-изомеров, без примеси токсичных D-изомеров, как в случае химического синтеза [4].

Особую ценность среди выделяемых АК представляет условно незаменимая АК – L-аргинин. С медицинской точки зрения L-аргинин – биологически активное вещество с широким спектром терапевтических свойств: иммуномодулирующие, гепатопротекторные, противовирусные; модулятор эндотелиальной функции и донатор оксида азота (NO), который обладает свойствами вазодилататора и стимулятора ангиогенеза [5, 6]. В пищевой промышленности L-аргинин активно применяется в качестве нутрицевтика для регуляции метаболизма. В рецептуру косметологических средств данная АК вводится как стимулятор регенерации кожи и нейтрализатор кислотности [7].

Щелочная реакция водного раствора L-аргинина также определяет возможность его применения для экстракции гидрофобных полифенольных соединений путём перевода их в солевидные гидрофильные комплексы [8, 9]. В настоящем исследовании в качестве источника полифенольных соединений использовали цветки календулы лекарственной, в которых согласно ГФ РФ основным действующим веществом являются флавоноиды [10].

Цель работы – оценка экстрагирующей способности 10%-го водного раствора L-аргинина в отношении флавоноидов цветков календулы лекарственной.

Получение экстракта из цветков календулы лекарственной проводили по фармакопейной методике, с модификацией экстрагента – 10%-го водного раствора L-аргинина (х. ч.) вместо этилового спирта [10].

Содержание флавоноидов в исследуемом экстракте оценивали по двум методикам – ФС.2.5.0030.15 и ГОСТ Р 13399-89, основанным на образовании окрашенных комплексов флавоноидов с хлоридом алюминия [10, 11].

В ходе исследования было установлено, что методика ФС.2.5.0030.15 неприменима к водно-аргининовому экстракту, в связи с использованием высокой концентрации этилового спирта, ведущим к образованию взвеси в исследуемом растворе. Предположительно данное явление обусловлено малой растворимости в этиловом спирте L-аргинина и его денатурирующим действием на солеподобные аддукты флавоноидов с L-аргинином. В связи с этим, методику, изложенную в ГОСТ Р 13399-89, оптимизировали на этапе приготовления анализируемой пробы, используя в качестве дополнительной процедуры для осаждения взвеси центрифугирование. Для этого отбирали 0,5 см<sup>3</sup> исследуемого экстракта, 1,5 см<sup>3</sup> 96%-ого этилового спирта, 0,1 см<sup>3</sup> 2%-ого спиртового раствора хлорида алюминия и 2,9 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, затем тщательно перемешивали. Приготовленный раствор выдерживали в течение 30 мин при комнатной температуре (20±2) °С для развития окраски. Далее пробу центрифугировали (3500 об./мин) в течение 4 мин. У надосадочной жидкости определяли оптическую плотность на спектрофотометре марки ПЭ 5300 ВИ (ООО «Экротхим», Россия).

Для построения градуировочного графика готовили растворы рутин с концентрацией 20, 50, 100, 200, 350 мкг/см<sup>3</sup>. Для этого в мерную колбу на 25 см<sup>3</sup> вносили 1; 2,5; 5; 10 и 17,5 см<sup>3</sup> спиртового раствора стандартного образца рутин с концентрацией 500 мкг/см<sup>3</sup>, доводили раствор до метки 96%-м этиловым спиртом. В качестве раствора сравнения использовали 96%-й этиловый спирт.

Окрашенные в жёлтый цвет растворы исследовали на спектрофотометре при длине волны 410 нм в кювете толщиной 1 см.

Статистическую обработку результатов всех измерений проводили согласно ГОСТ Р 8.736–2011. Статистическую значимость различий между средними значениями устанавливали при  $p < 0,05$ . Измерения проводили в трёхкратной повторности, данные выражали как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение. Расчёты выполняли в программе *Microsoft Excel*.

Оценку содержания в исследуемом экстракте флавоноидов проводили методом градуировочного графика ( $A = f(C)$ ) (рис.).

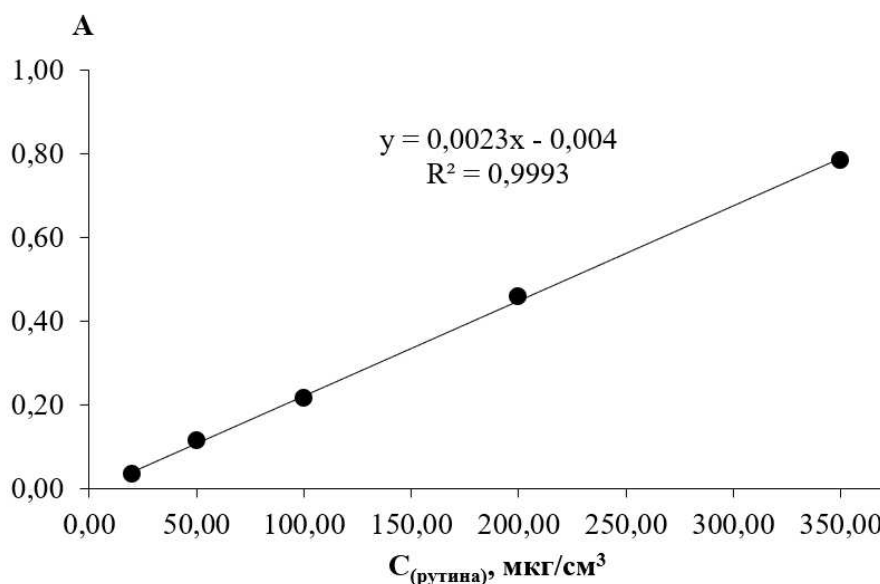


Рис. Градуировочный график стандартного образца рутин при  $\lambda = 410$  нм

Результаты определения имели линейный характер ( $R^2 = 0,9993$ ), что позволило рассчитывать по градуировочному графику концентрацию исследуемого экстракта по известной оптической плотности. Было установлено, что в водно-аргининовом экстракте с учётом разбавления содержится  $208,70 \pm 0,19$  мг/см<sup>3</sup> флавоноидов в пересчёте на рутин.

Таким образом, в ходе исследования доказана экстагирующая способность 10%-го водного раствора L-аргинина в отношении флавоноидов цветков календулы лекарственной. Для осаждения нерастворимых аддуктов флавоноидов с L-аргинином рекомендовано использовать центрифугирование.

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования L-аргинина для разработки продуктов в области фармацевтической и пищевой промышленности.

### Библиографический список

1. Машанова Н. С. Получение белкового гидролизата из вторичного мясного сырья для обогащения продуктов питания. DOI: 10.48184/2304-568X-2023-3-131-138 // Вестник Алматинского технологического университета. 2023. Т. 1, № 3. С. 131–138.
2. Получение обогащенной L-аргинином древесной зелени при проведении лесохозяйственных мероприятий в молодняках сосны обыкновенной (научный обзор) / Е. В. Робонен, Н. П. Чернобровкина, М. И. Зайцева и др. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-9-37 // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 5. С. 9–37.
3. Vichare S. A., Morya S. Exploring waste utilization potential: nutritional, functional and medicinal properties of oilseed cakes. DOI: 10.3389/frfst.2024.1441029 // Frontiers in Food Science and Technology. 2024. Vol. 4. Article No. 1441029.
4. Ayyad R. R., Nejm A. M., Ayyad A. R. The isomers of some drugs one effective and the other is toxic or ineffective. DOI: 10.56397/CRMS.2023.06.10 // Current Research in Medical Sciences. 2023. Vol. 2. No. 2. P. 58–62.
5. L-arginine: it's role in human physiology, in some diseases and mainly in viral multiplication as a narrative literature review / M. C. Pedrazini, E. F. Martinez, V. A. B. dos Santos, F. C. Groppo. DOI: 10.1186/s43094-024-00673-7 // Future Journal of Pharmaceutical Sciences. 2024. Vol. 10. No. 1. Article No. 99.
6. Oyovwi M. O., Atere A. D. Exploring the medicinal significance of L-arginine mediated nitric oxide in preventing health disorders. DOI: 10.1016/j.ejmcr.2024.100175 // European Journal of Medicinal Chemistry Reports. 2024. Vol. 12. Article No. 100175.
7. Влияние биоантиоксидантного комплекса *Arctium lappa* L. и аминокислот на процессы регенерации в экспериментальной модели / С. В. Трофимова, Н. И. Чалисова, А. В. Трофимов и др. DOI: 10.29296/25877305-2022-02-05 // Врач. 2022. Т. 33, № 2. С. 36–40.
8. The evaluation of L-arginine solution as a solvent for propolis extraction: The phenolic profile, antioxidant, antibacterial activity, and *in vitro* bioaccessibility / G. Mergen Duymaz, G. Duz, K. Ozkan et al. DOI: 10.1002/fsn3.3953 // Food Science & Nutrition. 2024. Vol. 12. No. 4. P. 2724–2735.
9. El-Bindary A. A., Anwar Z. M., El-Shafaie T. Effect of some amino acids on the binding of quercetin and rutin flavonoids with DNA. DOI: 10.1016/j.molliq.2021.116131 // Journal of Molecular Liquids. 2021. Vol. 334. Article No. 116131.
10. ФС.2.5.0030.15 Календулы лекарственной цветки *Calendula officinalis* flores : действ. с 01.12.2018. М., 2018. [Электронный ресурс]. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/kalenduly-lekarstvennoy-tsvetki-salendulae-officinalis-flores> (дата обращения: 01.11.2024).
11. ГОСТ Р 13399-89. Цветки Арники. Технические условия : действ. с 01.05.1990. М., 1994. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022823> (дата обращения: 01.11.2024).

## ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСТРАКТОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ВИТАМИНА С И $\beta$ -КАРОТИНА ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

*Д. В. Шутова, Е. С. Соловьёва*  
Вятский государственный университет, [shutov4daria@yandex.ru](mailto:shutov4daria@yandex.ru)

При получении экстрактов из морковного жмыха изменение условий экстрагирования и состава экстрагентов влияет на выход липофильных и гидрофильных веществ. Увеличение концентрации спирта в водно-спиртовых экстрактах повышает выход витамина С и уменьшает выход  $\beta$ -каротина. Примене-

ние двухфазной системы экстрагирования увеличивает выход активных веществ в экстракт.

Ключевые слова: экстракция, двухфазные системы экстрагирования, гидрофильные вещества, липофильные вещества, витамин С, β-каротин.

В современном мире остро стоит проблема загрязнения окружающей среды, что негативно сказывается на здоровье человека. Одной из причин является рост количества отходов в пищевой промышленности [1].

Морковь обладает как пищевой, так и медицинской ценностью, так как содержит большое количество водо- и жирорастворимых витаминов. Так, морковь является богатым источником каротиноидов, в частности β-каротина, являющимся липофильным веществом. Из гидрофильных компонентов корнеплоды моркови богаты витамином С [2]. Исходя из этого, морковь представляет большой интерес для получения экстрактов, богатых биологически активными соединениями, которые можно использовать как биологически активные добавки в продукты питания и в косметические изделия. Но использование самих корнеплодов моркови для получения подобных экстрактов представляется нецелесообразным, так как в ходе такого процесса получается большое количество отходов, не содержащих активных веществ. При получении экстрактов, богатых биологическими веществами, наиболее практично использование морковного жмыха, который является вторичным продуктом производства соков и содержит значительное количество биологически активных веществ, таких как каротиноиды и витамины [3]. Именно морковный жмых был выбран в данной работе в качестве сырья.

Экстракты получали методом перколяции, который заключается в пропускании экстрагента через слой сырья, и методом мацерации, т.е. настаиванием сырья с экстрагентом. Для интенсификации процесса мацерации применяли перемешивание в течение 30 мин при нагревании до 40 °С. В качестве экстрагентов использовали спиртовые растворы различной концентрации (40, 60 и 80%) и двухфазные системы экстрагентов (ДСЭ), состоящие из спиртовых растворов различной концентрации (40, 60 и 80%) и подсолнечного дезодорированного масла в соотношении 1:1.

Для экстракции брали навеску морковного жмыха 10 г. Соотношение сырье : экстрагент составляло 1:10. Экстракты, полученные с помощью ДСЭ, фильтровали и разделяли на делительной воронке. Для анализа брали водно-спиртовую фазу (ВСФ) и масляную фазу (МФ).

В водно-спиртовой части экстракта определяли содержание витамина С методом иодометрии [4]. Содержание каротиноидов в пересчете на β-каротин определяли и в ВСФ, и в МФ спектрофотометрическим методом. Предварительно содержание витамина С и β-каротина определяли в морковном соке.

Содержание витамина С и β-каротина в полученных экстрактах представлено в таблице.



Содержание  $\beta$ -каротина и витамина С в экстрактах

Метод экстрагирования	Экстракт	Содержание $\beta$ -каротина, мкг/мл	Содержание $\beta$ -каротина, %	Содержание витамина С, мг/мл	Содержание витамина С, %
	морковный сок	3,362±1,090	100	0,587±0,029	100
Перколяция	спирт 40%	0,782±0,900	23	0,069±0,003	12
	спирт 60%	0,376±0,900	11	0,143±0,007	24
	спирт 80%	0,442±0,900	13	0,144±0,007	25
	ДСЭ спирт 40%	0,832±0,900	25	0,178±0,009	30
	ДСЭ спирт 60%	0,866±0,900	26	0,185±0,009	32
	ДСЭ спирт 80%	2,174±1,010	65	0,167±0,008	28
Мацерация (перемешивание и нагревание)	спирт 40%	1,662±0,900	49	0,130±0,007	22
	спирт 60%	0,700±0,900	21	0,137±0,007	23
	спирт 80%	0,588±0,900	18	<b>0,190±0,009</b>	32
	ДСЭ спирт 40%	2,316±1,020	69	0,176±0,009	30
	ДСЭ спирт 60%	2,430±1,030	72	0,164±0,008	28
	ДСЭ спирт 80%	<b>2,512±1,040</b>	75	0,185±0,009	32

*Примечание:* жирным шрифтом выделено максимальное значение показателя.

В результате эксперимента экстракты с максимальным содержанием  $\beta$ -каротина и витамина С получены методом мацерации. Увеличение концентрации спирта в водно-спиртовых растворах привело к увеличению выхода витамина С и уменьшению выхода  $\beta$ -каротина. Самое высокое содержание витамина С обнаружилось в экстракте, полученном мацерацией спиртовым раствором с концентрацией 80%.

При экстрагировании двухфазными системами экстрагентов выход липофильных и гидрофильных компонентов в экстракт увеличивался по сравнению с применением в качестве экстрагента водно-спиртовых растворов. Увеличение концентрации спирта, содержащегося в ДСЭ, привело к уменьшению выхода витамина С и увеличению выхода  $\beta$ -каротина. Экстракт, содержащий большую сумму каротиноидов, получен мацерацией ДСЭ с 80% раствором спирта.

Применение метода мацерации увеличило выход витамина С в большинстве экстрактов, за исключением полученных мацерацией 60%-ным водно-спиртовым раствором и ДСЭ, содержащей 60%-й спирт (рис. 1).

При мацерации также увеличивался выход и  $\beta$ -каротина во всех полученных экстрактах (рис. 2).

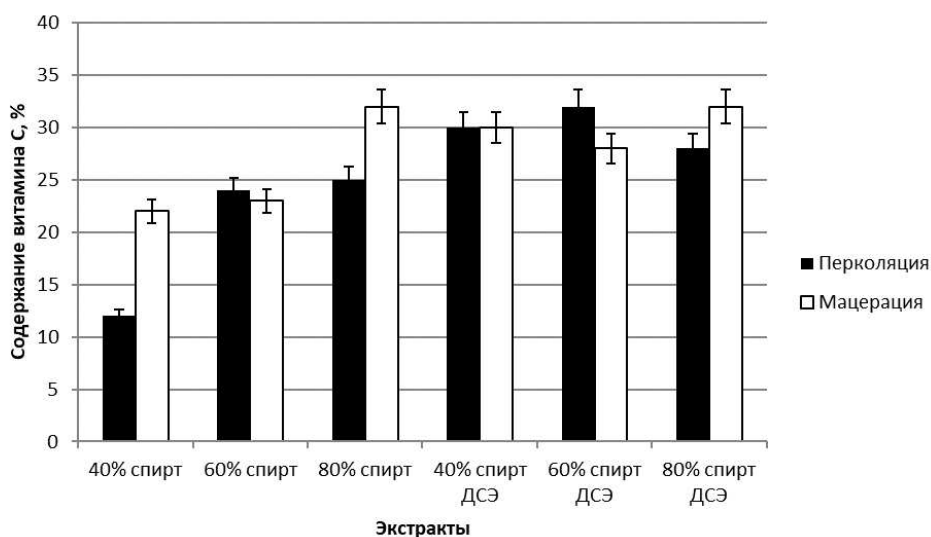


Рис. 1. Содержание витамина С в экстрактах моркови

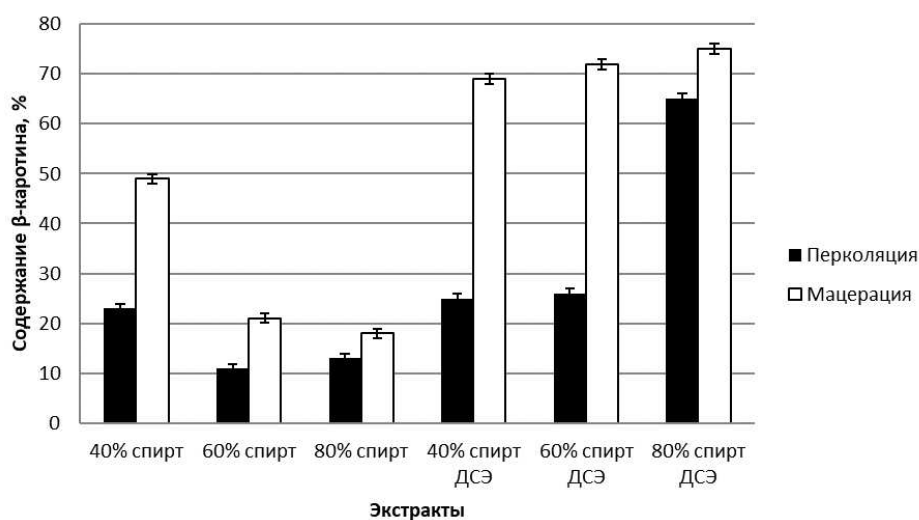


Рис. 2. Содержание  $\beta$ -каротина в экстрактах моркови

Таким образом, на примере получения экстрактов из морковного жмыха было показано, что изменение условий экстрагирования и состава экстрагентов приводит к изменению выхода липофильных и гидрофильных биологически активных веществ. Применение перемешивания и нагревания выход гидрофильного компонента (витамина С) увеличивается в большинстве экстрактов. Выход липофильного компонента ( $\beta$ -каротина) увеличивается существенно во всех экстрактах.

Экстракт, содержащий в большей степени как гидрофильные, так и липофильные вещества, был получен методом мацерации ДСЭ, содержащей 80% раствор спирта.

#### Библиографический список

1. Kroyer G. T. Impact of food processing on the environment – an overview // LWT-Food Science and Technology. 1995. Vol. 28. No. 6. P. 547–552.
2. Елисеева Т., Тарантул А. Морковь (лат. *Daucus carota* subsp. *sativus*) // Журнал здорового питания и диетологии. 2018. Т. 4, № 6. С. 43–55.

3. Saini R. K., Nile S. H., Park S. W. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities // Food Research International. 2015. Vol. 76. P. 735–750.

4. Химический эксперимент в проектах школьников : учебно-метод. пособие / П. Д. Васильева, Э. Ф. Матвеева, Т. В. Хондяева, Н. В. Багрова. Астрахань : Издатель Сорокин Р. В., 2015. 128 с.

## МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

*Т. П. Щербакова*

*Институт химии ФИЦ Коми научного центра  
Российской академии наук, sher.taty@mail.ru*

Статья посвящена изучению отходов агропромышленного комплекса в виде семенных оболочек, в частности шелухи риса (РШ), лузги подсолнечника (ЛП). Показаны характерные особенности физико-химического строения изучаемых объектов – наличие минорных количеств физиологически активных веществ. Рассмотрены основные этапы комплексной переработки РШ и ЛП, включающие в себя предварительную экстракцию меланина (ЛП) или кремнезема (РШ), и последующее механическое разволокнение с получением волокнистого полуфабриката (ВПФ), пригодного для составления бумажных композиций.

Ключевые слова: рисовая шелуха, лузга подсолнечника, целлюлоза, механохимическая технология, кремнезем, меланин.

Растительные полимеры характеризуются разной технологической значимостью в тех или иных областях народного хозяйства. Древесное сырье характеризуется высококачественной целлюлозой, потребность в которой, несмотря на цифровизацию, только растет. Кубометры лесных массивов перерабатываются на техническую целлюлозу, направляемую на формирование бумажной продукции, в том числе и на упаковочные виды бумаг. Агропромышленные отходы (в частности шелуха риса (РШ), лузга подсолнечника (ЛП)) характеризуются значительным содержанием целлюлозы – 30–45%, и могут найти достойное место в композиционных видах бумаги и картона. Кроме этого, РШ и ЛП имеют в своем составе некоторые количества (8–16%) физиологически активных веществ, имеющих значение в медицине и фармакологии – кремнезем, меланин.

Методами, принятыми в химии древесины [1] установлен компонентный состав исследуемых образцов (рис. 1).

Высокое содержание лигноуглеводного комплекса позволяет рассматривать это сырье как источник целлюлозы. При переработке однолетних растений (солома, травостой) широко применяют щелочные методы извлечения целлюлозы. Семенные оболочки имеют особенности делигнификации, связанные с содержанием в своем компонентном составе физиологически активных ве-

ществ, обеспечивающих в процессе вегетации растений био- и атмосферостойчивость семян.

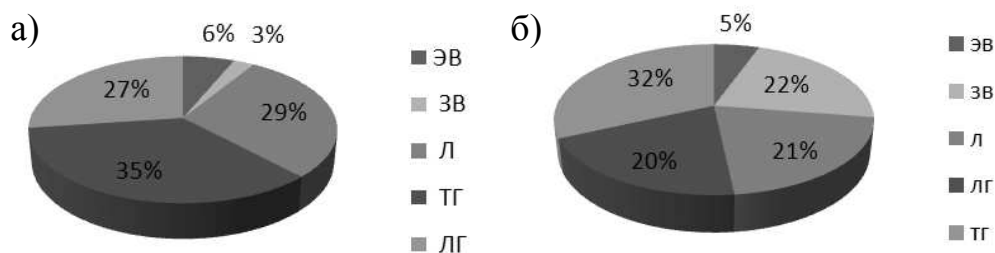


Рис. 1. Диаграммы, характеризующие вклад каждого компонента в состав образца: а) РШ, б) ЛП (ЭВ – экстрактивные вещества, ЗВ – зольные вещества, Л – лигнин по Комарову, ТГ – трудногидролизуемые полисахариды, ЛГ – легкогидролизуемые полисахариды)

При разработке технологии комплексной переработки РШ и ЛП применены методы механохимической технологии, позволяющей на первой стадии процесса (щелочная высокотемпературная обработка) произвести выделение физиологически активных веществ, подготовить сырьевую массу к процессу разволокнения (размол).

Высокотемпературная варка исследуемых образцов в щелочных растворах обеспечивает практически полное выделение физиологически активных веществ из растительной матрицы, но при этом в раствор переходят все щелочерастворимые компоненты (лигнинные вещества, полисахариды).

Вещество, осажденное из щелочного экстракта РШ – «бионаполненный кремнезем». Последующее озоление которого позволяет получить кремнезем со степенью чистоты 99,9% (рис. 2).

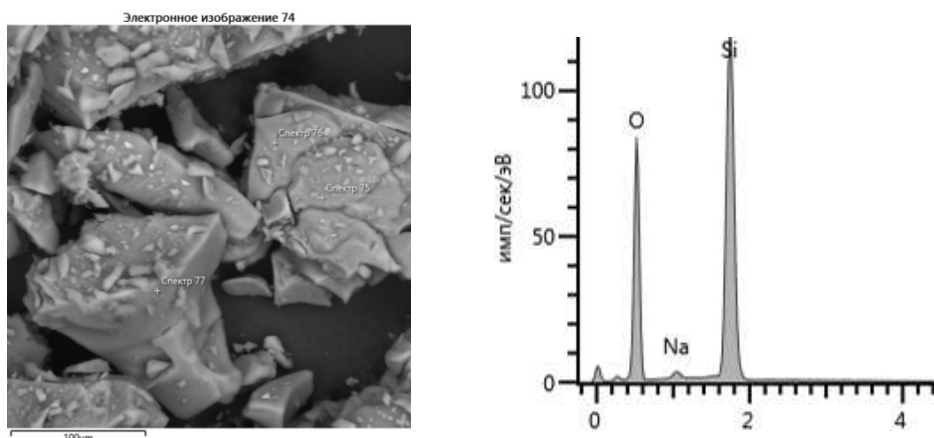


Рис. 2. СЭМ и ЭДА выделенного кремнезема (РШ)

Вещество, осажденное из щелочного экстракта ЛП – лигномеланиновый комплекс, выход которого составил 2,7%. Идентификацию меланина проводили с помощью качественных реакций с  $H_2O_2$ ,  $KMnO_4$ ,  $FeCl_3$ . Результаты РФА представлены на рисунке 3.

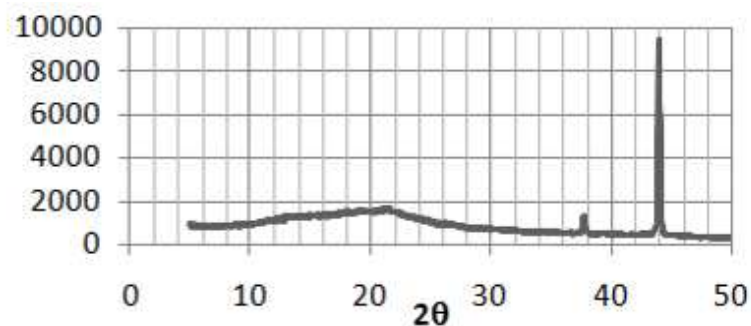


Рис. 3. РФА меланина ЛП

На рисунке 4 представлены результаты СЭМ целлюлозы рисовой и подсолнечника.

Подготовлены лабораторные образцы композиционных бумаг.

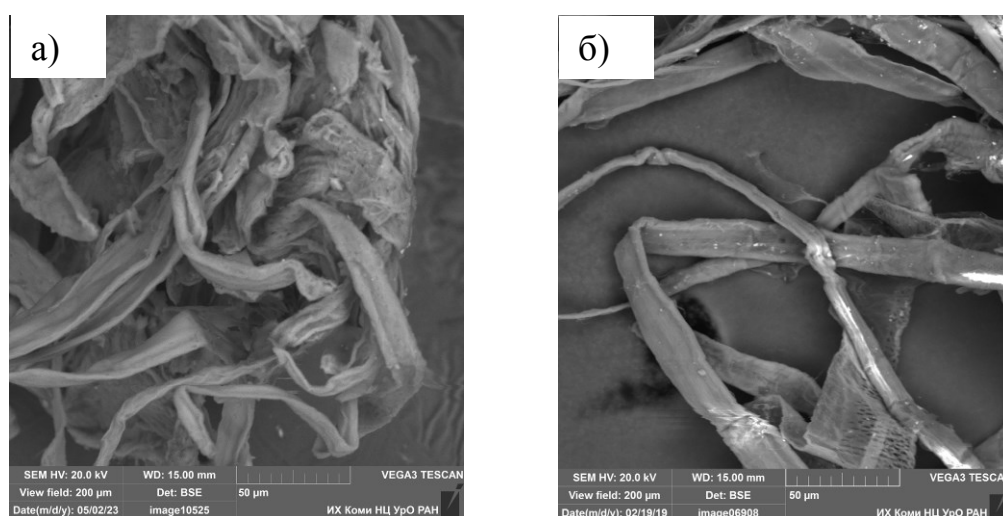


Рис. 4. СЭМ волокон целлюлозы: а) рисовой, б) подсолнечника

Определена зависимость разрывной длины от количества подготовленного волокна в композиции бумаги. Показано, что в рамках выбранных показателей, приемлемая механическая прочность, тестируемая по разрывной длине композиционного листа:

- для лиственной целлюлозы наполнение подготовленным волокном целесообразно до 30–40%;
- для хвойной – до 50–60%;
- для макулатурной массы – до 30–40%.

Результаты испытаний показали, что волокно, полученное механическим методом можно использовать в композициях по производству бумаги и картона, в качестве волокнистого материала (рис. 5).

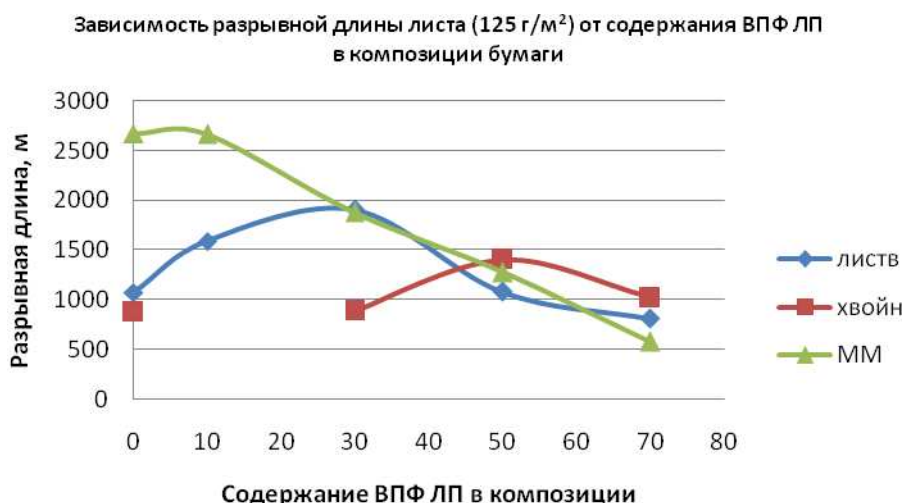


Рис. 5. Зависимость разрывной длины листа от доли подготовленного волокна в бумажной композиции

Рациональным и экономичным путем переработки лузги и шелухи злаковых в волокно является механохимический метод. Получен волокнистый полуфабрикат с выходом 81,5–95,6%, обеспечивающий бумагообразующие свойства, также кремнезем или лигномеланиновый комплекс.

#### Библиографический список

1. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы : учебное пособие для вузов. М. : «Экология», 1991. 320 с.

### ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ В РЕЦЕПТУРЕ СИЛОКСАНОВЫХ РЕЗИН

*К. Р. Габдулхаев, Ю. Н. Хакимуллин, А. С. Зимина, Е. М. Готлиб*  
 Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
 19gkraikido99@mail.ru

Использование, вместо дорогого синтетического аэросила, более дешевого диоксида кремния из рисовой шелухи (ДКРШ) представляет практический интерес. Однако, при этом снижается вязкость силоксановых резиновых смесей, прочность, твердость и эластичность их вулканизатов. Для улучшения качества следует проводить помол ДКРШ или обрабатывать его поверхность ПАВ.

Ключевые слова: диоксид кремния из рисовой шелухи, аэросил, силоксановые резины, вязкость, пластичность, прочность, твердость, эластичность.

Несмотря на актуальность и огромное количество исследований, посвященных вопросам рациональной утилизации рисовой шелухи [1–3], эта задача

до сих пор не решена во многих странах, занимающихся возделыванием и переработкой рисовой культуры.

Продукты карбонизации отходов производства рисовой крупы изучены как наполнители эпоксидных смол, полиэтилена и полипропилена, ПВХ, полиуретанов и других полимеров [3–6]. Меньше исследований касается модификации диоксидом кремния из рисовой шелухи (ДКРШ) резиновых смесей [7].

Поэтому нами изучена возможность применения ДКРШ в рецептуре вулканизатов на основе силоксановых каучуков.

Резиновая смесь изготавливалась на основе силоксанового каучука СКТВ-1 (ТУ 38.103694-89) на пластикордере «Brabender» при температуре 60 °С в течение 6 минут, при скорости вращения роторов 60 об./мин. В качестве модификаторов применялись аэросил (ГОСТ 14922-77) и диоксид кремния из рисовой шелухи (ДКРС) производства МАК-1 (ТУ 38.21.40-002-91011908-2023). Содержание аэросила было 40 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Вулканизацию образцов проводили на гидравлическом прессе при температуре 130 °С – 20 мин.

Вязкостные свойства определяли на вискозиметре «Gotech GT-7080S2» по ГОСТ Р 54552-2011 при температуре 100 °С. Испытание на пластичность (ГОСТ 415-75) проводили на пластометре «ВР-2» при комнатной температуре.

Исследование вулканизационных характеристик проводилось на реометре «Gotech MD-3000А» (ГОСТ Р 54547-2011) при температуре 130 °С.

Условная прочность и относительное удлинение при разрыве резин определяли на разрывной машине «РМИ – 250» по ГОСТ 270-75, твердость по Шору А – по ГОСТ 263-75. Эластичность по отскоку оценивали по ГОСТ 27110-86, а сопротивление раздиру – по ГОСТ 262-93.

Вязкость по Муни (табл. 1) резиновых смесей при замене аэросила на ДКРШ сильно снижается (примерно в 3 раза), особенно при содержании добавки из рисовой шелухи 20 мас. ч и больше, что отрицательно влияет на перерабатываемость, так как резиновая смесь начинает «растекаться». Пластичность резиновой смеси при этом растет более, чем в 2 раза.

*Таблица 1*

### Характеристики резиновой смеси

Характеристика резиновой смеси	Содержание ДКРШ, мас. ч				
	0	10	20	30	40
Вязкость по Муни, усл. ед	22,7	19,6	7,7	7,0	6,4
Пластичность, усл. ед	0,26	0,63	0,65	0,7	0,76
Время вулканизации, мин	0,47	0,49	0,46	0,51	0,48

Время вулканизации (табл. 1), как при полной, так и частичной замене аэросила на рисовую шелуху практически не изменяется.

Анализ экспериментальных результатов (табл. 2) позволяет сделать вывод, что при увеличении количества ДКРШ, заменяющего аэросил в силоксановых резинах, их прочность, твердость и эластичность значительно падают. То есть имеет место закономерное снижение всех эксплуатационных показате-

лей резин при применении вместо аэросила модификатора из отходов рисового производства. Этот эффект растет при увеличении концентрации ДКРШ.

Таблица 2

### Физико-механические показатели резин

Физико-механический показатель резин	Содержание ДКРШ, мас. ч				
	0	10	20	30	40
Прочность при растяжении, МПа	7,58	4,42	2,31	0,9	0,5
Относительное удлинение, %	413	595	686	280	265
Соппротивление раздиру, кН/м	9,0	7,8	6,7	3,6	2,9
Твердость по Шору А, усл. ед.	53	45	35	36	25
Эластичность по отскоку, %	52	37	24	39	20

Мы связываем это со значительно большим, по сравнению с аэросилом, диаметром частиц ДКРШ, и неравномерным распределением их по размерам [8].

Исходя из представленных результатов, можно сделать вывод, что замена аэросила на модификатор, полученный из рисовой шелухи, в силиконовых резинах нецелесообразна, так как приводит к ухудшению вязкостных свойств резиновых смесей и значительному снижению эксплуатационных характеристик вулканизатов.

В то же время, учитывая в 6–7 раз меньшую стоимость промышленного ДКРШ, чем аэросила, возможно применение его в количестве 10 мас. ч в не ответственных материалах на основе силиконового каучука.

В дальнейшем рекомендуется проводить помол промышленного модификатора, получаемого из отходов рисовой крупы, что позволит увеличить степень межфазного взаимодействия или использовать с этой целью традиционные типы ПАВ [9].

### Библиографический список

1. Rice Husk Filled Polymer Composites / R. Arjmandi, A. Hassan, K. Majeed, Z. Zakaria. DOI: 10.1155/2015/501471 // International Journal of Polymer Science. 2015. P. 32.
2. Azadi M., Bahrololoom M. E., Heidari F. Enhancing the mechanical properties of an epoxy coating with rice husk ash, a green product // Journal of Coatings Technology and Research. 2011. Vol. 8. No. 1. P. 117–123.
3. Mohammad G., Sakineh P., Mohammad R. A study on Rice-husk/Recycled high density polyethylene Composites – Their physical and mechanical properties // Environment Sciences. 2012. Vol. 9. No. 1. P. 99–112.
4. Ramle M. S., Romli A. Z., Abidin M. H. Tensile properties of aminosilane treated rice husk/ recycled PVC composite // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 812. P. 151–156.
5. Physic-Mechanical Properties of Composites Based on Secondary Polypropylene and Dispersed of Plant Waste / Y. Danchenko, A. Kariev, V. Lebedev et al. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.227 // Materials Science Forum. 2020. Vol. 1006. P. 227–232.
6. Готлиб Е. М., Зенитова Л. А. Отходы рисопереработки-перспективное сырье для химической промышленности. Часть 2. Полимерные композиционные материалы, наполненные продуктами рисопереработки. М. : Отечество, 2023. 100 с.
7. The Effect of Silica Filler Source on the Mechanical Properties of Composite Rubber / I. R. R. Suci, A. U. Rahmah, E. Budiayati, H. Purnama. DOI: 10.1051/e3sconf/202451712006 // E3S Web of Conferences. 2023. No. 517. P. 1–7.



8. Получение аморфного диоксида кремния в промышленных условиях на базе рисовой шелухи / М. П. Козубов, Е. В. Хохлов, Г. Г. Исламова и др. // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. (г. Киров, 14–15 ноября 2023 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 86–89.

9. Fazylova D. I., Zenitova L. A. Research of Vegetable Silicon Dioxide as a Filler for Polymer Composite Material // KEM. 2021. Vol. 899. P. 202–207.

## **СОСТАВ И СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ВОЛЛАСТОНИТА, ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА РИСА И БОРНОЙ КИСЛОТЫ**

*С. Н. Данилова<sup>1</sup>, Е. С. Ямалеева<sup>2</sup>, Е. М. Готлиб<sup>2</sup>, А. А. Охлопкова<sup>1</sup>,  
С. Б. Ярусова<sup>3</sup>, П. С. Гордиенко<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,  
dsn.sakhayana@mail.ru,*

<sup>2</sup> *Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
curls888@yandex.ru, egotlib@yandex.ru,*

<sup>3</sup> *Институт химии ДВО РАН*

Вследствие ограничения добычи природного волластонита в России, его синтез, особенно с использованием промышленных и сельскохозяйственных отходов, является актуальным. В этом аспекте интересны побочные продукты получения борной кислоты и рисовой крупы. В фазовом составе синтетического силиката кальция на основе карбонизированной рисовой шелухи содержится 78%  $\beta$ -волластонита и 22% ларнита, а кремнезем на основе борогипса содержит волластонит моноклинной модификации и сульфат кальция. Оба типа исследованного синтетического волластонита обладают пористой структурой со средним размером пор порядка 4–4,5 нм. Силикаты кальция, синтезированные на основе борогипса и термообработанной рисовой шелухи, отличаются параметрами кристаллической решетки и гранулометрическим составом. Твердофазный синтез волластонита из продукта карбонизации рисовой шелухи одностадийный, менее трудоемкий и более короткий по длительности, чем получение его гидротермальным методом из борогипса.

Ключевые слова: волластонит, силикат кальция, борогипс, рисовая шелуха, фазовая структура, размер частиц и пор.

Ограниченность добычи природного волластонита в России делает перспективным его синтез, особенно с использованием промышленных и сельскохозяйственных отходов [1, 2].

Состав и свойства силиката кальция существенно зависят как от способа его синтеза, режимов получения, так и от строения и соотношения исходных компонентов [3, 4]. В связи с этим представляется рациональным сравнить волластонит, получаемый гидротермальным способом из борогипса и твердофазным методом из термообработанной рисовой шелухи.

Волластонит 1 (В1) получали гидротермальным методом [5] на основе борогипса и раствора гидроксида калия, взятых в стехиометрическом соотношении, в лабораторном автоклаве при температуре 220 °С в течение 3 ч. Затем промывали осадок нагретой до 60–70 °С дистиллированной водой, отделяли от раствора фильтрованием и сушили при температуре 85 °С в течение 4 часов и далее обжигали при температуре 900 °С 3 часа.

Волластонит 2 (В2) синтезировали [6, 7] твердофазным методом из оксида кальция, полученного прогревом известняка в течение 2 ч. при 500 °С, и продукта карбонизации при 800 °С рисовой шелухи, при молярном соотношении  $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 1,2 : 1$ , в муфельной камерной печи в течение 3 часов при температуре 900 °С.

Морфологию волластонита исследовали на сканирующем электронном микроскопе JSM-7800F (Jeol, Япония) в режиме вторичных электронов при ускоряющем напряжении 1,0–1,5 кВ. Образцы для исследования получали методом хрупкого разрушения при температуре жидкого азота.

Рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА) проводился с использованием многофункционального дифрактометра Rigaku Smart Lab, при следующих параметрах съёмки: угловой интервал от 30 до 650 с шагом сканирования 0,02, с экспозицией 1 секунда в точке, скорость сканирования 10 °С/мин.

Анализ размера частиц синтетического волластонита проводится методом лазерной дифракции на лазерном анализаторе частиц Analysette-22 NanoTec/MicroTec/XT (Fritsch, Германия) в соответствии с ГОСТ Р 8.777-2011.

Размер пор определяли по методу ВЈН на анализаторе площади поверхности и размера пор «Nova 1200e» ISO 15901-2.

В фазовом составе (рис. 1) синтетического силиката кальция 2 содержится 78%  $\beta$ -волластонита со следующими характеристиками: размер кристаллитов  $3260 \pm 25$ , параметры кристаллической решетки:  $a = 7,948$ ,  $b = 7,333$  и  $c = 7,075$  и 22% ларнита  $\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$  с размером кристаллитов  $1990 \pm 16$  и параметрами кристаллической структуры:  $a = 5,513$ ,  $b = 6,758$ ,  $c = 9,315$ .

Силикат кальция 1, в основном, также содержит волластонит моноклинной модификации с параметрами кристаллической ячейки:  $a = 15,36000$ ;  $b = 7,28500$ ;  $c = 7,08400$ , а еще не прореагировавший сульфат кальция  $\text{CaSO}_4$  с параметрами кристаллической ячейки:  $a = 6,23000$ ;  $b = 6,98000$ ;  $c = 6,97000$ .

Анализ морфологии волластонита из борогипса и термообработанной рисовой шелухи показал (рис. 2), что они содержат отдельные игольчатые частицы, а в случае силиката кальция 1 – овальные блоки с выраженными гранями, включающими тонкодисперсные наноразмерные частицы (рис. 2). Диаметр иголок волластонита 1 равен 270–280 нм, а размер больших частиц достигает 940 нм [4]. Средний диаметр частиц волластонита 2 – 17,78 мкм [8].

Оба типа исследованного синтетического волластонита обладают пористой структурой со средним размером пор порядка 4–4,5 нм [9].

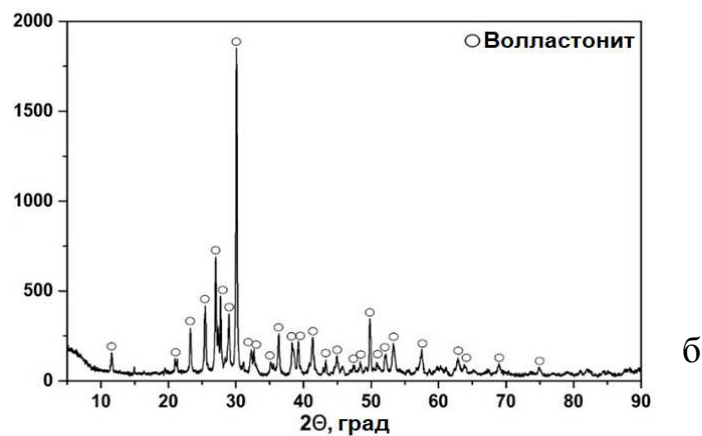
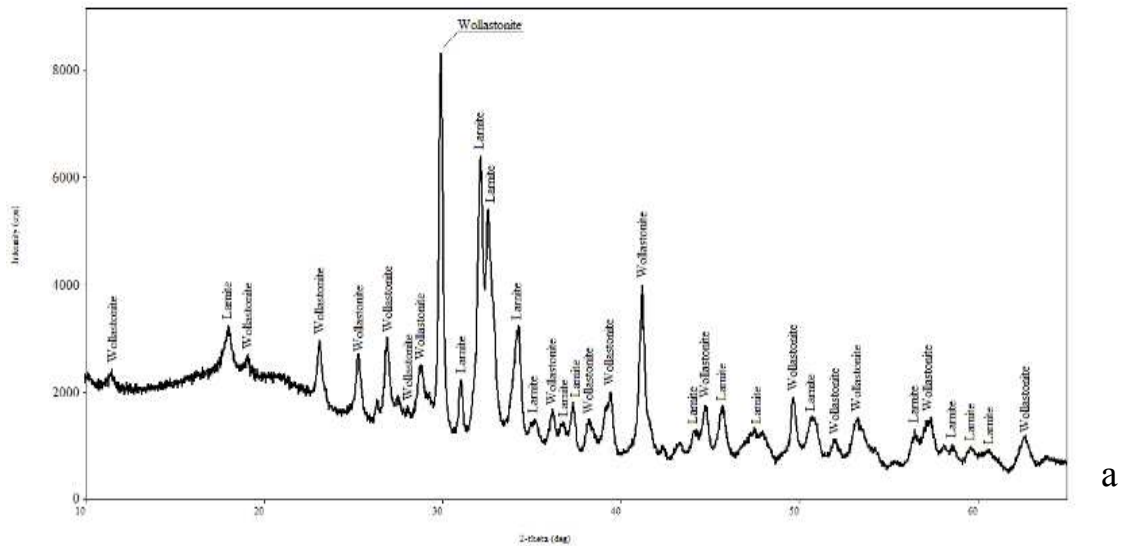
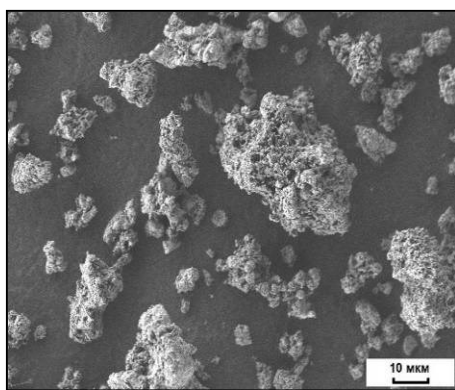
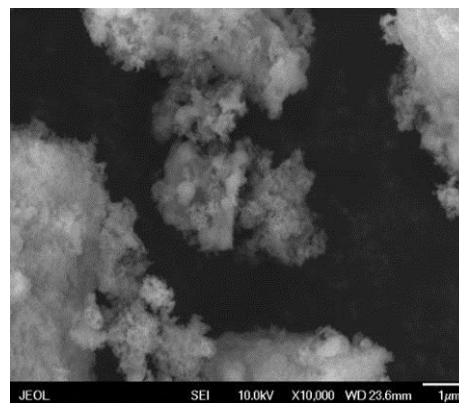


Рис. 1. РКФА-спектр образцов волластонита 2 (а) и 1 (б)



а



б

Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки (увеличение 10000) синтетического волластонита на основе борогипса (а) и продукта карбонизации рисовой шелухи (б)

Таким образом, силикаты кальция, синтезированные на основе борогипса и термообработанной рисовой шелухи, отличаются параметрами кристаллической решетки и гранулометрическим составом. Их основным компонентом является волластонит, а в качестве примеси В1 содержит сульфат кальция, а В2 – ларнит. Средний размер частиц В1 меньше, чем В2. Следует отметить, что синтез волластонита из продукта карбонизации рисовой шелухи менее трудоемкий,

одностадийный, более короткий по длительности. Термообработанная рисовая шелуха, представляющая собой аморфный диоксид кремния, промышленно выпускается в России.

#### Библиографический список

1. Гусев А. И. Минерально-сырьевая база волластонита Горного Алтая // Современные наукоёмкие технологии. 2011. № 2. С. 11–16.
2. Исламова Г. Г. Технология синтетического волластонита из природных кальций- и кремнийсодержащих соединений : спец. 05.17.01 : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2012. 20 с.
3. Muslim N., Hamzah A., Al-kawaz A. Study of mechanical properties of wollastonite filled epoxy functionally graded composite // Int. Journal of Mech. Engin. and Technology. 2018. Vol. 9. No. 8. P. 669–677.
4. Модифицирование СВМПЭ волластонитом, синтезированным из отходов борного производства / С. Н. Данилова, С. Б. Ярусова, И. Ю. Буравлев и др. // Полимерные материалы и технологии. 2021 Т. 7, № 1. С. 71–82.
5. Пат. 2595682. РФ, МПК С01В 33/24(2006.01). Способ получения синтетического волластонита : № 2015141614/05 : заявл. 30.09.2015 : опубл. 27.08.2016 / Гордиенко П. С. 3 с.
6. Оптимизация температуры получения синтетического волластонита на базе рисовой шелухи / Е. М. Готлиб, И. Д. Твердов, Е. С. Ямалеева, Т. Н. Ф. Ха. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/20-63-8-18 // Бутлеровские сообщения. 2020. № 8. С. 18–23.
7. Синтетический волластонит на основе рисовой шелухи / Ю. А. Соколова, Е. М. Готлиб, Фьонг Ха и др. // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли российской федерации в 2018 году. Т. 2. Российская академия архитектуры и строительных наук (Москва, 2019). М. : Изд-во АСВ, 2019. С. 520–525.
8. Tổng hợp wollastonite tren co so tro trau ung dung lam chat don trong nhu'a epoxy va mot so tinh chat cua chung / E. M. Gotlib, T. N. P. Ha, N. T. T. Huyen et al. // Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. 2022. Vol. 27. S. 1.
9. Comparison of the Properties of Calcium Silicates Derived from Different Raw Materials / K. Mishagin, E. Gotlib, E. Yamaleeva et al. DOI: 10.1051/e3sconf/202341001001 // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 410. P. 1–8.

## НОВЫЕ СОРБЕНТЫ ИЗ КРУПНОТОННАЖНЫХ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

*С. В. Грошева, С. А. Шлапак, И. О. Тихонова*

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
sgrosheva90@gmail.com*

В статье представлены способы получения сорбентов из органических отходов: свекловичного жома, пивной дробины и гидролизного лигнина, а также физико-химические и сорбционные характеристики полученных сорбентов. Оценена возможность получения активаторов из полученных карбонизатов. Результаты экспериментов по очистке сточных вод, содержащих органические загрязнения, полученными сорбентами показали высокую эффективность очистки, сопоставимую с промышленным активным углем БАУ.

Ключевые слова: отходы, сорбенты, гидролизный лигнин, свекловичный жом, пивная дробина.

Учитывая значительные объемы накопленных органических отходов, а также их возрастающие объемы образования, поиск новых альтернативных вариантов их утилизации и расширения линейки получаемой продукции в настоящее время является важной задачей, решаемой в рамках перехода на модель экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ) [1].

Несмотря на разнообразие имеющихся методов утилизации крупнотоннажных органических отходов, далеко не все являются востребованными и экономически выгодными. Именно поэтому разработка методов, позволяющих эффективно утилизировать крупнотоннажные органические отходы, в настоящее время является важной задачей.

Ранее было предложено крупнотоннажные органические отходы V класса опасности использовать в качестве углеродсодержащего сырья для получения карбонизатов [2]:

– жом свекловичный (ЖС) – побочный продукт переработки сахарной свеклы. Объемы образования отхода «Жом свекловичный», согласно отчетности на официальном сайте Росприроднадзора, на 2022 г. составляли около 6 млн т, при этом было утилизировано 4,5 млн т, а остаток на конец года составил 1,7 млн т, но внутренний рынок Российской Федерации может потребить лишь 0,5 млн т/год. Таким образом, избыточный ЖС требует поиска альтернативного рынка сбыта или производства принципиально нового продукта;

– дробина пивная (ДП) – побочный продукт пивоваренного производства, образующийся после выработки ячменного сусла. Масса образования отхода «Дробина солодовая (пивная)», согласно отчетности на официальном сайте Росприроднадзора, в 2022 г. составила около 1 млн т, из которых было утилизировано 89 тыс. т, а не утилизируемый остаток на конец года составил 0,9 млн т;

– лигнин гидролизный (ЛГ) – побочный продукт получения гидролизного спирта. Всего на предприятиях гидролизной промышленности России образуется порядка 3,5 млн т лигнина в год (в пересчете на сухое вещество), из которых чуть более 2% вовлекается во вторичное производство.

Первым этапом получения сорбентов являлась карбонизация, которую проводили при температуре 500 °С при различной продолжительности последующей выдержки [2]. Для полученных карбонизатов были определены выход и основные параметры пор для исходного сырья и для полученных углеродсодержащих продуктов – значение суммарного объема пор и наличие макропор. Для оценки потенциальной эффективности полученных карбонизатов были получены показатели адсорбционной активности по метиленовому голубому (МГ) и иоду (I<sub>2</sub>), определен суммарный объем пор сорбентов. Полученный карбонизат из ЖС, вследствие более развитой структуры, по своим сорбционным характеристикам превзошел сорбенты, полученные из ЛГ и ПД.

В литературе представлены различные технологии получения сорбентов – активатов из крупнотоннажных органических отходов, основанные на методах как физической, так и химической активации [3, 4].

Получение активата было проведено с использованием карбонизата из ЖС, как проявившего наилучшие сорбционные свойства.

На первом этапе ЖС обрабатывали ортофосфорной кислотой, далее обработанный ЖС высушивали в сушильном шкафу при температуре 110 °С до достижения постоянной массы продукта и испарения влаги. Следует отметить, что уже в процессе сушки происходила частичная химическая активация, так как наблюдалось обуглероживание материала. Полученный материал подвергли карбонизации в муфельной печи без доступа кислорода – в итоге получали активаты, которые преимущественно характеризуются как микро- и мезопористые. Однако следует отметить, что необходимая отмывка остаточной ортофосфорной кислоты горячей водой являлась нерациональной в связи с большим энерго- и водопотреблением.

Поэтому на втором этапе исследований было принято решение о проведении парогазовой активации водяным паром. Характеристика полученного активата ЖС в сравнении с карбонизатом ЖС представлена в таблице 1. Значительного улучшения характеристик и адсорбционной активности сорбента после активации водяным паром не наблюдали, однако отмечено значительное увеличение значения суммарного объема пор активата.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика полученных сорбентов**

Образец \ Параметры	Выход, %	МГ, мг/г	I <sub>2</sub> , %	Суммарный объем пор, V <sub>Σ</sub> , см <sup>3</sup> /г	Объем сорбирующих пор, V, см <sup>3</sup> /г		
					H <sub>2</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	CCl <sub>4</sub>
ЖС карбонизат	30	92	23	2,2	0,24	0,17	0,07
ЖС активат	52	102	25	3,9	0,31	0,22	0,26

Определение суммарного объема пор для образца активированного угля СЖакт (по N<sub>2</sub>) выполняли в Центре коллективного пользования РХТУ имени Д. И. Менделеева. Полученный активат ЖС являлся преимущественно микро- и мезопористым сорбентом – площадь микропор составляла 190 м<sup>2</sup>/г, объем микропор – 0,076 см<sup>3</sup>/г, тогда как у карбонизата ЖС микропоры полностью отсутствовали. Средний адсорбционный диаметр пор активата составлял 2,1 нм.

Оценку эффективности полученных сорбентов для очистки промышленных сточных вод проводили на сточных водах полиграфического и нефтехимического производства, содержащих органические загрязняющие вещества. Эксперименты проводили в статических условиях в течение 1 недели. Эффективность очистки оценивали по показателю ХПК. Полученные результаты представлены в таблице 2.

**Эффективность очистки сточных вод полученными сорбентами**

Образец	Степень очистки, %	
	Сточная вода полиграфического производства	Сточная вода нефтехимического производства
ЖС активат	39	51
ЖС карбонизат	43	36
БАУ-А	47	53

Таким образом, доказана высокая эффективность активированного угля СЖакт, сопоставимая с эффективностью активированного угля БАУ-А при очистке сточных вод, содержащих органические загрязнения.

Поиск конкурентноспособных сорбентов из углеродсодержащих отходов является альтернативной применением природных материалов. Наиболее перспективным направлением является производство сорбентов на основе растительных остатков и агропромышленных отходов.

**Библиографический список**

1. Бобылев С. Н. «Зеленая» экономика: новые проблемы формирования // Институты местной демократии в управлении экологически устойчивым развитием локальных территорий : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Краснодар : Кубанский гос. ун-т, 2021. С. 23–27.
2. Лазарева А. М., Грошева С. В., Тихонова И. О. Перспективы получения карбонизатов из крупнотоннажных органических отходов // Успехи в химии и химической технологии : сб. науч. трудов. М. : РХТУ имени Д. И. Менделеева, 2023. Т. 37. С. 98–101.
3. Мещеряков С. В., Еремин И. С., Зайцева Е. А. Рациональное использование отходов сельского хозяйства с получением на их основе сорбирующих материалов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2021. № 4 (301). С. 11–16.
4. Модифицированные растительные сорбенты для очистки воды от нефтяных загрязнений / Б. М. Абдель-Гадир, В. О. Дряхлов, Г. Г. Ягафарова и др. // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26, № 2. С. 75–79.

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОРБЕНТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ОТХОДА ПРОИЗВОДСТВА СОЛОДА**

*Д. В. Мытько, Л. А. Шибeka*

*Белорусский государственный технологический университет,  
Shibekal@mail.ru*

В работе представлены результаты исследования структурных особенностей пыли зерновой, применяемой в качестве сорбента для очистки сточных вод от ионов меди и цинка. Установлено, что во взаимодействии сорбента с ионами тяжелых металлов принимают участие гидроксильные, карбоксильные и метиленовые группы отхода.

Ключевые слова: сорбент, очистка, пыль зерновая, сточные воды, медь, цинк, сорбция, ИК-спектроскопия, целлюлоза.

Деятельность многих промышленных предприятий часто приводит к загрязнению окружающей среды сточными водами, содержащими в своем составе ионы тяжелых металлов. Они оказывают негативное воздействие на состояние биосферы и здоровье человека.

Опасные соединения тяжелых металлов содержатся в сточных водах различных производств: гальванических цехов, предприятий машиностроения и металлообработки, рудного и шахтного производства, чёрной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности и других отраслей промышленности.

Тяжелые металлы обладают способностью к биоаккумуляции и концентрированию при движении по трофической цепи, что приводит к нарушению функционирования систем органов. Они образуют прочные связи с компонентами клеточных структур, что обуславливает сложность удаления этих соединений из организма. Поэтому необходимо обеспечить практически полное удаление тяжелых металлов из сточных вод. Используя лишь традиционные методы очистки, этого сложно достичь.

Наиболее распространенными способами очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов являются сорбционные и ионообменные методы. В связи с этим возрастает необходимость получения более дешёвых сорбентов с улучшенными физико-химическими и эксплуатационными характеристиками. В основном, сорбенты, используемые в промышленности, разрабатываются на основе активных углей. Также интерес представляют сорбенты на основе вторичных материальных ресурсов. Такие материалы могут решить помимо проблемы очистки воды и другую задачу, а именно, использование отходов.

В последнее время в качестве сорбентов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов рассматривают целлюлозосодержащие материалы. К ним относятся – древесные отходы, пыль зерновая, шелуха, шишки, опилки, стебли различных растений, кора лиственных и хвойных пород деревьев, тростник и др.

С помощью ИК-спектроскопии доказано [1], что в составе данных сорбентов присутствуют функциональные группы, которые способны связываться с ионами металлов. Исследования структуры целлюлозосодержащих материалов, подтвердили наличие карбоксильных групп в сорбенте. Поглощение ионов металлов, эквивалентное содержанию карбоксильных групп в целлюлозе, позволяет предположить, что катионы металлов взаимодействуют преимущественно с группами -COOH целлюлозы по реакции ионного обмена. В работе проведены дополнительные исследования для определения возможности других функциональных групп целлюлозосодержащих отходов принимать участие в процессе сорбции загрязняющих веществ из растворов,

Целью работы является получение сорбционного материала из отхода производства солода (пыли зерновой) и исследование его структурных особенностей методом ИК-спектроскопии.

В качестве объекта исследований выступала пыль зерновая – отход четвертого класса опасности. Образец для исследования был отобран на одном из промышленных предприятий Республики Беларусь по производству солода и



представлял собой пыль зерновую, уловленную системой газоочистки. Методом ИК-спектроскопии анализу подвергали три образца отхода пыли зерновой: первый – материал до взаимодействия со сточными водами, содержащими ионы тяжелых металлов; второй – отработанный сорбент (после взаимодействия материала со сточными водами, содержащими ионы цинка); третий – отработанный сорбент (после взаимодействия материала со сточными водами, содержащими ионы меди).

Исследование сорбционных свойств отхода проводили на модельных сточных водах, содержащих ионы цинка или меди в диапазоне начальных концентраций от 0,1 г/дм<sup>3</sup> до 1 г/дм<sup>3</sup> при продолжительности взаимодействия сорбента с ионами тяжелых металлов 60 мин. Пробы периодически перемешивали. Далее оценивали остаточное содержание ионов цинка и меди в воде титриметрическим методом [2].

Проведенными исследованиями установлено, что предельное значение сорбционной емкости исследуемого сорбента, полученного из пыли зерновой, по ионам меди составляет 380 мг/г, по ионам цинка – 306 мг/г.

Для анализа структурных превращений, происходящих с отходом при его взаимодействии с ионами тяжелых металлов, в работе проведены исследования методом ИК-спектроскопии в отношении исходного и отработанного сорбентов.

Анализ образцов проводили на ИК-Фурье микроскопе «Nicolet in 10» в диапазоне волнового числа от 400–4000 см<sup>-1</sup>. Подготовку образцов осуществляли путем прессования смеси образца отхода и KBr в соотношении 1:50 в пресс-форме.

Фрагменты спектров исследуемых образцов сорбентов в областях волновых чисел, где фиксируются полосы поглощения, представлены на рисунках 1 и 2.

Из рисунка 1 видно, что на ИК-спектрах исследуемых образцов отхода отчетливо видны полосы поглощения в диапазоне 3550–3100 см<sup>-1</sup>, обусловленные наличием в составе отхода функциональных гидроксильных групп -ОН, участвующих в образовании меж- и внутримолекулярных водородных связей (полоса 3341 см<sup>-1</sup> для образцов 1 и 2, полоса 3350 см<sup>-1</sup> для образца 3). Полосы поглощения, фиксируемые в диапазоне 3000–2800 см<sup>-1</sup> (полосы поглощения 2924 см<sup>-1</sup> и 2853 см<sup>-1</sup> для образца 1, 2925 см<sup>-1</sup> и 2851 см<sup>-1</sup> для образца 2, 2924 см<sup>-1</sup> и 2853 см<sup>-1</sup> для образца 3) характеризуют симметричные валентные колебания метиленовых групп в составе образцов сорбента.

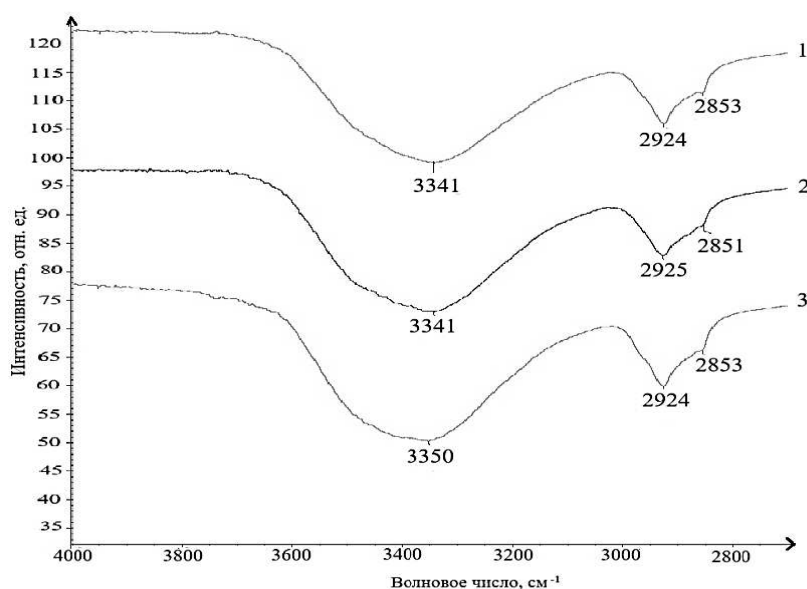


Рис. 1. Фрагмент спектров инфракрасного поглощения исходного образца пыли зерновой (1), отработанного сорбента, содержащего ионы цинка (2), отработанного сорбента, содержащего ионы меди (3) в диапазоне волнового числа 4000–2800  $\text{см}^{-1}$

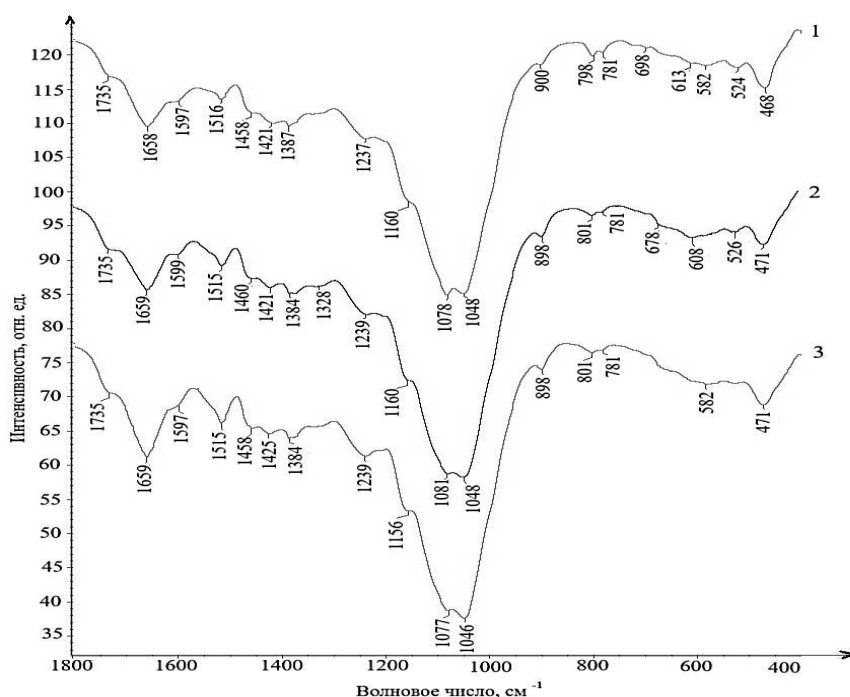


Рис. 2. Фрагмент спектров инфракрасного поглощения исходного образца пыли зерновой (1), отработанного сорбента, содержащего ионы цинка (2), отработанного сорбента, содержащего ионы меди (3) в диапазоне волнового числа 1800–400  $\text{см}^{-1}$

В составе исследуемых образцов отхода при частоте колебаний  $1735 \text{ см}^{-1}$  (рис. 2) наблюдаются полосы поглощения, характерные при наличии в составе материала связи  $\text{C}=\text{O}$  карбоксильных групп, что свидетельствует о присутствии гемицеллюлозы в составе пыли зерновой.

На присутствие лигнина в составе исследуемых образцов отходов указывает совокупность полос поглощения, наблюдаемых в диапазоне волновых чисел 1450–1600  $\text{см}^{-1}$  (полосы поглощения 1458, 1460, 1515, 1516, 1597, 1599  $\text{см}^{-1}$ ) и обусловленных скелетными колебаниями бензольного кольца. На наличие ножничных колебаний метиленовых групп С–Н указывают полосы поглощения при 1421  $\text{см}^{-1}$  (для образцов 1 и 2) и 1425  $\text{см}^{-1}$  (для образца 3). Колебания С–Н, С=О и О–Н-групп подтверждаются полосами поглощения 1160, 1237, 1387  $\text{см}^{-1}$  для образца 1, 1160, 1239, 1384  $\text{см}^{-1}$  для образца 2 и 1156, 1239, 1384  $\text{см}^{-1}$  для образца 3. Полосы 900  $\text{см}^{-1}$  (образец 1) и 898  $\text{см}^{-1}$  (образец 2 и 3) в спектрах свидетельствуют о присутствии в составе отходов целлюлозосодержащих компонентов и обусловлены асимметричными колебаниями кольца в противофазе и колебаниями атома С<sub>1</sub> и четырех окружающих его атомов в спектрах β-гликозидных структур. В области полос 700–400  $\text{см}^{-1}$  проявляются внеплоскостные деформационные колебания гидроксильных групп -ОН [3].

Анализ спектров ИК-поглощения исследуемого сорбционного материала, полученного на основе пыли зерновой, свидетельствует о растительном происхождении отхода и присутствии в его составе целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Установлено, что во взаимодействии сорбента с ионами тяжелых металлов принимают участие гидроксильные, карбоксильные и метиленовые группы, о чем свидетельствуют незначительные изменения в соответствующих полосах поглощения исходного и отработанного сорбционного материала.

Таким образом, пыль зерновая может рассматриваться как перспективный сорбционный материал и найти применение в практике очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Отработанный сорбент не подлежит регенерации и может применяться в качестве выгорающей добавки при производстве керамических материалов.

#### **Библиографический список**

1. Сорбционные свойства и природа взаимодействия целлюлозосодержащих полимеров с ионами металлов / Т. Е. Никифорова, Н. А. Багровская, В. А. Козлов, С. А. Лилин // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 5–14.
2. Лихачева А. В., Шибек Л. А. Химия окружающей среды. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие. Минск : БГТУ, 2011. 204 с.
3. Методы исследования древесины и ее производных : учебное пособие / Н. Г. Базарнова, Е. В. Карпова, И. Б. Катраков и др. Барнаул : Изд-во Алт. гос. ун-та, 2002. 160 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

*Е. Л. Никитина, П. А. Загорец, Ю. А. Феофанова, А. А. Качков  
Ярославский государственный технический университет,  
niritinael@ystu.ru*

Практический опыт, экономическая целесообразность и высокая эффективность очистки воды от органических загрязнителей предусматривают использование сорбционных методов. Выбор наиболее дешевых и эффективных

сорбентов широкого спектра действия с использованием природного доступного сырья является актуальной задачей. Установлено, что наибольшей нефтеемкостью обладают сорбенты на основе древесных опилок и отхода целлюлозы.

Ключевые слова: органические сорбенты, загрязнение нефтепродуктами, сорбция, эффективность очистки.

Разлив нефтепродуктов по водной поверхности является экологической катастрофой, последствия которой губительны для всего живого. Нефть и нефтепродукты являются загрязнителями длительного распада и с большой скоростью покрывают водную поверхность нефтяной пленкой. Ежегодно из общей массы нефтепродуктов, поступающих в моря и океаны, около 35% составляют потери при транспортировке нефти, 32% выносятся реками, 10% поступает с городскими и промышленными отходами. Значительную нагрузку испытывают природные водоемы при аварийных ситуациях, а также атмосфера и почва [1]. Наибольшую экологическую опасность представляют разливы нефти на поверхности морей, водоемов и рек, так как в течение нескольких часов тонкая пленка нефтепродуктов может покрыть десятки и сотни квадратных километров водной поверхности, перемещаясь с течением воды.

К современным методам предотвращения загрязнения гидросферы относятся: совершенствование международного экологического законодательства; увеличение капиталовложений в новые технологии транспортировки, добычи и переработки нефти; разработка новых технологий и материалов для очистки водной поверхности.

Существует множество способов очистки сточных вод от нефтепродуктов (механические, физико-химические, химические, биохимические). Наиболее перспективным и экономически целесообразным методом очистки от нефтепродуктов с водной поверхности является сорбционный способ [2]. Идеального материала, сочетающего в себе оптимальное соотношение качества очистки, стоимости и безопасности использования, на данный момент не существует. Выбор того или иного сорбента зависит от многих факторов, в том числе от масштабов загрязнения, его локализации, а также от стоимости самого сорбента. В зависимости от климатических условий существенными являются свойства сорбента по показателю рабочих температур. При этом одним из важных показателей сорбента является возможность его регенерации с последующей утилизацией. Достоинством природных материалов в качестве сорбентов является экологическая безопасность, дешевизна, доступность и возможность утилизации отработанного материала. Целью работы является изучение возможности использования природных материалов и вторичных ресурсов в качестве сорбентов для сбора нефтепродуктов с поверхности водоема.

Создание дешевых эффективных сорбционных материалов с использованием доступных сырьевых ресурсов представляется одним из наиболее перспективных путей решения данной проблемы. Для определения качества нефтяных сорбентов используют три основных показателя: нефтепоглощение, водопоглощение, плавучесть. Эффективность сорбентов для сбора нефти оце-

нивают в первую очередь по значению нефтеемкости. Высокое водопоглощение можно устранить практически для всех материалов дополнительной гидрофобизацией. Материалы с низкой плавучестью могут эффективно использоваться в изделиях с армирующей оболочкой – бонах, матах, салфетках, губках [3, 4]. По механизму удаления нефти различают сорбенты, для которых доминирует физическая поверхностная сорбция. Здесь сбор нефти происходит за счет адгезии на поверхности частиц сорбента. В этом случае количество поглощаемых нефтепродуктов определяется величиной удельной поверхности материала и ее свойствами (гидрофобностью, олеофильностью). Измельчение сорбирующего материала является наиболее простым способом увеличения площади его поверхности и поглотительной способности по отношению к нефти и нефтепродуктам. При измельчении может достигаться критический размер частиц сорбента, когда процесс смачивания нефтью прекращается и сорбция не происходит.

По структурному типу сорбенты делятся на волокнистые и объемно-пористые (с закрытой или открытой структурой пор). Волокнистые материалы представляют собой систему хаотично уложенных, свободно распределенных в пространстве тонких нитей. Они, как правило, имеют пространственно неориентированную структуру, позволяющую загрязнениям контактировать с большой поверхностью в единицу времени. Типичными волокнистыми материалами для сбора нефти являются вата, войлок, ткани, синтепон, базальтовое волокно, целлюлоза и др. Необходимо отметить, что для волокнистых поглотителей характерно наличие периода нестационарного состояния структуры материала, в течение которого происходит увеличение объема сорбента от минимального значения при сжатии до максимальной величины при упругом расширении структуры материала. Используемые в работе сорбенты на основе природных материалов и вторичных ресурсов, показали высокую эффективность очистки и позволили предложить технологию очистки нефтезагрязненных вод с применением сорбционной очистки доступными органическими сорбентами.

#### **Библиографический список**

1. Экологическая химия. Основы и концепции / Ф. Кортс, М. Бахадир, В. Клайн и др. М. : Мир, 1997. 396 с.
2. Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2010. 270 с.
3. Артемов А. В., Пинкин А. В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений // Вода: химия и экология. 2008. № 1. С. 19–25.
4. Мырзалиева С. К., Елигбаева Г. Ж., Исабаев Е. А. Новые решения в утилизации нефтяных отходов // Промышленность Казахстана. 2014. Т. 87, № 6. С. 34–40.

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПЕРСПЕКТИВА ПРОИЗВОДСТВА ВИНОГРАДНОГО ПОДКИСЛИТЕЛЯ

*Р. И. Голубь, Д. Г. Кручиреску, Л. И. Работникова, Е. Д. Войтко,  
С. Л. Арнаут, С. К. Фёдоров*

*Практический научно-исследовательский институт садоводства и  
пищевых технологий, Республика Молдова,  
romangolubi985@gmail.com, dcrucirescu@mail.ru, l.rabotnikova@list.ru,  
elenavojtko@mail.ru, arnaut.61@inbox.ru, stas.fedorov.57@inbox.ru*

В статье представлен опыт применения незрелого винограда для производства натурального подкислителя. Процесс аргументируется с точки зрения технико-экономического обоснования. Выявлена экономическая перспектива переработки незрелого винограда и производства подкислителя. Производственные затраты и цены на подкислитель из винограда оцениваются в 3000 лев за тонну.

Ключевые слова: виноградный подкислитель, технико-экономическое обоснование, экономическая перспектива.

Площадь виноградных плантаций в Республике Молдова, по данным Национального бюро статистики, составляет 140,4 тыс. га [1]. Площадь виноградников технических сортов оценивается на уровне 92 тыс. га, а мелким садоводам принадлежит 2/3 от общей площади.

Виноградные плантации столовых сортов составляют 14,7 тыс. га. Из них доля ранних сортов составляет около 30% (Мускат янтарный, Супер экстра, Прима, Кардинал, Ранний Магарач, Кодрянка, Аркадия, Восторг, Кубань, Лора и др.), полуранних сортов 15% (Презентабил, Виктория, Одесский сувенир и др.) и поздних – 55% (Молдова, Алб де Суручень, Ляна, Мускат де Гамбург, Шасла, Гузун и др.). Площадь виноградников с сортами *Vitis Labrusca* (Изабелла, Лидия, Ноар) составляет примерно 3–3,5 тыс. га, они преимущественно расположены в центральном районе республики [2].

Для получения винограда высокого качества как для промышленной переработки, так и для реализации на рынке для непосредственного потребления с виноградной лозы удаляют 25–30% неспелого винограда. Таким образом, около 90 тысяч тонн зеленого винограда ежегодно не используются, превращаясь в сельскохозяйственные отходы.

Исследования, проведенные во Франции в INRA [3] и в Республике Молдова (Практический научно-исследовательский институт садоводства и пищевых технологий ПНИИСПТ) [4], показывают, что зеленый виноград можно использовать в производстве подкислителей с последующим применением в безалкогольных напитках и консервной промышленности. На экономическую оценку затрат на уборку, транспортировку и переработку винограда для получения подкислителей из винограда повлияло технико-экономическое обоснование, аналогичное тому, которое применяется на

предприятиях, производящих овощные и фруктовые консервы. Исследования проводились в сезон 2019 г. Все цены и затраты в данной статье указаны на тот же период, единицей измерения был молдавский лей. Курс лея к рублю на тот момент составлял: 1 RUB = 0,2899 MDL.

Процесс получения подкислителя из винограда разработан научными сотрудниками лаборатории оценки качества пищевых продуктов ПНИИСПТ. В качестве сырья использовался виноград, который имел водорастворимые сухие вещества в пределах 10,0–13,9% и титруемую кислотность в пределах 1,2–2,5%, выраженную в винной кислоте. Сбор урожая начался за 30 дней до достижения виноградом технической зрелости и длился примерно 14 дней. Технологический процесс получения подкислителя мало чем отличается от процесса производства натурального виноградного сока, но предусматривает иные правила расхода сырья, вспомогательных и энергетических материалов.

Сбор зеленого неспелого винограда осуществлялся вручную сельскохозяйственными рабочими, которые собирали в среднем 500 кг/день каждый, стоимость дня одного работника составила 200 леев.

*За 1 тонну винограда сбор урожая обойдется 2 x 200 леев = 400 леев.*

Перевозка сырья винограда от производителя до перерабатывающего предприятия рассчитывалась по Нормам расхода горюче-смазочных материалов на автомобильном транспорте [5].

Грузовик Камаз 5320, оснащенный прицепом, перевозил 15 тонн винограда и расходовал 33,6 литра дизеля на расстояние 100 км, а на обратный путь без груза он расходовал 27,7 литра. Цена на дизельное топливо в сезон сбора урожая 2019 года составила 15,43 лея/литр.

Ориентировочная стоимость перевозки 1 тонны сырья винограда приведена в таблице 1.

*Таблица 1*

**Стоимость перевозки сырья винограда \***

Наименование затрат	Норма расхода дизельного топлива, л/100км	Цена, лей	Себестоимость, лей
Транспортирование виноградного сырья	33,6	15,43	518,5
Поездка к пункту возврата	27,7	15,43	427,4
Зарплата водителя (туда и обратно)		250	250,0
Перевозка 15 тонн винограда			195,9
Перевозка 1 тонны винограда			79,2

*Примечание:* \* по данным [5]; по цене сезона 2019 года.

Для переработки закупочная цена за 1 тонну сырья винограда составит:

*Закупочная цена/тонна = стоимость сбора урожая/тонну + транспортные расходы/тонна + вспомогательные затраты.*

*Цена закупки/тонна = 400 + 79,2 + 20 = 498,2 лея (около 500 леев)*

Срок сбора сырья винограда и, соответственно, период переработки, был установлен в 14 дней. Подкислитель винограда предполагалось получить на технологической линии производительностью 20 тонн винограда в час.

Был проведён экономический расчёт общей прямой себестоимости, включающей затраты на сырьё, вспомогательные материалы и энергоносители, а также трудозатраты на производство подкислителя из винограда (табл. 2). Цены на сырьё, вспомогательные материалы и энергоносители составлены по ценам на период 01 августа 2019 г.

Таблица 2

**Материально-энергетические ресурсы для производства подкислителя из винограда**

Тип ресурса	Единица измерения	Цена за единицу, лей	Норма потребления*	Сумма, лей
Сырьё виноград	тонн	500,0	2,300	1150,0
Пектолитические ферменты	кг	1000,0	0,030	30,0
Желатин	кг	300,0	0,200	60,0
Питьевая вода	м <sup>3</sup>	12,0	2,600	31,2
Электричество	кВт*ч	1,92	23,00	44,2
Пар	тонн	500,0	0,200	100,0
Трудочеловек	Т*часа	333,0	0,9	306,0
Дезинфицирующие материалы	kg	100,0	0,450	45,0
Итого прямые затраты				1766,8

*Примечание:* \* за 1 тонну готовой продукции.

Общие косвенные затраты были рассчитаны исходя из следующих затрат: износ здания производственного цеха, технологического оборудования, заработная плата административного и вспомогательного персонала, административные расходы (табл. 3).

Приблизительно было подсчитано, что стоимость здания производственного цеха и склада готовой продукции составляет 9 млн леев со сроком амортизации 20 лет. В состав технологической линии входит современное оборудование, стоимость которого оценивалась в 21 млн леев, со сроком амортизации 10 лет.

Следовательно, сумма амортизации основных средств за каждый год составила:

$$\text{Амортизация здания производственного цеха} = 9\,000\,000 \text{ лей} : 20 \text{ лет} = 450\,000 \text{ лей/год}$$

$$\text{Амортизация технологического оборудования} = 21\,000\,000 \text{ лей} : 10 \text{ лет} = 2\,100\,000 \text{ лей/год}$$

$$\text{Общая амортизация здания и оборудования} = 2\,550\,000 \text{ лей/год.}$$

1/3 годового потребления приходилась на производство подкислителей, 1/3 – на производство виноградных соков, а оставшаяся 1/3 – на производство вин по классическим технологиям.

Величину износа здания и технологического оборудования, которая была включена в косвенные затраты при получении подкислителей, рассчитывали как 1/3 годовой амортизации:

$$\text{Амортизация (здания+оборудование)/год} = 2\,550\,000 : 3 = 850\,000 \text{ лей/год.}$$

По результатам, полученным при отработке технологического процесса, было установлено, что из 20 тонн незрелого винограда получается 8,7 тонн



подкислителя с содержанием 12% водорастворимых сухих веществ. Ожидаемый годовой объем производства составил:

$$8,7 \text{ тонн/час} \times 5 \text{ часов/смену} \times 2 \text{ смены/день} \times 14 \text{ дней/год} = 1218 \text{ тонн}$$

Таблица 3

### Структура косвенных затрат на производство подкислителя из винограда

Вид косвенных расходов	Сумма, лей	Подкислитель (1218 тонн)
Износ здания и технологического оборудования	850000	850000
Заработная плата административных работников за 1 месяц*	32000	16000
Зарплата вспомогательных работников за 1 месяц*	18000	9000
Административные расходы и прочие	10000	5000
Общие косвенные затраты за сезон, леев		880000
Общие косвенные затраты, лей/тонна		722,8

Примечание: \* Заработная плата, включая отчисления на социальное страхование.

Подсчитав общие прямые и косвенные затраты на тонну готовой продукции, были оценены общие затраты на производство ожидаемой продукции, включена рентабельность со значениями 17–19% и установлено, какова цена реализации продукции для виноградного подкислителя (табл. 4).

Таблица 4

### Оценка себестоимости производства и цен на подкислитель из винограда

Название экономических показателей	Подкислитель
Прямая стоимость, лей/тонна	1766,8
Косвенные затраты, лей/тонна	722,8
Общая стоимость, лей/тонна	2489,6
Рентабельность, лей/тонна (17%)	510,4
Общая стоимость, лей/тонна	3000,0

Примечание: расчёт производился по данным таблиц 1–3.

Ориентировочная себестоимость подкислителя из винограда представляет интерес для консервных заводов и доступна для возможности осуществления переработки незрелого винограда.

Подкислитель имеет ценные пищевые компоненты и может заменить в овощных и фруктовых консервах лимонную и уксусную кислоты, а также некоторое количество сахара. Другая область применения этих подкислителей – это производство новых видов безалкогольных напитков, обладающих оригинальными характеристиками вкуса и аромата.

В заключение было установлено, что прореживание винограда с целью балансировки нагрузки лозы в соответствии с требованиями для получения качественного товарного винограда приводит к накоплению около 90 тыс. тонн зеленого винограда. Незрелые гроздья винограда можно использовать путем промышленной переработки для получения натурального подкислителя, который, в свою очередь, может быть использован при производстве овощных и фруктовых консервов и напитков.

Себестоимость и цена полученного подкислителя в размере 3000 леев/тонна были оценены исходя из текущего уровня затрат на заготовку и транспортировку сырья, переработку на промышленных предприятиях,

оснащенных современным оборудованием, и потребление материальных и энергетических ресурсов.

Экономическая перспектива производства подкислителей из винограда может стать подходящей альтернативой использованию незрелого зелёного винограда, невостребованного на этапе ранней технической зрелости.

#### **Библиографический список**

1. Министерство сельского хозяйства и пищевой промышленности Республики Молдова. Информационная справка о проведении уборочной кампании винограда и состоянии виноградников [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.madrm.gov.md/ro/content/1862> (дата обращения: 01.08.2019).

2. Национальное бюро статистики [Электронный ресурс]. – URL: [https://statistica.gov.md/ro/statistic\\_domains](https://statistica.gov.md/ro/statistic_domains) (дата обращения: 01.08.2019).

3. Raisins verts: de la récolte à la transformation. Application à l'élaboration de verjus / V. Pages, R. Schneider, G. Archambault et al. // Le Progrès Agricole et viticole. 2007. Vol. 8. P. 153–160.

4. Альтернативы оценки винограда по сортам Vitis Labrusca / I. Iorga, T. Achimova, R. Golubi et al. // Pomicultura, Viticultura și Vinificația. 2012. Vol. 2. No. 38. P. 23–24.

5. Министерство транспорта и дорожного хозяйства. Приказ № 172 от 09.12.2005. Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.legis.md/cautare/getResults?doc\\_id=9957&lang=ro](https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=9957&lang=ro) (дата обращения: 01.08.2019).

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГУМИНОВЫХ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРАХ С ЦЕЛЬЮ ОХРАНЫ БИОСФЕРЫ**

*Г. А. Пузик<sup>1</sup>, В. С. Дорошкевич<sup>2</sup>, Ю. Н. Зубкова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Донецкий национальный медицинский университет  
имени М. Горького Минздрава РФ, [puzikgleb@yandex.ru](mailto:puzikgleb@yandex.ru),*

*<sup>2</sup> Донецкий государственный университет, [juliazubkova2006@yandex.com](mailto:juliazubkova2006@yandex.com)*

Исследованы компоненты стимулирующего комплекса гуминовых веществ на приживаемость, рост и сохранность лесных культур при обработке растворами гуматов аммония и остаточных углей. Показано наличие стимулирующих и адаптогенных свойств гуминового комплекса для внекорневой обработки семян, саженцев с целью повышения укореняемости посадочного материала при варьировании концентрации растворов гумата аммония в диапазоне  $1 \cdot 10^{-6}$ – $2,5 \cdot 10^{-3}$ %, остаточных углей – 0,1–0,5%.

Ключевые слова: гуминовые вещества, функции, микроэлементы, макроэлементы, компоненты, комплексы, биоактивность.

В природных гуминовых веществах практически все компоненты имеют выраженную биологическую активность. Природные гуминовые вещества имеют уникальные свойства, которые обеспечиваются качественным и количественным составом органоминеральных комплексов, наиболее доступные для растений.

Нами проведена работа совместно с учеными Мариупольской лесной научно-исследовательской станции (МарЛНИС) по применению гумата аммония и остаточных бурых углей в качестве ростовых и стимулирующих веществ в лесном хозяйстве.

Основные задачи исследования:

- определение степени отзывчивости семян древесно-кустарниковых пород на предпосевную обработку;
- испытание обработки корневых систем сеянцев и саженцев при посадке с целью уменьшения послепосадочной депрессии и луч приживаемости и сохранности культур;
- изучение реакции сеянцев и саженцев на внекорневую подкормку водными растворами препаратов;
- стимулирование регенерационной способности черенков путем предпосадочной обработки;

Применяли разбавленные растворы буроугольного гуминового комплекса ГК-А в диапазоне концентраций  $1 \cdot 10^{-3}$ – $2,5 \cdot 10^{-6}$ %. Остаточные бурые угли использовали для приготовления болтушки с концентрацией 0,25 и 0,50%.

На растительных объектах использовали различные методики обработки указанными препаратами семян, сеянцев и саженцев.

По способу обработки семян опыты заложены по трем вариантам:

- обработка полусухим способом по промышленному образцу;
- кратковременная обработка с последующей сушкой;
- замачивание семян.

В первом варианте навеску семян тщательно перемешивали с рабочим раствором из расчета 10 мг стимулятора на 1 кг семян, при этом эмульгатор адсорбируется на поверхности оболочки. Второй вариант обработки: семена погружали в емкость с раствором, после чего просушивали и высевали в грунт. В третьем варианте семена замачивали в растворе в течение 24 ч, просушивали до состояния сыпучести и высевали вручную с соблюдением норм высева и глубины заделки.

Внекорневую обработку сеянцев и саженцев проводили двукратно в период активного роста ручным опрыскивателем, рабочие растворы готовили непосредственно перед работой. Во избежание ожогов листьев и хвои мероприятия проводили в нежаркое время суток.

Намачивание корневых систем сеянцев и саженцев в растворах ГК-А и остаточных углей осуществляли за 24 часа до посадки. Для этого на основе стимулятора готовили глинистую болтушку.

Опыты по испытанию гумата аммония на семенном материале были заложены для следующих пород: орех грецкий (*Juglans regia* L.); лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.); облепиха крушиновая (*Hippophae rhamnoides* L.); шелковица белая (*Morus alba* L.); лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) клен татарский (*Acer tataricum* L.); клен ясенелистный (*Acer negundo* L.); лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia* L.); туя западная (*Thuja occidentalis* L.); черемуха позднецветная (*Padus serotina* (Ehrh.) Ag.); бундук канадский (*Gymnocladus canadensis* Lam.); акация белая (*Robinia pseudoacacia* L.).

В ходе трехлетних исследований получен богатый экспериментальный материал для оценки физиологической активности ГК-А при использовании его в предпосевной обработке семян различными вышеуказанными способами. Результаты и данные инвентаризаций посевов сеянцев и дендрометрических обмеров сеянцев шелковицы белой представлены в таблице. Из данных таблицы видно, что гуматы аммония дают положительный эффект на всех изученных видах. Оптимальной концентрацией растворов гумата аммония для всех видов является  $1 \cdot 10^{-5}\%$ . Также четко видно, что у опытных растений сокращаются периоды появления массовых всходов (до 5 дней) по сравнению с контролем. Это в дальнейшем играет определенную роль в получении большего количества стандартных сеянцев.

В таблице представлены данные опыта по изучению влияния растворов гумата аммония и остаточного бурого угля на приживаемость, рост и сохранность нескольких культур: акация белая, шиповник, снежноягодник кистевой, облепиха. Были использованы растворы гумата аммония с концентрацией в пределах  $1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-3}\%$ ,  $2,5 \cdot 10^{-6}$ – $2,5 \cdot 10^{-3}\%$  и остаточные бурые угли в виде 0,1%, 0,25% и 0,5% растворов для предпосадочной обработки корневых систем (экспозиция – 24 ч.).

Наряду с предыдущим экспериментом нами было получено, что на большинстве лесных культур повышается рост и кустистость растений в 2–3 раза, что влияет на экологию в тех регионах, где сильно развита промышленность. Все это влияет на охрану природы и биосферы в целом.

Полученные результаты показывают, что низкие концентрации остаточных углей в ряду исследованных (0,1%, 0,25%) способствуют увеличению сохранности культур и приросту растений в высоту. Обработка корневых систем раствором концентрации 0,5% оказывает угнетающее действие на развитие всех опытных пород. В плане видовой чувствительности выявлено следующее: большой прирост по высоте соответствует концентрациям  $2,5 \cdot 10^{-6}$ – $2,5 \cdot 10^{-5}\%$ , но максимальные показатели сохранности сеянцев соответствуют концентрациям  $2,5 \cdot 10^{-4}$ – $2,5 \cdot 10^{-3}\%$ .

*Таблица*

**Приживаемость, рост и сохранность лесных культур при обработке растворами гуматов аммония и остаточных углей**

Порода	Концентрация препарата, %	Приживаемость, %	Высота, см	Сохранность, %
1	2	3	4	5
Обработка остаточным углем				
Акация белая	контроль	–	190,5±3,9	80
	0,25	–	194,3±4,9	81
	0,50	–	187,0±4,5	76
Шиповник	контроль	–	107,9±2,7	57
	0,25	–	121,5±3,6	61
	0,5	–	117,3±2,9	59
Акация белая	Контроль	78	69,3±3,4	70
	0,10	90	97,4±3,5	83
	0,50	87	87,3±2,8	82

1	2	3	4	5
Снежноягодник	Контроль	92	61±1	72
	0,50	70	58,7±2,6	65
Акация белая	Контроль	62	35,8±1,2	72
	0,10	72	41,3±2,1	69
	0,25	67	37,6±2,3	65
	0,50	56	30,3±0,6	52
Обработка растворами гумата аммония				
Акация белая	Контроль	76	30,9±1,7	62
	$2,5 \cdot 10^{-6}$	81	40,2±1,9	65
	$2,5 \cdot 10^{-5}$	80	37,6±3,2	65
	$2,5 \cdot 10^{-4}$	75	29,6±1,1	72
	$2,5 \cdot 10^{-3}$	79	27,3±1,2	70
Облепиха	Контроль	69	17,3±2,1	58
	$1 \cdot 10^{-6}$	70	19,8±1,6	69
	$1 \cdot 10^{-5}$	71	20,1±2,1	68
	$1 \cdot 10^{-4}$	72	19,6±1,4	69
	$1 \cdot 10^{-3}$	76	15,7±1,3	59

*Примечание:* исследования и определение приживаемости акации белой и шиповника в присутствии остаточного бурого угля не проводились, в таблице обозначены « – ».

Таким образом, приведенный экспериментальный материал подтверждает наличие стимулирующих и адаптогенных свойств гуминового комплекса (ГК-А) по отношению к древесно-кустарниковым породам при использовании препарата для внекорневой обработки семян и саженцев, а также замачивания черенков для повышения укореняемости вегетативного посадочного материала. Низкая цена, доступность и простота в применении на фоне хорошей отзывчивости древесно-кустарниковых пород к гумату обеспечивает перспективность и целесообразность применения гуматсодержащих препаратов в лесном хозяйстве и зеленом строительстве. Этот вывод подтверждается и работами российских ученых последних лет [1–4].

*Исследования проводились в рамках государственного задания (номер госрегистрации 10230310000018-1-1.4.3).*

#### Библиографический список

1. Зубкова Ю. Н., Пузик Г. А. Комплексные гуматмикроэлементные препараты и их применение // Химические проблемы современности 2024 : сб. материалов VIII Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Донецк : Изд-во ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», 2024. С. 218–220.
2. Пономарева И. Б., Зубкова Ю. Н., Ермаченко А. Б. Эколого-токсикологическая оценка промышленных отходов угольной промышленности и пути их утилизации // Инновационные перспективы Донбасса : материалы междунар. науч.-практ. конф. Донецк : Донецкий национальный технический университет, 2015. С. 198–200.
3. Получение гуматсодержащих удобрений на основе природного сырья / У. Ж. Джусипбеков, Г. О. Нургалиева, З. К. Баяхметова, А. К. Шакирова. DOI: 10.31857/S0023117720030020 // Химия твердого топлива. 2020. № 3. С. 50–54.

4. Получение жидких сложных NPK и NPKS гуматов на основе бурого угля окисленного пероксидом водорода / Н. Х. Усанбаев, Ш. С. Намазов, П. Х. Ганиев, Т. Ж. Пиримов. DOI: 10.53884/27132854\_2022\_6\_56 // Химическая промышленность сегодня. 2022. № 6. С. 56–63.

## ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИООБЪЕКТОВ

*И. Л. Бухарина, А. С. Пашкова, А. Г. Ковальчук*

*Удмуртский государственный университет, buharin@udmlink.ru*

Существует ряд методов утилизации органических отходов различного происхождения и морфологического состояния. Но большинство органической составляющей общей массы образующихся в мире отходов не перерабатывается эффективно. Для обеспечения экологичной, эффективной и экономически целесообразной переработки органических отходов следует применять биотехнологии, которые позволяют снизить негативное воздействие на окружающую среду. Переработка органических отходов с использованием личинки мухи черная львинка – *Hermetia illucens* – пример подобной биотехнологии, который основан на природной способности личинок перерабатывать органику с образованием полезного продукта – биогумуса (зоогумуса).

Ключевые слова: утилизация отходов, вторичное сырьё, биотехнологии, живые организмы.

В настоящее время проблема органических отходов приобрела глобальные масштабы. Крупные города по всему миру регулярно образуют миллионы тонн органических отходов, как растительного, так и животного происхождения. Согласно исследованию, проведённому по заказу Продовольственной и сельскохозяйственной организации объединённых наций (ФАО), ежегодно образуется более 1 млрд т пищевых отходов [1].

В соответствии с докладом «Индекс пищевых отходов», подготовленного Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) при участии Международной благотворительной организации «Программа действий по отходам и ресурсам» (WRAP), человечество выбросило около 19% продуктов питания, произведенных в 2022 г. (1,05 млрд т). Об этом сообщает Associated Press [2].

Согласно информации Публично-правовой компании «Российский экологический оператор», озвученной 1 мая 2020 г. во время презентации федеральной схемы по обращению с отходами, в Российской Федерации существует более 1200 предприятий по утилизации отходов с суммарной мощностью переработки более 37 млн т отходов ежегодно. При этом текущий показатель утилизации, в частности по твёрдым коммунальным отходам (ТКО) варьирует в пределах 4–5%, т. е. не более 3,5 млн т/год. Таким образом, при объёме накопления ТКО до 65 млн т/год по всей стране, менее 10% имеющихся мощностей заняты утилизацией отходов [3].

В Удмуртской Республике (УР) проблема органических отходов также требует внимания. В Удмуртии развит аграрный сектор промышленности, также имеется ряд крупных животноводческих комплексов. В городах и районных центрах республики большое количество отходов образуют гипермаркеты и предприятия общественного питания. Ежегодно образуется, в среднем, около 4 млн м<sup>3</sup> отходов и только 3–4% из этого количества идет в промышленную переработку.

Среднегодовой объем образования отходов производства и потребления в республике составляет около 700 тыс. тонн или 2,8 млн м<sup>3</sup>. При этом 70% образующихся отходов приходится на твердые бытовые отходы, 30% – на деятельность предприятий и организаций (промышленные отходы).

В мире наблюдается постепенный переход стран к экономике замкнутого цикла, например, переработка органических отходов сельского хозяйства с получением животного белка для кормления животных и птицы, так называемый тренд перехода на высокобелковые корма с низкой себестоимостью [4]. Таким образом, переработка органических отходов сельского хозяйства с помощью личинок мух решает несколько критических задач развития сельского хозяйства: производство дешевого и качественного животного белка; вовлечение биологических отходов во вторичную обработку; снижение негативной нагрузки на окружающую среду [5].

В качестве перспективного и безвредного с экологической точки зрения способа утилизации органических отходов можно рассматривать переработку с применением живых организмов. Одним из таких объектов является муха черная львинка – *Hermetia illucens*. Личинки мухи применяются для производства косметологической продукции, биологических добавок для кормов, а также в фармацевтике. Наши исследования направлены на изучение возможности применения личинок *H. illucens* для переработки органических отходов.

Личинок черной львинки выращивают на субстрате из растительного сырья или пищевых отходов, причем его биоконверсия достигает 77%, что обуславливает низкую стоимость готовой продукции [6].

Личинки как универсальные деструкторы могут расти и развиваться на различных субстратах, полученных из отходов агропродовольственной промышленности, или смешанных городских органических отходах, отходах продуктов питания ресторанов и рынков, фруктовых и овощных отходах, пивной, отходах пищевой промышленности, навозе животных, например, птичьим помете, коровьем и свином навозе фекалиях человека и фекальных осадках, отходах бойни, рыбных отходах [7].

Процесс переработки отходов с использованием личинок мухи отличается от других методов утилизации. Органические остатки не требуют предварительного механического измельчения, так как личинки сами перерабатывают их в мелкие частицы в процессе питания и переваривания. После извлечения питательных веществ из органических отходов объем последних уменьшается на 70–80%. Максимальная скорость биоконверсии составляет не менее 0,9 кг в сут./ м<sup>2</sup> [8].

По оценкам Meticulous Research, к 2030 г. мировой рынок черной львинки достигнет 2,57 трлн долларов, к 2030 г. мировой рынок белка из насекомых в стоимостном выражении достигнет \$8 млрд США [9].

В 2024 г. в рамках стратегического проекта «Новое качество жизни: ответы на современные биоэкологические вызовы» по направлению «Инновационные технологии в сфере обращения с отходами» программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» было подписано Соглашение о сотрудничестве между Удмуртским государственным университетом и производственными партнерами. Результатом соглашения стало создание научно-производственной площадки (далее – НПП) по переработке органических отходов.

Одним из примеров научных разработок, произведенной на базе НПП, является использование белковой кормовой добавки, полученной из личинок черной львинки для внедрения в рацион кормления сельскохозяйственных животных с учётом энергетических потребностей животных в Удмуртской Республике и других регионах России.

Таким образом, использование личинок черной львинки в переработке органических отходов дает возможность развития сферы экологически безопасной переработки отходов, которая может частично компенсировать затраты, путем реализации побочной продукции.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2024-542.*

#### **Библиографический список**

1. 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. // Waste Management. 2020. No. 117. P. 58–80.
2. Миллионы людей сталкиваются с хроническим голодом. Тем не менее, мир тратит впустую 19% своего продовольствия, сообщает ООН [Электронный ресурс]. – URL: <https://apnews.com/article/united-nations-food-waste-report-2024-18018b352ac6bd7be9925e1551-1254ac> (дата обращения: 18.10.2024).
3. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2023 год. М. : Росгидромет, 2024.
4. Перспективы использования муки из личинок мух в животноводстве / А. И. Хатунцев, В. П. Старухин, В. А. Саакян, М. Н. Аргунов // Инновационные технологии и технические средства для АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Воронеж, 2016. С. 174–176.
5. Новые подходы к утилизации биологических отходов / В. Дедяева, М. Аргунов, А. Варенцова и др. // Комбикорма. 2018. № 11. С. 74–75.
6. Особенности биоконверсии органических отходов личинками мухи *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758) / Н. А. Ушакова, А. И. Бастраков, В. П. Карагодин, Д. С. Павлов // Успехи современной биологии. 2018. Т. 138, № 2. С. 172–182.
7. Использование личинки черной львинки (*Hermetia illucens*) в качестве кормового объекта в аквакультуре и утилизации органических отходов / С. Ж. Асылбекова, Р. Т. Баранков, А. А. Мухрамова, Е. Ф. Булавин // *Gylymžānebilim*. 2022. Т. 2, № 2 (67). С. 112–122.



8. Бастратов А. И., Ушакова Н. А., Павлов Д. С. Получение биомассы личинок мухи черная львинка *Hermetia illucens* использование ее как кормовой добавки и в составе комплексного пробиотического препарата для животных // Проектная культура и качество жизни. 2015. № 1. С. 538–547.

9. The International Platform of Insects for Food and Feed [website]. – URL: <https://ipiff.org/> (accessed: 18.10.2024).

## **ИЗУЧЕНИЕ И ПОДБОР СУБСТРАТОВ ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЛИЧИНОК НАСЕКОМОГО *HERMETIA ILLUCENS***

**О. В. Прокудина, Г. В. Песцов, А. В. Третьякова, А. С. Мягкова**  
*Тульский государственный педагогический университет  
имени Л. Н. Толстого, prokudinaolga11@gmail.com*

В работе представлена информация о культивировании личинок насекомого *Hermetia illucens* на субстратах, состоящих из различных органических отходов. Было установлено, что субстрат на основе пищевых хлебных отходов лучше всего усваивается личинками и конверсируется в биомассу.

Ключевые слова: личинки, черная львинка, *Hermetia illucens*, органические отходы, субстраты, утилизация.

В настоящее время существует проблема утилизации различных органических отходов. Согласно исследованию, проведённому по заказу Продовольственной и сельскохозяйственной организации объединённых наций (ФАО), ежегодно образуется 1,3 млрд т пищевых отходов [1]. Из общего количества на переработку было направлено 12,8%, а на полигоны было вывезено 80,5% [2]. Также по данным Росприроднадзора, ежегодно в России образуется 62,8 млн тонн отходов сельского хозяйства [3]. Поэтому данная проблема является актуальной на сегодняшний день. В основном твердые органические отходы складываются на полигонах или сжигаются. После попадания на специализированные полигоны, органические отходы разлагаются под действием микроорганизмов, которые в процессе своей жизнедеятельности выделяют различные метаболиты. Скопление продуктов жизнедеятельности микроорганизмов испаряются и образуют свалочный газ, который состоит из метана (50–60%), углекислого газа (30–40%), примесей азота, сероводорода и органических веществ. Этот газ подвержен возгораниям и часто становится причиной пожаров в местах захоронения отходов. Также одним из традиционных методов утилизации отходов, помимо захоронения на полигонах, является сжигание в специальных мусорных печах. Но данный способ утилизации отходов является дорогостоящим, что делает его экономически невыгодным. Также при сжигании отходов выделяются различные продукты горения, среди которых много парниковых газов. Поэтому в настоящее время необходимо разрабатывать экологичные методы борьбы с твердыми органическими отходами [4, 5].

В последнее время одним из наиболее перспективных направлений является утилизация органических отходов при помощи различных макро- и микроорганизмов. Среди таких направлений можно выделить утилизацию целлюлозосодержащих отходов с помощью грибов-биодеструкторов, компостирование отходов при помощи кольчатых червей разных видов. Но на сегодняшний день одним из популярных объектов для утилизации отходов является насекомое *Hermetia illucens* (черная львинка). Личинки черной львинки могут перерабатывать широкий спектр органических отходов: навоз сельскохозяйственных животных, некондиционные фрукты и овощи, отходы мясного и рыбного производств, просроченные продукты из магазинов и складов, различные растительные отходы, к которым можно отнести ботву культурных растений и т. д. Такая возможность связана с их всеядностью по отношению к углеводной и белковой пище [6].

Научно-исследовательская работа проводилась в микробиологической лаборатории Центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии», лабораториях кафедры биологии и технологий живых систем, факультета естественных наук Тульского государственного педагогического университета имени Л. Н. Толстого и инсектарии ООО «Львинка». Для культивирования личинок температура содержания была 24 °С. Для проведения экспериментов брали личинок возраста 4–12 суток. Опыты закладывали в 8-ми кратной повторности. Переработку органических отходов и получение биомассы личинок проводили в пластиковых контейнерах размером 60х40х23 см при постоянной температуре и влажности. В качестве субстратов использовали хлебные отходы, мясные отходы, растительные отходы (некондиционные бананы), а также отходы животноводства (навоз). Исследовали конверсию субстрата личинками черной львинки. Суть эксперимента заключается в использовании ограниченной массы (200 г) различных субстратов и фиксированного количества трехдневных личинок (4000 шт.) без добавления подкормки. Опыт проводили в контейнерах 60×40×23 см (240 см<sup>2</sup>). Прирост биомассы получали, вычитая массу личинок на 3-и из биомассы личинок на 8-е сутки, и вычисляли конверсию 200 г корма в процентах, то есть сколько прибавилось биомассы личинок при поедании 200 г корма. В таблице представлен учет конверсии корма в биомассу личинок на 8 сутки, так как было отмечено, что в последующем личинки полностью выедали корма и теряли свою биомассу.

Как показали результаты исследования, наилучшая конверсия была при использовании пищевых хлебных отходов. При поедании 200 г хлебных отходов в течение 8 суток 4000 шт. личинок набирали биомассу 404,9 г, что соответствует приросту биомассы в 222,1 г., и, соответственно, конверсия субстрата составила 111%, второй по значимости показатель был при использовании в качестве субстрата растительных отходов (в данном случае просроченных бананов), конверсия субстрата составляла 95%, при утилизации мясных отходов – 86%, а самый низкий показатель при использовании отходов животноводства – 74%. Данный эксперимент показывает, какие субстраты подвергаются более глубокой конверсии, однако все они успешно утилизируются личинками черной львинки.

**Конверсия корма личинками насекомого *Hermetia illucens***

№	Субстрат	Масса личинок на 3 сутки, г	Масса личинок на 8 сутки, г	Прирост биомассы, г	Конверсия субстрата, %
1	Комбикорм (контроль)	183,6±15,5	344,5±29,3	160,9	80%
2	Пищевые отходы (мясные)	176,9±15,6	350,6±30,9	173,7	86%
3	Растительные отходы	178,5±15,1	369,8±32,1	191,3	95%
4	Пищевые отходы (хлебные)	182,8±15,7	404,9±35,5	222,1	111%
5	Отходы животноводства	185,0±16,2	333,8±27,5	148,8	74%

Таким образом, можно сделать вывод о том, что личинки насекомого *Hermetia illucens* являются перспективным объектом в биотехнологических исследованиях, так как они способны утилизировать различные органические отходы и активно нарабатывать биомассу.

**Библиографический список**

1. Массеров Д. А., Кустов М. В. Мировые достижения валоризации органических отходов для экологически устойчивого развития территорий. DOI: 10.15862/06ECOR221 // Отходы и ресурсы. Интернет-журнал. 2021. № 2. [Электронный ресурс]. – URL: <https://resources.today/PDF/06ECOR221.pdf> (дата обращения: 10.10.2024).
2. Новостной сайт РБК : официальный сайт. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rbc.ru/> (дата обращения: 11.10.2024).
3. Платформа Центр социального проектирования : официальный сайт. [Электронный ресурс]. – URL: <https://pltf.ru/> (дата обращения: 09.10.2024).
4. Вайсман Я. И., Петров В. Ю., Середя Т. Г. Факторы, влияющие на объем образующегося фильтрата полигонов захоронения (депонирования) твердых бытовых отходов // Проблемы охраны окружающей среды на урбанизированных территориях : материалы междунар. конф. студентов и молодых ученых. Пермь, 1996. С. 26–38.
5. Подлипский И. И. Эколого-геологическая характеристика полигонов бытовых отходов и разработка рекомендаций по рациональному природопользованию : спец. 25.00.36 : дис. ... канд. геолого-минералогических наук. СПб., 2010. 204 с.
6. Biotechnologische entsorgung von organischen abfällen mit hilfe des insekts hermetia illucens (schwarzer löwe) / G. V. Pescov, R. A. Sidorov, A. V. Glazunova, S. A. Butenko // Проблемы научной мысли. 2021. Т. 7, № 4. С. 23–25.

## ПОЛУЧЕНИЕ БЕЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТА И ЛИПИДОВ ИЗ ЛИЧИНОК НАСЕКОМОГО ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА

*Г. В. Песцов, О. В. Прокудина, А. В. Третьякова, А. С. Мягкова*  
Тульский государственный педагогический университет  
имени Л. Н. Толстого, [georgypestsov@gmail.com](mailto:georgypestsov@gmail.com)

В работе представлена информация о получении белкового концентрата и жира из личинок насекомого *Hermetia illucens*, которые были предварительно выращены на субстратах, состоящих из различных органических отходов. Было установлено, что на субстратах богатых углеводами можно получать большое количество липидов черной львинки, а на субстратах с высоким содержанием белка, после экстракции можно получить большое количество белкового концентрата.

Ключевые слова: белковый концентрат, высушенные личинки, *Hermetia illucens*, липиды, органические отходы, переработка.

На сегодняшний день в биотехнологических исследованиях одними из наиболее перспективных объектов являются насекомые. Их преимущество состоит в том, что они быстро размножаются, растут и наращивают свою биомассу. Также некоторые виды насекомых поддаются культивированию в искусственных условиях. С помощью насекомых возможно разработать технологии экологичной утилизации различных органических отходов и в результате получать полезные продукты.

Одним из перспективных видов для утилизации органических отходов является насекомое *Hermetia illucens* (черная львинка). Это тропическое насекомое, естественный ареал обитания которого распространяется от Северной и Южной Америки до Южной Азии. Насекомое *Hermetia illucens* может активно развиваться только при достаточно высоких температурах (28–32 °С) и повышенной влажности (70–90%). Самки имаго откладывают яйца, из которых затем вылупляются личинки [1]. Личинки черной львинки способны питаться органическими отходами широкого спектра [2]. В результате действия ферментной системы личинок отходы превращаются в зоогумус с высоким содержанием азота, фосфора, гуминовых кислот и микроэлементов [3]. Биомасса живых личинок содержит в своем составе большое количество протеинов и может использоваться в качестве корма для аквакультуры и птицы, а после высушивания из них делают корма для сельскохозяйственных и домашних животных. Биохимический состав сушеных личинок может варьироваться. Он зависит от состава корма, метода сушки, внешних факторов и других параметров, но чаще всего он составляет 35,5–48,3% белка, 20,6–45,5% жира, хитина 5–7%. К числу важных соединений относятся: сырой протеин (42%), липиды (35%), сырая клетчатка (7%), свободный экстракт азота (1,4%), зола (14,6%), кальций (5,0%), фосфор (1,5%), железо (1,0%) [4].

Помимо этого, из высушенных личинок насекомого *Hermetia illucens* можно получать белковый концентрат и жир путем экстракции в маслопрессе. Белковый концентрат, полученный из сушеных личинок насекомого *Hermetia illucens*, представляет собой продукт, содержащий высокое количество белка и других питательных веществ. Процесс получения концентрата начинается с выращивания личинок на корме, который содержит все необходимые питательные вещества для их роста и развития. Так же процесс получения белкового концентрата зависит от типа корма, на котором растут личинки, он может применяться в качестве добавки к рациону сельскохозяйственных животных или для производства комбикорма. Если очистить белковый концентрат от хитина и перемолоть в муку, то получается основа для изготовления спортивного питания. Жир, который образуется в результате экстракции высушенных личинок также является полезным продуктом. Биохимический состав жира *Hermetia illucens* характеризуется высоким содержанием лауриновой жирной кислоты, которая обладает бактерицидными свойствами, также он содержит монолаурин, который обладает антибактериальной, противовирусной и противогрибковой активностью. Поэтому жир личинок черной львинки является перспективным сырьем для косметической и фармацевтической промышленности [5].

Научно-исследовательская работа проводилась в микробиологической лаборатории Центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии», лабораториях кафедры биологии и технологий живых систем, факультета естественных наук Тульского государственного педагогического университета имени Л. Н. Толстого и инсектарии ООО «Львинка». В качестве субстратов для выращивания личинок использовали комбикорм (контроль), мясные отходы, рыбные отходы, хлебные отходы, растительные отходы и отходы животноводства (ферментированный навоз КРС).

Для высушивания личинок черной львинки использовали сушильный шкаф (ШС-80-01 СПУ). Для экстракции высушенных личинок использовали маслопресс (Ravmid modern RMO-03). Личинок сушили при температуре 100 °С на протяжении 24 ч, затем помещали в маслопресс по 400 г личинок в каждой пробе, маслопресс разделял биомассу на белковый концентрат и жир которые взвешивали, а данные статистически обрабатывали. Результаты представлены в таблице.

В результате проведенной работы было установлено, что при использовании мясных отходов и рыбных отходов соотношение белка и жира в высушенных личинках было практически одинаковым и составило 70% белкового концентрата и 28% жира после переработки мясных отходов и 68% белка и 31% жира на рыбных отходах. Соотношение белка и жира при использовании хлебных отходов было 32% к 62%, а при использовании растительных отходов 44% к 55%. В связи с полученными результатами можно сделать вывод о том, что биохимический состав субстратов влияет на содержание белка и жира в личинках. Субстраты, в которых преобладает белок подходят для наработки белкового концентрата, а субстраты богатые углеводами подходят для наработки липидов.

**Изучение влияния состава корма на содержание белка и жира  
в личинках насекомого *Hermetia illucens* при культивировании  
на различных субстратах**

№	Вариант корма	Количество белка, г	Количество жира, г	белок, %	жир, %
1	Комбикорм (контроль)	251,4±25,8	150,2±13,9	62	37
2	Мясные отходы	283,4±32,7	115,8±12,5	70	28
3	Рыбные отходы	273,2±28,7	127,4±14,0	68	31
4	Хлебные отходы	128,9±13,2	248,8±24,1	32	62
5	Растительные отходы	176,9±16,5	220,4±21,7	44	55
6	Отходы животноводства	243,8±22,1	129,6±11,7	60	32

Таким образом, насекомое черная львинка является уникальным биологическим объектом. С помощью этого вида можно не только утилизировать различные органические отходы, но и получать полезные продукты, которые имеют перспективу к коммерциализации.

**Библиографический список**

1. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркумполярном регионе / А. М. Антонов, Е. Lutovinovas, Г. А. Иванов, Н. О. Пастухова. DOI: 10.15393/j1.art.2017.6302 // Принципы экологии. 2017. Т. 6, № 3. С. 4–19.
2. 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 (77). С. 17–30.
3. Баштовенко К. А., Лоскутов С. И., Рябухин Д. С. Эффективность применения биогумуса личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) при прорастании семян зернобобовых культур. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188123100046> // Агрехимия. 2023. № 10. С. 53–60.
4. Ушакова Н. А., Некрасов Р. В. Перспективы использования насекомых в кормлении сельскохозяйственных животных. Биотехнология: состояние и перспективы развития // Экспо-биохим-технологии : материалы VIII Московского международного конгресса ЗАО. М. : РХТУ имени Д. И. Менделеева, 2015. С. 147–149.
5. Особенности липидной фракции личинок Черной львинки *Hermetia illucens* / Н. А. Ушакова, Е. С. Бродский, А. А. Коваленко и др. // Докл. РАН. 2016. Т. 468, № 4. С. 462–465.

## СЕКЦИЯ 2 ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И РЕЦИКЛИНГ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

### ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ С СОХРАНЕНИЕМ ЦЕЛЕВОГО КОМПОНЕНТА

*А. А. Дьячков, Е. М. Рубин, А. В. Колесников*

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
egor.rubin@list.ru*

В работе представлен обзор наиболее перспективных технологий очистки жидких отходов, содержащих высокие концентрации серной кислоты с целью их дальнейшей переработки. Обозначены основные типы отходов, загрязнители и методы очистки.

Ключевые слова: сернокислые отходы, очистка, утилизация.

Серная кислота является типовым веществом, которое применяется во многих современных технологических процессах [1–3]. Серная кислота также широко распространена как вспомогательный реагент в процессах водоочистки, является основой многих электролитов гальванических производств и аккумуляторов [4, 5]. Такое широкое распространение приводит к образованию больших объемов различных отходов; некоторые из отходов, содержащие серную кислоту, представлены в таблице.

Наибольший интерес к утилизации представляют собой отходы с высоким содержанием серной кислоты без существенных примесей, однако при должной предварительной подготовке станет возможна переработка и менее перспективных отходов. Одной из перспективных технологий утилизации серной кислоты может быть электролиз с получением пероксодисерной кислоты, которая может быть использована на месте как высокоэффективный реагент для водоочистки [7]. Ее транспортировка нерентабельна ввиду неустойчивости. Также из пероксодисерной кислоты возможно получать растворы пероксида водорода различной концентрации, которые находят более широкое применение.

Однако процессы утилизации требуют предварительной подготовки отхода, очистку от механических примесей, ионов металлов, органических компонентов и прочее. Очистка растворов серной кислоты затруднена ввиду крайне низких значений рН отходов, что делает практически невозможным использование классических и широко распространённых методов реагентной очистки, ввиду чего необходимо применять иные подходящие методы. Такими

методами являются: ионный обмен, мембранные методы, электрофлотация и электродиализ.

Таблица

**Основные номера кодов ФККО,  
относящихся к свинцовым аккумуляторам [6]**

Номер ФККО	Название отхода	Состав отхода
9 20 210 01 10 2	Кислота аккумуляторная серная отработанная	Серная кислота – 38–45% Сульфат свинца – 6% Вода – 50–57%
3 12 152 21 10 2	Кислота серная, отработанная при осушке хлора в производстве хлора	Влага – 18,91% Серная кислота – 77,59% Механические примеси (диоксид кремния) – 3,50%
3 08 221 81 30 2	Отходы сернокислотной очистки минеральных масел (гудрон кислый)	Нефтепродукты – 90% Серная кислота – 10%
3 63 331 22 10 2	Растворы травления меди на основе серной кислоты отработанные	Медь – 71%; Хромовая кислота – 17% Серная кислота – 12%
3 63 331 41 10 2	Растворы травления титана на основе серной кислоты отработанные	Серная кислота – до 25% Плавиковая кислота – до 25% Пероксид водорода – до 30% Азотная кислота – до 25%

Ионный обмен позволяет извлечь из растворов ионы металлов, к примеру: кадмия, свинца, ртути, никеля, меди и др. Он позволяет очистить кислоту от катионных загрязнителей и улавливать их для повторного использования. Ионообменная смола представляет собой гранулированный материал, который засыпается в колонну и способен концентрировать электрические заряды с отрицательным и положительным знаком на поверхности своих гранул. Отрицательно заряженные частицы уравниваются положительными ионами раствора, то есть при очистке происходит обмен функциональной группы смолы на ион из раствора [8]. Примерами используемых ионообменников могут стать хелатные смолы, которые используются для удаления тяжелых металлов из различных растворов сложного состава, таких как кислоты, рассолы и прочие. Одним из ведущих и доступных на отечественном рынке производителей подобных смол является компания из КНР Sunresin, линейка смол Seplite.

Мембранные методы позволяют провести очистку серной кислоты от различных растворимых и нерастворимых примесей. За счет агрессивности среды в процессах ультрафильтрации наиболее рационально использовать мембранные модули из стойких материалов, к примеру, керамических. В работе [9] описан процесс нанофильтрационной очистки сернокислого раствора меднения на мембранах из полиамида производства Togeу. Сообщается о более чем 90%-ной эффективности очистки раствора от ионов тяжелых металлов. Концентрация серной кислоты, однако, в ходе эксперимента весьма незначительна, порядка 10%. Материал мембран не проявляет высокой стойкости к подобным растворам; в работе описаны серьезные деструктивные изменения в структуре мембран (разрушение полиакриламида с формированием пор) по истечению



30 дней. Кроме того, стоит отметить, что в настоящее время отсутствует даже опытно промышленная установка очистки сернокислых растворов, базирующаяся на баромембранной технологии.

Электрофлотационный метод хорошо подходит для удаления взвешенных частиц в различных растворах. К подобным растворам могут относиться электролиты свинцовых аккумуляторов или отработанные кислоты, образующиеся в ходе зачистки технологических емкостей. Кафедра ТНВиЭП РХТУ имени Д. И. Менделеева имеет обширные компетенции в области электрофлотационной очистки различных растворов [10–12]. Основными загрязнителями сернокислых отходов являются оксиды металлов и взвешенные вещества, к примеру диоксид кремния. Извлечение подобных дисперсных фаз также хорошо изучено. Извлечение обычно осуществляется с использованием анионных ПАВ и флокулянтов, степени извлечения весьма высоки и составляют порядка 80–95%.

Электродиализ является еще одним перспективным и практически реализуемым методом очистки сернокислых растворов от ионов металлов. В работе [13] описан процесс очистки сернокислого раствора гальванических ванн от ионов железа методом электродиализа. Указывается, что эффективность очистки метода составляет порядка 60–65% в зависимости от выбранного режима и типа мембран. Невысокие степени очистки могут быть объяснены несовершенством ионообменных мембран и, хоть и существенной, но пока недостаточной оптимизации процесса.

В существующих реалиях из всех представленных методов очистки сернокислых растворов можно выделить ионный обмен и электрофлотацию. Несмотря на высокие текущие затраты, метод ионного обмена отличается высокой эффективностью очистки и простота технологического процесса, что особенно важно в условиях отсутствия доступа к важным высокотехнологичным импортным компонентам. Электрофлотация может использоваться в связке как метод удаления взвешенных частиц из отходов. Технология также имеет простое аппаратное исполнение и не требует высокой степени квалификации оператора.

#### **Библиографический список**

1. Оптимизация процесса гидролиза микрокристаллической целлюлозы концентрированной серной кислотой / О. В. Яценкова, Р. З. Пен, А. М. Скрипников, Н. Г. Береговцова, Б. Н. Кузнецов // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. Т. 24. № 6. С. 811–819.
2. Ахметшин К. Ш., Кирюхин С. Ю. Перспективы использования перекиси водорода // Решетневские чтения. 2011. Т. 1. № 15. С. 109–110.
3. Кинетика выщелачивания никеля серной кислотой из восстановленной лимонитовой руды Буруктальского месторождения / Ю. В. Заблоцкая, Г. Б. Садыхов, М. Ш. Хасанов, В. Б. Смирнова. DOI: 10.17580/tsm.2018.12.04 // Цветные металлы. 2018. № 12. С. 27–31.
4. Кузин Е. Н. Получение и применение комплексного титансодержащего коагулянта из кварц-лейкоксенового концентрата // Записки Горного института. 2024. № 267. С. 413–420.
5. Бунтаков Д. В. Исследование возможности процесса меднения стальных поверхностей при использовании электролита на основе медного купороса и серной кислоты // Технологические инновации и научные открытия. 2023. № 1 С. 74–82.

6. Федеральный классификационный каталог отходов [Электронный ресурс]. – URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (дата обращения: 26.10.24).
7. Application of persulfate-based oxidation processes to address diverse sustainability challenges: A critical review / D. Lin, Y. Fu, X. Li et al. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.129722 // Journal of hazardous materials. 2022. Vol. 440. No. 7. P. 129722.
8. Панкратов Д. А., Боровикова А. О. Анализ производителей ионообменных смол // Актуальные проблемы энергетики. 2023. С. 444–450.
9. Yun T., Chung J. W., Kwak S. Y. Recovery of sulfuric acid aqueous solution from copper-refining sulfuric acid wastewater using nanofiltration membrane process // Journal of environmental management. 2018. Vol. 223. P. 652–657.
10. Электрофлотация в процессах водоочистки и извлечения ценных компонентов из жидких техногенных отходов. Обзор / В. А. Колесников, В. И. Ильин, В. А. Бродский, А. В. Колесников. DOI: 10.7868/S0040357117040054 // Теоретические основы химической технологии. 2017. Т. 51, № 4. С. 361–375.
11. Электрофлотационное извлечение ионов тяжелых цветных металлов в составе многокомпонентных смесей из сточных вод гальванических производств / А. В. Колесников, Л. А. Крючкова, П. Н. Кисиленко, В. А. Колесников // Гальванотехника и обработка поверхности. 2015. Т. 23. № 4. С. 43–50.
12. Аунг П., Колесников В. А. Применение промышленных ПАВ в процессах электрофлотационной очистки сточных вод от смеси цветных металлов // Наука и инновации – современные концепции : сб. науч. статей по итогам работы Междунар. науч. форума, Москва, 04 декабря 2020 года / Отв. ред. Д. Р. Хисматуллин. Т. 1. М. : Инфинити, 2020. С. 72–78.
13. Chekioua A., Delimi R. Purification of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> of pickling bath contaminated by Fe (II) ions using electrodialysis process // Energy Procedia. 2015. Vol. 74. P. 1418–1433.

## **ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАННЫХ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗОФОСФАТА ЛИТИЯ**

***О. А. Драгунова, В. С. Шадрина, А. Ю. Крюков, О. В. Винокурова,  
А. В. Десятов***

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
o.dragunova2017@gmail.com*

В статье представлена технология переработки литий-ионного аккумулятора (ЛИА) на основе железософосфата лития (LFP). Была изучена возможность выделения лития и железа из катодного материала. Степень извлечения лития по оценкам составила 83%, железа – 86%.

Ключевые слова: литий-ионный аккумулятор, железософосфат лития, карбонат лития.

В настоящее время технологии, связанные с производством литий-ионных аккумуляторов, занимают одну из лидирующих позиций в области производства накопителей энергии. Это связано с возросшим интересом к ним в качестве источников энергии в различных областях, например, в автомобилестроении (при производстве электромобилей, стационарных устройств для электротранспорта), для бытовых приборов и инструментов, благодаря их вы-

сокой энергии, удельной мощности и длительному сроку службы, а также преимуществам в сфере экологичности и защиты окружающей среды [1].

Но помимо положительных тенденций развития, есть и отрицательные факторы, требующие глубокой проработки вопроса, связанного с утилизацией отработанных аккумуляторов. При оценке количества транспорта в существующих реалиях этот вопрос имеет принципиальное значение для поддержания благоприятных условий окружающей среды и эффективного использования имеющихся вторичных ресурсов.

Катодные материалы аккумуляторов содержат ценные металлы, такие как литий, кобальт, марганец, никель, поэтому переработка отработанных ЛИА имеет решающее значение для снижения экологической нагрузки, вызванной опасными составными частями аккумулятора, и для получения вторичных ресурсов. Поскольку структура и состав активных веществ в этом процессе в основном постоянны, методы предварительной обработки в основном идентичны для различных типов ЛИА. Как правило, процесс включает в себя три этапа: разрядку, демонтаж и сепарацию [2]. Для сепарации используют различные химические методы очистки, в том числе, термическую обработку, растворение, выщелачивание, ультразвуковую обработку и т. д. [3].

В настоящей работе представлена последовательность технологических операций, позволяющая эффективно перерабатывать литий-ионные аккумуляторы с катодами на основе железофосфата лития. В качестве объекта исследования была выбрана ячейка производства ООО «Глобал СО» пакетного типа, состоящая из 20 пар электродов.

На первом этапе ячейка была разряжена до напряжения 3,2 В, затем вскрыта и разобрана на составные элементы. Для отделения катодного материала от токового коллектора (алюминиевой фольги) разрезанные на небольшие части катоды последовательно помещались в жидкий азот, а далее подвергались кипячению (рис. 1). За счет различных коэффициентов термического расширения происходило отслоение активного материала.

Далее проводили термическую обработку на воздухе при температуре 500 °С для удаления связующего и частичного удаления сажи, которая используется в качестве токопроводящей добавки. Степень разделения активного материала и алюминиевой фольги составила более 99% (рис. 2)

На втором этапе проводили кислотное выщелачивание в растворе серной кислоты. Процесс проводили при непрерывном перемешивании на магнитной мешалке, избыток выщелачивающего агента – 1,5 раза от теоретического количества, температура – 60 °С, продолжительность – 4 ч, соотношение жидкое/твердое – 4 мл/г (рис. 3). Данные условия были подобраны в результате предварительных экспериментов. После выщелачивания осадок отфильтровывали. Выход нерастворившегося остатка составил 1,5%.



Рис. 1. Сепарация катодных материалов: а) фрагментация; б) низкотемпературная обработка жидким азотом; в) кипячение; г) сушка



Рис. 2. Образец катода после термической обработки

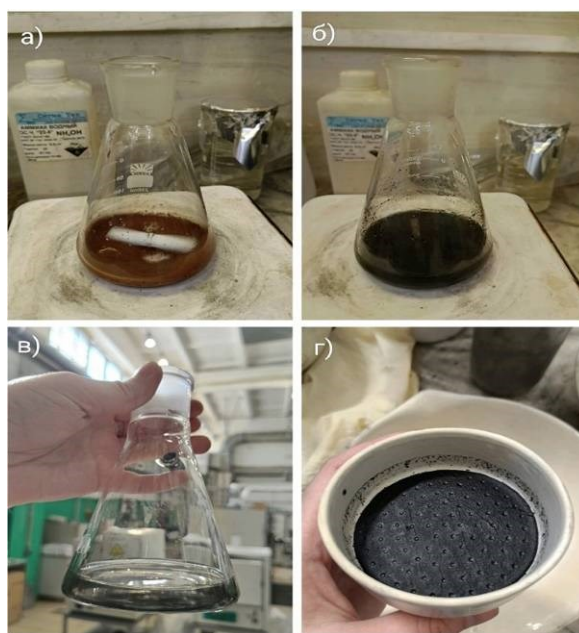


Рис. 3. Этапы процесса выщелачивания LFP: а) исходный раствор; б) конечный раствор; в) фильтрат; г) осадок углеродного материала

Разделение железа и лития после кислотного выщелачивания проводили путем осаждения фосфата железа (III) фосфорной кислотой при  $\text{pH} = 2,5$  (контролировали добавлением водного раствора аммиака) в присутствии перекиси водорода. Для интенсификации процесса в раствор осаждения были добавлены затравочные кристаллы  $\text{FePO}_4$ . Полученную суспензию выдерживали в течение 36 ч для роста кристаллов  $\text{FePO}_4$ , затем осадок отфильтровали, тщательно промыли и далее сушили при температуре  $105\text{ }^\circ\text{C}$ . Суммарная степень извлечения железа из катодного материала составила 86%.

К полученному после осаждения фосфата железа фильтрату, предварительно сконцентрированному, добавляли горячий насыщенный раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . В результате этого происходило осаждение карбоната лития, который впоследствии отфильтровывали, несколько раз промывали кипящей деионизированной водой, сушили при  $105\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 12 ч. Суммарная степень извлечения лития из катодного материала составила 83%.

В результате проведенного исследования была показана принципиальная возможность выделения ценных компонентов из отработанных ЛИА на основе литий-железо-фосфата. Выбранные методы сепарации целевых продуктов позволяют выделить порядка 86% железа в виде фосфата и 83% лития в виде карбоната. В дальнейшем эти компоненты могут быть использованы для ресинтеза железофосфата лития.

#### Библиографический список

1. Аренков И. А., Иванова Д. В., Жеребчикова П. Е. Аналитический обзор рынка производителей литий-ионных аккумуляторов // Экономика, предпринимательство и право. 2023. № 12. С. 5963–5980.
2. A Mini-Review on Metal Recycling from Spent Lithium Ion Batteries / X. Zheng, Z. Zhu, X. Lin et al. DOI: 10.1016/j.eng.2018.05.018 // Engineering. 2018. Vol. 4. No. 3. P. 361–370.
3. Jung J. C.-Y., Sui P.-C., Zhang J. A review of recycling spent lithium-ion battery cathode materials using hydrometallurgical treatments. DOI: 10.1016/j.est.2020.102217 // Journal of Energy Storage. 2021. Vol. 35. Article No. 102217.

### СЕПАРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СИГАРЕТ

*С. С. Мазунин<sup>1</sup>, А. А. Лопарев<sup>2</sup>, С. В. Девятерикова<sup>2</sup>, К. О. Камалов<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет,  
semenmazunin@gmail.com,*

*<sup>2</sup> Вятский государственный университет, usr01730@vyatsu.ru*

В статье представлен опыт разделения на компоненты отработанных литий-ионных аккумуляторов электронных сигарет. Выделены составляющие катода (литий в составе фосфата лития и алюминий в составе алюмината натрия или гидроксида алюминия), а также анода (графит как индивидуальный компонент и медь в составе гидроксида меди). Разработана технологическая схема.

Ключевые слова: электронная сигарета, литий-ионный аккумулятор, катод, анод, химический источник тока.

В последние годы распространилась практика вейпинга, представляющая собой альтернативу курению. Термин «вейп» используется для обозначения электронных сигарет – устройств на батарейном питании с резервуаром для жидкости и нагревательным элементом. Жидкости для электронных сигарет чаще всего содержат никотин, смешанный с глицерином и пропиленгликолем, а также разнообразные ароматизаторы. Путем нагревания устройство превращает смесь в пар, который вдыхает пользователь. Согласно исследованиям [1, 2] в 2021 г. количество людей, предпочитающих электронные сигареты, достигло 81,9 млн человек.

Химическим источником тока, преобразующим химическую энергию в электрическую, для электронных сигарет является батарея.

В зависимости от назначения батареи классифицируют на первичные и вторичные. Первичная батарея не может подзарядиться, в то время как вторичная батарея является перезаряжаемой и может использоваться повторно в течение многих циклов. Перезаряжаемые батареи, в основном, состоят из литий-ионных (LIBs), никель-кадмиевых (Ni-Cd), никель-металлогидридных (Ni-MH) и свинцово-кислотных аккумуляторов. По сравнению с другими вторичными батареями литий-ионные аккумуляторы обладают многими преимуществами, такими как более высокое напряжение элемента, более высокая плотность энергии, длительный срок службы, меньший эффект памяти, простота зарядки и обслуживания, низкий саморазряд, возможность миниатюризации и очень тонкие форм-факторы.

В составе электронных сигарет применяют, как правило, литий-ионные аккумуляторы.

Электрохимическая система аккумуляторных элементов находится в герметичном корпусе цилиндрической формы. Его диаметр составляет 18 мм, а длина – 35 мм. Материалом корпуса в большинстве случаев является сталь. Внутри находится плюсовая и минусовая электроды, которые разделены сепаратором, пропитанным электролитом. Всё это скручено в рулон. Плюсовой электрод подключается на крышку, минусовой выводится на корпус (рис. 1).

Электроды выполнены в виде лент. На алюминиевой фольге находится катодный материал, на медной – анодный.

Несмотря на все достоинства литий-ионных аккумуляторов, при отсутствии утилизации их компонентов возможно негативное влияние на почву, а также попадание токсичных веществ в грунтовые воды [3].

Согласно статьи 24.2-1 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 04.08.2023) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2024) [4] производители и импортеры различных товаров обязаны принимать на себя ответственность за последствия их деятельности в этой сфере. Они должны обеспечить своевременную и эффективную утилизацию отходов, которые образуются в процессе использования изготавливаемой ими продукции. Это требует либо создания и функционирования собственной

инфраструктуры, специально предназначенной для утилизации отходов, либо заключения договоров с профессиональными организациями, занимающимися этим видом деятельности, причем такие организации должны быть официально зарегистрированы и включены в специальный реестр, который содержит информацию о лицах, имеющих лицензию на осуществление работ по утилизации отходов.



Рис. 1. Схема устройства литий-ионного аккумулятора

В повседневной практике производители электронных сигарет с большой долей вероятности этим не занимаются, нарушая закон.

Из-за неосведомленности потребителей отработанные электронные сигареты попадают в места складирования твердых коммунальных отходов. Согласно Постановлению Правительства РФ от 12.11.2016 № 1156 (ред. от 18.03.2021, с изм. от 30.05.2023) «Об обращении с твердыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. № 641» (вместе с «Правилами обращения с твердыми коммунальными отходами») [5] запрещается помещать в контейнеры батареи и аккумуляторы.

Таким образом, проблема утилизации и переработки отработанных электронных сигарет является актуальной.

Предлагаемый нами вариант утилизации отработанных литий-ионных аккумуляторов электронных сигарет состоит в следующем:

– сбор и механическое разделение. Отработанные электронные сигареты собирают и подают на линию механического разделения. На этом этапе удаляют полимерные компоненты и металлические корпуса для вторичной переработки;

– обработка литий-ионного аккумулятора. Из аккумуляторов извлекают на две ленты — катод и анод.

Ленту-катод измельчают до частиц размером 0,5–1 см, выщелачивают действием 1 М лимонной кислоты. Далее смесь фильтруют, на фильтре остаются алюминий и графит, а фильтрат обрабатывают фосфатом натрия для осаждения лития в виде фосфата. Полученный осадок центрифугируют, воду декантируют и отправляют в локальные очистные сооружения. Осадок сушат до посто-



янного веса при температуре 105 °С. Оставшиеся на фильтре алюминий и графит промывают водой, сушат до постоянного веса, обрабатывают 40% раствором едкого натра при температуре 60 °С, фильтруют. Графит, оставшийся на фильтре, сушат до постоянного веса, а фильтрат обрабатывают хлористым аммонием, в результате чего выпадает гидроксид алюминия, который затем сушат.

Ленту-анод также измельчают до частиц размером 0,5–1 см, обрабатывают 20% раствором азотной кислоты для растворения меди, фильтруют. На фильтре остаётся графит, который промывают и сушат. Фильтрат обрабатывают гидроксидом натрия для осаждения меди в виде гидроксида, который затем фильтруют и сушат.

Технологическая схема приведена на рисунке 2.

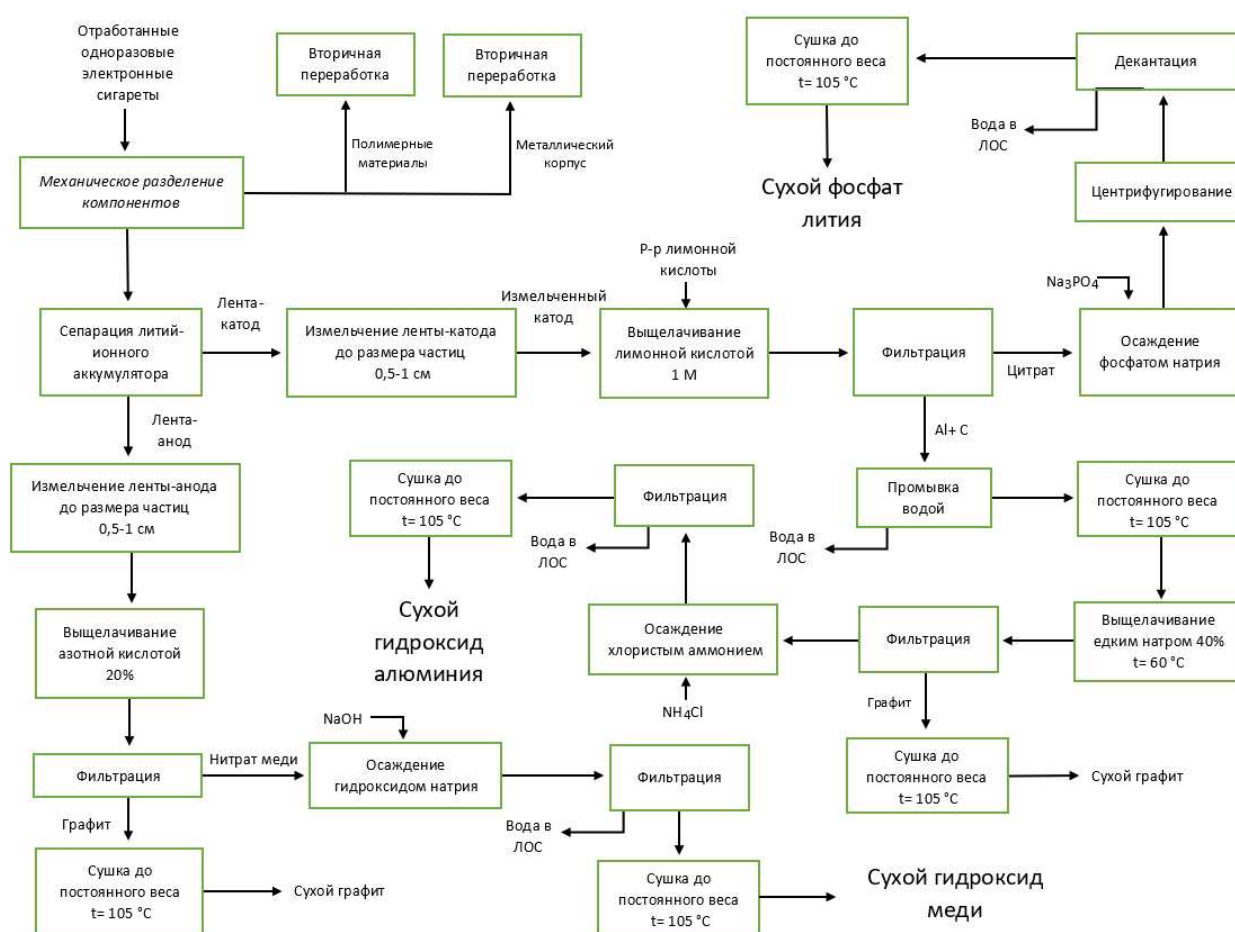


Рис. 2. Технологическая схема утилизации отработанных одноразовых электронных сигарет

В результате вышеописанных процессов получают продукты, которые можно применять следующим образом.

Гидроксид алюминия используют в различных отраслях, включая производство алюминия и химическую промышленность.

Гидроксид меди применяют в производстве меди и в качестве пигмента.

Фосфат лития широко используют в производстве литий-ионных аккумуляторов и других химических продуктах.



Графит может быть переработан для использования в различных продуктах, таких как электродные материалы и смазки.

#### **Библиографический список**

1. Jerzynski, T., Stimson G. V. Estimation of the global number of vapers: 82 million worldwide in 2021 // *Drugs, Habits and Social Policy*. 2023. Vol. 24. No. 2. P. 91–103.
2. Электронные сигареты вредны для здоровья. [Электронный ресурс]. – URL <https://www.who.int/news/item/05-02-2020-e-cigarettes-are-harmful-to-health>, свободный – (дата обращения: 10.05.2024).
3. Стенников В. А., Барахтенко Е. А., Майоров Г. С. Применение мультиагентного подхода для моделирования интегрированных энергетических систем // *Известия вузов. Проблема энергетики*. 2017. Т. 19. № 9–10. С. 140–145.
4. Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 04.08.2023) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2024).
5. Постановление Правительства РФ от 12.11.2016 № 1156 (ред. от 18.03.2021, с изм. от 30.05.2023) «Об обращении с твердыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. № 641» (вместе с «Правилами обращения с твердыми коммунальными отходами»).

### **КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ОСАЖДЕНИЯ НИКЕЛЯ ИЗ ОТРАБОТАННОГО ЭЛЕКТРОЛИТА**

*М. А. Шумилова<sup>1</sup>, Н. Е. Суксин<sup>2</sup>, Ф. Ф. Чаусов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,  
shumilovama@udman.ru,*

<sup>2</sup> *ПАО «Удмуртнефть имени В. И. Кудинова», nutrelun@mail.ru*

Исследована кинетика реакции утилизации отработанного раствора химического никелирования раствором гидроксида натрия. Определены кинетические характеристики изучаемого процесса. Показано, что реакция осаждения сульфата никеля гидроксидом натрия не требует больших энергетических затрат и может быть использована для регенерационной утилизации электролита.

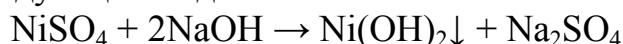
Ключевые слова: отработанный раствор химического никелирования, гидроксид натрия, порядок реакции, константа скорости реакции, энергия активации.

В настоящее время гальванические производства занимают одно из первых мест по степени отрицательного воздействия на окружающую среду. Наиболее оптимальным решением данной проблемы является внедрение технологии регенерационной утилизации отработанных гальванических растворов, и, в частности, растворов химического никелирования [1]. Для определения оптимальных условий проведения регенерационной утилизации и аппаратурного оформления процесса необходимо исследовать совокупность кинетических характеристик реакции осаждения гидроксидом натрия сульфата никеля, что и является целью представленной работы.

Объектом исследования являлся отработанный раствор химического никелирования (ОРХН), содержащий в своем составе сернокислый никель в пересчете на чистый металл в количестве  $3,58 \text{ г·дм}^{-3}$ , а также гипофосфит натрия, уксусную кислоту и ацетат натрия и в следовых количествах тиомочевину.

Эксперимент проводили в термостатируемом реакторе Thermostat U-10 в течение выбранного временного периода в температурном диапазоне 293–333 К при различных концентрациях гидроксида натрия (1,25–2,60 М) и сульфата никеля (0,037–0,06 М). Содержание никеля и щелочи в фильтрате определяли титриметрическим методом; относительная средняя квадратичная ошибка результатов анализа составляла 0,3–0,5%.

Реакцию осаждения солей никеля в ОРХН раствором гидроксида натрия можно записать в следующем виде:



Первым этапом при изучении кинетики химической реакции является определение порядка реакции и константы скорости. При определении порядка полагается, что для реакции выполняется основной постулат химической кинетики, представленный в математической форме [2].

$$w = kC^n, \quad (1)$$

где  $w$  – скорость реакции,  $C$  – концентрация исходного вещества,  $n$  – порядок реакции по данному веществу или общий порядок реакции,  $k$  – истинная или эффективная константа скорости реакции. Экспериментальные данные по содержанию ионов никеля в фильтрате в зависимости от времени и температуры представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Зависимость содержания сульфата никеля в фильтрате от времени и температуры реакции**

t, с	C (NiSO <sub>4</sub> ), мМ			
	293 К	303 К	313 К	333 К
0	61,04	61,04	61,04	61,04
300	1,26	1,19	1,04	0,345
600	1,05	0,9926	0,94	0,298
900	0,84	0,8666	0,69	0,256
1800	0,63	0,5956	0,52	0,208
3600	0,42	0,3970	0,35	0,168

Определение скорости реакции в фиксируемые моменты времени сводится к дифференцированию концентрации сульфата никеля от времени

$$w = -\frac{d[\text{NiSO}_4]}{dt} \quad (2)$$

с использованием формулы численного дифференцирования [2] для функции  $y(x)$  методом конечных разностей

$$y'(x_0) = \frac{y(x_0 + h) - y(x_0)}{h}. \quad (3)$$

Результаты аналитического определения концентрации соли никеля и скорости реакции по данному реагенту представлены в таблице 2.

Получив исходные данные для определения порядка реакции дифференциальным методом, и проведя линеаризацию уравнения (1)

$$\lg w = \lg k + n \cdot \lg C \quad (4),$$

где тангенс угла прямой равен порядку реакции, строим графики в координатах  $\lg w - \lg C(\text{Ni})$ , представленные на рисунке 1. Определяем, что тангенс угла наклона полученных линейных зависимостей с высокой степенью аппроксимации (табл. 2) близок к 2, следовательно, порядок реакции осаждения ОРХН гидроксидом натрия второй.

Кинетическое уравнение реакции второго порядка после интегрирования в пределах от  $C_0$  до  $C$  принимает линейную форму [3]:

$$\frac{1}{C} = kt + \frac{1}{C_0} \quad (5)$$

и тангенс угла наклона прямой соответствует константе скорости. Линейные зависимости, полученные при подстановке экспериментальных данных, представлены на рисунке 2 (а–г), и позволяют определить константу скорости реакции осаждения ОРХН щёлочью в исследуемом диапазоне температур. Как видно из таблицы 3, вычисленные кинетические параметры характеризуются высокими значениями коэффициента детерминации ( $R^2$ ).

Таблица 2

**Зависимость скорости реакции от времени и начальной концентрации гидроксида натрия ( $T = 303 \text{ K}$ )**

$C(\text{NaOH}),\%$	$t, \text{c}$	$C(\text{NiSO}_4), \text{mM}$	$w, \text{mM} \cdot \text{c}^{-1}$	$n$	$R^2$
10	300	1,19		1,899	0,982
	600	0,9926	0,00066		
	900	0,8666	0,00042		
	1800	0,5956	0,00022		
	3600	0,3970	0,00011		
15	300	0,5956		1,972	0,934
	600	0,4963	0,00033		
	900	0,397	0,00033		
	1800	0,2978	0,00014		
	3600	0,2185	0,00007		
20	300	0,5956		1,993	0,980
	600	0,4856	0,00030		
	900	0,4169	0,00022		
	1800	0,2978	0,00013		
	3600	0,2295	0,00006		

*Примечание:*  $C$  – концентрация вещества,  $t$  – время,  $w$  – скорость реакции,  $n$  – порядок реакции,  $R^2$  – коэффициент детерминации.

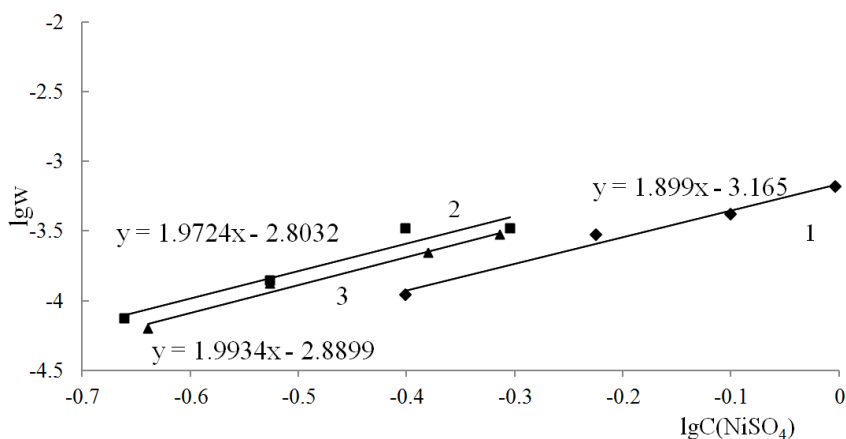


Рис. 1. Зависимость скорости реакции от концентрации сульфата никеля: 1 – 10% NaOH, 2 – 15% NaOH, 3 – 20% NaOH

Наиболее точно зависимость константы скорости реакции от температуры описывает уравнение Аррениуса, которое в логарифмической форме [3]:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (6)$$

где  $E_a$  – аррениусовская энергия активации,  $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ ;  $T$  – абсолютная температура,  $\text{К}$ ;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31441 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$ ;  $k_0$  – предэкспоненциальный множитель,  $\text{дм}^3\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$ , и используется для графического определения энергии активации (рис. 3). Тангенс угла наклона прямой соответствует  $(-E_a/R)$ , а отрезок, отсекаемый на оси ординат, равен  $\ln k_0$ .

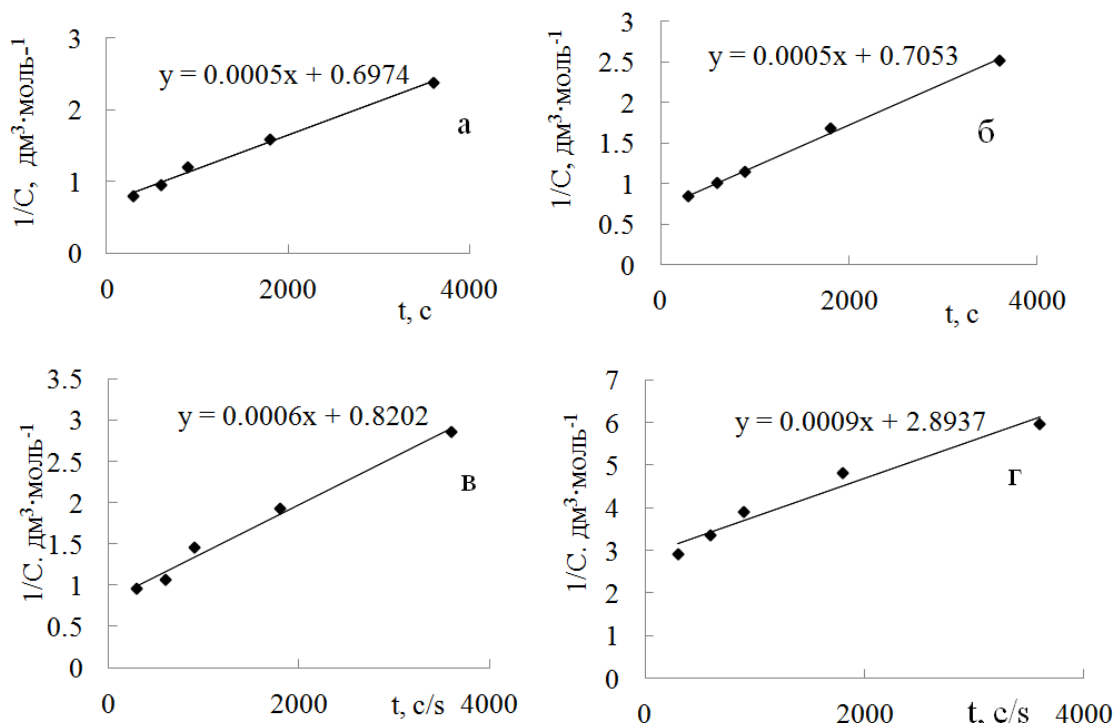


Рис. 2. Зависимость обратной концентрации сульфата никеля от времени при различных температурах: а – 293К, б – 303К, в – 313К, г – 333К

**Значения наблюдаемых констант скорости  
и коэффициентов детерминации для различных температур**

T, K	$k, \text{dm}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1} / k, \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	$R^2$
293	$5 \cdot 10^{-4}$	0,994
303	$5 \cdot 10^{-4}$	0,998
313	$6 \cdot 10^{-4}$	0,988
333	$9 \cdot 10^{-4}$	0,960

Построение линии линейной регрессии по экспериментальным точкам и вычисление её уравнения, осуществлённого с помощью программного пакета Microsoft Office Excel (рис. 3), установило, что  $\text{tg} \alpha = -1994$ . Следовательно,  $-\frac{E_a}{R} = -1994$ , и энергия активации реакции осаждения в растворе сульфата никеля гидроксидом натрия составляет  $E_a = 16578 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} = 16,58 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ , а величина предэкспоненциального множителя равна  $\ln k_0 = -1,0312$  и  $k_0 = -0,356 \text{ dm}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Вычисленное невысокое значение  $E_a$  свидетельствуют о слабой зависимости скорости реакции от температуры. Реакция осаждения ионов никеля щёлочью протекает практически полностью в течение первых 5 мин даже при комнатной температуре, в дальнейшем временном диапазоне уменьшение концентрации металла в надосадочном растворе происходит незначительно.

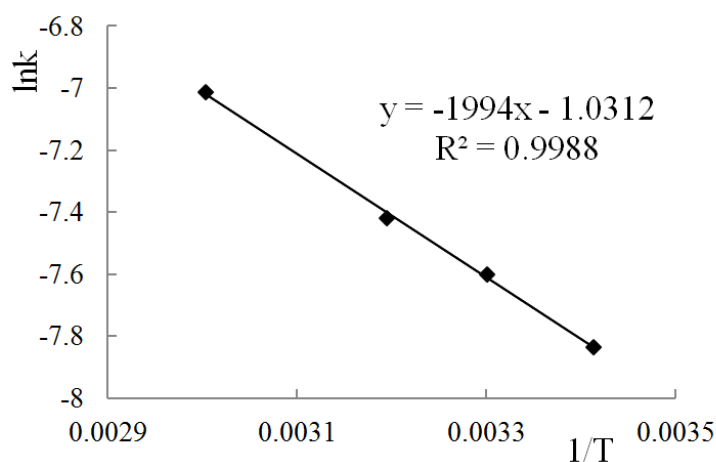


Рис. 3. Зависимость натурального логарифма скорости реакции от обратной температуры

Следовательно, внедрение технологии регенерационной утилизации ОРХН не повлечёт за собой больших затрат энергоресурсов для нагревания реакционных масс, реакция протекает в полном объёме при комнатной либо слегка нагретой до 30–40 °С температуре реакционной смеси.

**Библиографический список**

1. Utilization of the nickel hydroxide derived from a spent electroless nickel plating bath for energy storage application / A. Shaikh, B. K. Singh, K. Purnendu et al. DOI: 10.1039/d2su00036a // RSC Sustainability. 2023. No. 1. P. 294–302.

2. Леванов А. В., Антипенко Э. Е. Введение в химическую кинетику. М. : МГУ, 2006. 51 с.
3. Химия : учебник / А. А. Гуров, Ф. З. Бадаев, Л. П. Овчаренко, В. Н. Шаповал. М. : МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2004. 748 с.

## **ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА**

*А. Айтбаев, Е. М. Рубин, А. В. Колесников*

*Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,  
egor.rubin@list.ru*

В статье представлена экономическая оценка электрохимического метода получения пероксида водорода в сравнении с классическими антрахиноновым и изопропиловым методами. Обозначены основные текущие затраты процесса.

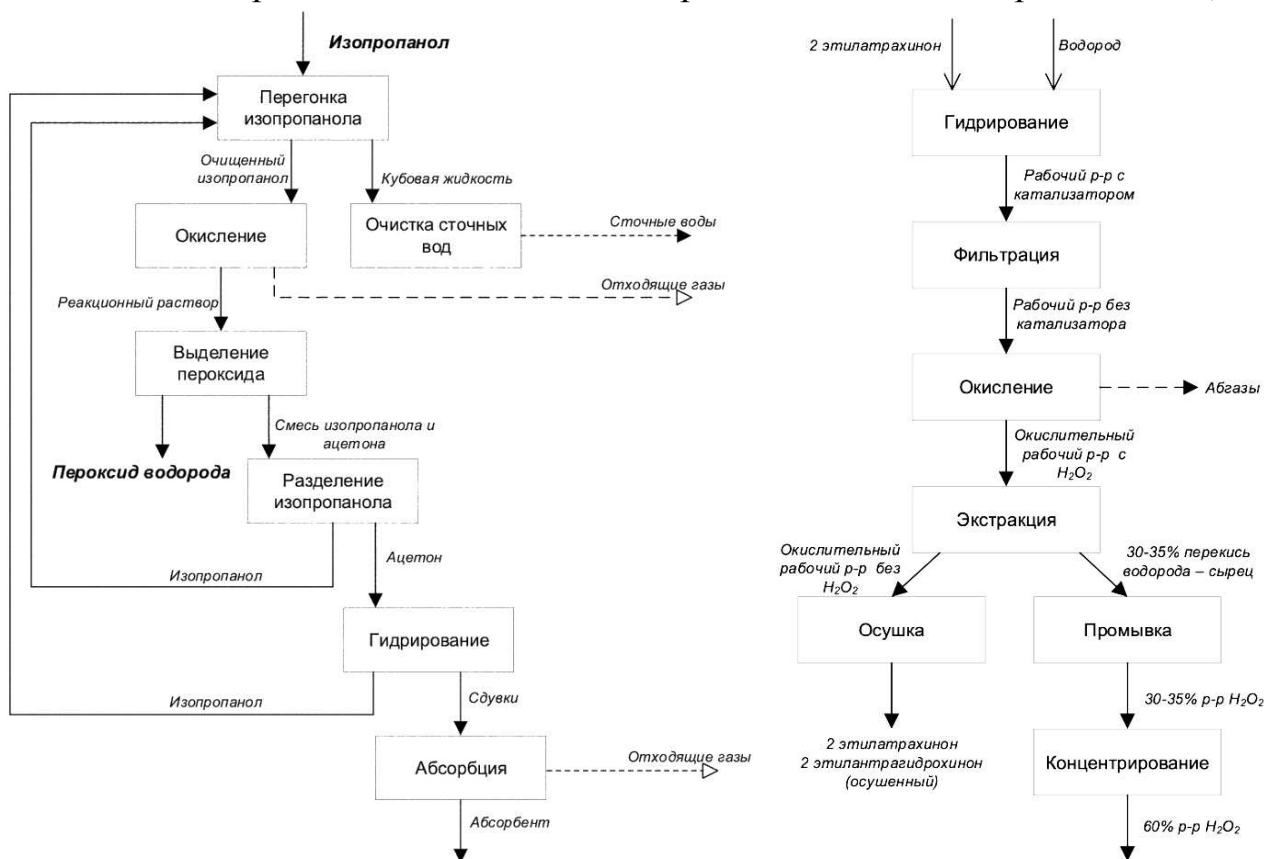
Ключевые слова: электролиз, пероксид водорода, экономическая оценка.

Пероксид водорода представляет собой широко распространенный реагент, который находит применение во многих областях, начиная от медицинской и заканчивая ракетно-промышленной и микроэлектронной отраслями [1–3]. Кроме того, производство пероксида водорода является растущей отраслью промышленности. В период с 2017 по 2021 гг. производство перекиси водорода в России увеличилось на 32,8%, достигнув 110,5 тыс. тонн в 2021 году [4]. Треть внутренних потребностей в перекиси водорода удовлетворяется за счет импорта. Однако геополитические изменения и санкции привели к значительному сокращению поставок из-за границы, особенно из Европы, что вызвало дефицит и рост цен на внутреннем рынке [5]. Все это обуславливает перспективность работ, направленных на рассмотрение оптимизации различных аспектов производства пероксида водорода.

В настоящее время существуют три основные технологии производства пероксида водорода: антрахиноновая, изопропиловая и электрохимическая. Первые две технологии базируются на окислении органического сырья с последующей его регенерацией. Принципиальные схемы процессов изображены на рисунке 1. В основе электрохимического метода лежит несколько иной подход; основной процесс состоит из трех стадий: электролиз, гидролиз и концентрирование. На первой стадии происходит образование пероксодисерной кислоты из серной, которая в значительных концентрациях неустойчива и разлагается с образованием пероксида водорода. Вторая стадия процесса – гидролиз. Полученные на данной стадии 2–4%-ные растворы концентрируются на последней стадии. Преимуществом пероксида водорода, полученного электрохимическим методом, является высокая чистота получаемого продукта, ввиду отсутствия в технологическом цикле органических соединений. Однако данная технология имеет существенные энергетические затраты и высокие требования к анодному материалу. Кроме того, высокие требования предъявляются и к материалам

трубопроводов и самого электролизера, ввиду использования в качестве исходного сырья сильно концентрированных (500–800 г/л) растворов серной кислоты [7]. Таким образом можно заключить, что электрохимическая технология получения весьма перспективна, однако ее преимущество перед более распространенными подходами неочевидно и требует обоснования.

Рис. 1. а – Принципиальная схема изопропилового метода производства,



б – Принципиальная схема антрахинонового метода производства [5]

В ходе работы была проведена экономическая оценка текущих затрат существующих методов. Для расчета энергозатрат, а именно они составляют большую часть в случае электрохимического метода, необходимо представление о самом процессе электролиза и его оптимальных условиях проведения. Критерием оптимальности служит показатель выхода по току (ВТ). В ходе экспериментов было установлено, что оптимальными условиями проведения электролиза являются: сила тока, равная 10 А, масса добавки, увеличивающей анодное перенапряжение – 1 г/час, температура электролита  $\approx 0-4$  °С. Также в ходе электролиза для дополнительного увеличения эффективности процесса был использован каскад из двух электрохимических ячеек. График зависимости выхода по току от времени электролиза представлен на рисунке 2. Как видно, эффективность процесса снижается со временем ввиду накопления в системе пероксодисерной кислоты, которая сама по себе неустойчива, ее разложение и провоцирует падение эффективности. Кроме того, из графика на рисунке 3 становится очевидно, что чем выше концентрация пероксодисерной кислоты, тем быстрее протекает ее разложение и тем сильнее уменьшается выход по току.

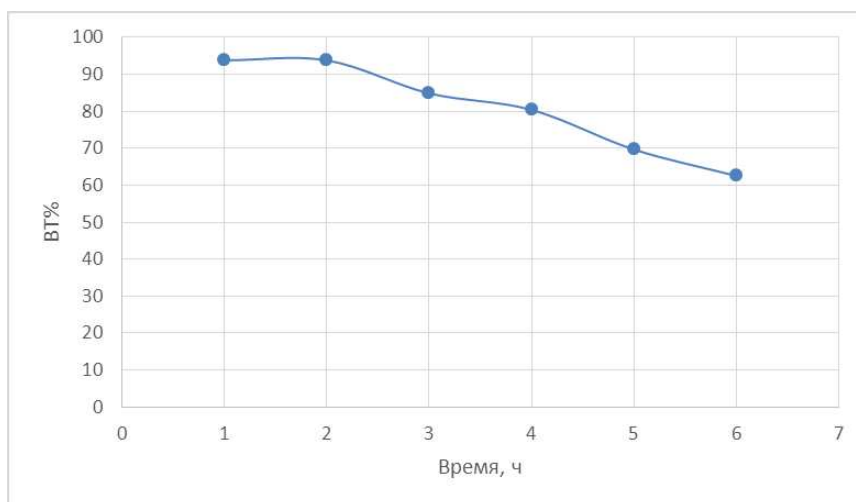


Рис. 2. Зависимость выхода по току от времени электролиза

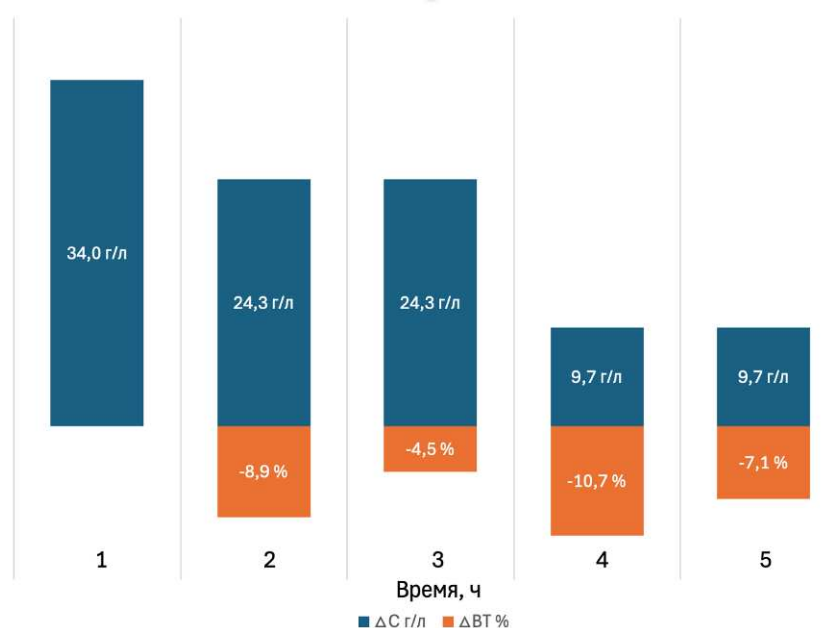


Рис. 3. Гистограмма часового падения выхода по току от роста концентрации пероксодисерной кислоты

По полученным данным можно сделать вывод о том, что оптимальное время проведения процесса составляет 3 часа, после падение выхода по току становится слишком высоким, а рост концентрации целевого вещества существенно замедляется. Концентрация пероксодисерной кислоты в электролите на 3-й час эксперимента составляет порядка 110 г/л. После гидролиза получим примерно 2%-ный раствор пероксида. Затем раствор необходимо сконцентрировать до 30–32%. Имея эти данные, можно провести расчёт общего энергопотребления технологии в пересчете на 1 тонну товарного продукта. С учетом затрат на охлаждение, электролиз, гидролиз и концентрирование получим следующие результаты (рис. 4).



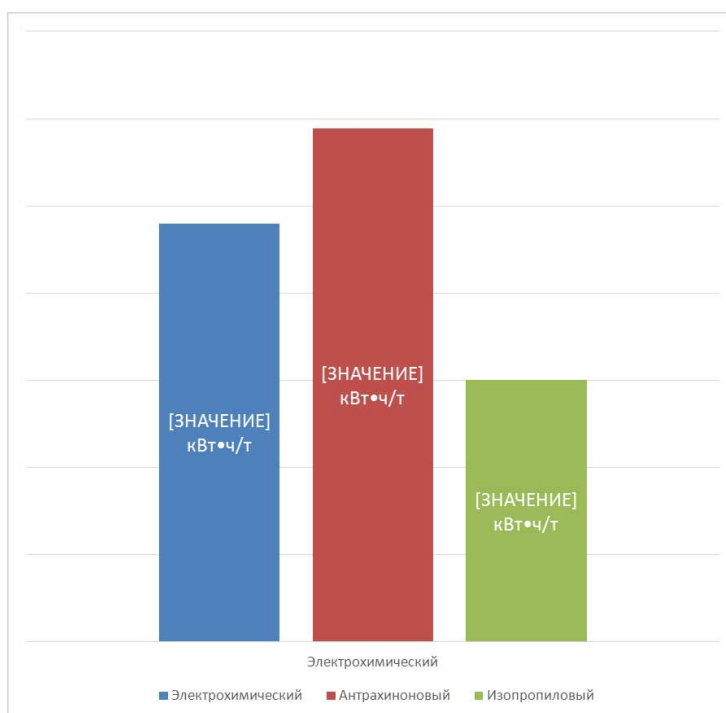


Рис. 4. Энергопотребление различных методов производства пероксида водорода [6]

Согласно полученным данным, энергопотребление электрохимического метода несколько выше, чем у изопропилового, и ниже, чем у антрахинонового. При расчете последнего, однако, учитывались также затраты энергии на синтез водорода, которые составляют порядка 4000 кВт·ч/т. Несмотря на то, что изопропиловый метод потребляет наименьшее количество энергии, данный метод является многостадийным и, как следствие, весьма металлоемким, чего в свою очередь лишен электрохимический метод, реализуемый в три стадии. Кроме того, электрохимическая технология недостаточно изучена, появление новых перспективных электродных материалов или добавок, увеличивающих анодное перенапряжение и ингибирующих побочные процессы, может привести к дополнительной оптимизации и снижению текущих затрат на процесс.

#### Библиографический список

1. Окислительная очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца пероксидом водорода / И. Г. Шайхиев, А. М. Зайнуллин, Г. М. Шафигуллина, Р. З. Гильманов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 12. С. 176–179.
2. Ахметшин К. Ш., Кирюхин С. Ю. Перспективы использования перекиси водорода // Решетневские чтения. 2011. Т. 1. № 15. С. 109–110.
3. Lin Y. S., Chien C. F., Chou D. UNISON decision framework for hybrid optimization of wastewater treatment and recycle for Industry 3.5 and cleaner semiconductor manufacturing. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106282 // Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol. 182. No. 3. P. 106282.
4. Анализ рынка пероксида водорода в России в 2019–2023 гг., прогноз на 2024–2028 гг.: [Электронный ресурс]. – URL: <https://businessstat.ru/catalog/id11840/> (дата обращения: 01.11.2024).
5. Рынок пероксида водорода: [Электронный ресурс]. – URL: <https://prcs.ru/analytics-article/rynok-peroksida-vodoroda/> (дата обращения: 1.11.2024).

6. ИТС НДТ 34–2020 Производство прочих основных неорганических химических веществ: [Электронный ресурс]. – URL: [https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?-UrlId=1512&etkstructure\\_id=1872](https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?-UrlId=1512&etkstructure_id=1872) (дата обращения: 01.11.2024).

7. Электрохимическое получение пероксида водорода. Теория и практика : учебное пособие / М. В. Абакумов, А. В. Колесников, В. Т. Новиков и др. М. : РХТУ имени Д. И. Менделеева, 2023. 72 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ СЛОЕВОГО СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ**

*Д. А. Бушуев, И. А. Зеновьев, Н. И. Милетенко, И. В. Кунилова*  
*Институт проблем комплексного освоения недр*  
*имени академика Н. В. Мельникова РАН,*  
*kunilova\_i@ipkonran.ru*

В работе представлены результаты исследования извлечения железа из золошлаковых отходов, полученных при слоевом сжигании каменного угля промышленной котельной Республики Хакасии. Установлено, что основным железосодержащим компонентом пробы является гематит. Магнитная сепарация пробы фракции 0,2–2,5 мм позволила получить за одну стадию концентрат с содержанием железа 47,8%.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, слоевое сжигание, магнитная сепарация, железосодержащий концентрат, гематит.

Необходимость решения экологических проблем во всем мире приводит к требованию повышения эффективности потребления ресурсов, в частности, активизации развития рециклинга, вторичного использования ресурсов. Переход к экономике замкнутого цикла подразумевает перевод минеральных отходов во вторичное минеральное сырье. Огромные объемы накопленных в России золошлаковых отходов, приближающиеся к 2 млрд т [1], делают актуальной научно обоснованную разработку технологий их использования на основе принципов комплексной переработки.

Золошлаковые отходы (ЗШО) теплоэлектростанций, образующиеся при сжигании углей, имеют сложный вещественный состав [2, 3]. Основными компонентами ЗШО являются оксиды кремния, алюминия и железа. Также они содержат оксиды щелочноземельных и щелочных металлов, остаточный недожог и микроэлементы – цветные, редкие и благородные металлы. Количественный состав конкретных ЗШО определяется зольным составом сжигаемого угля, технологией сжигания угля и удаления отходов. При попадании в золошлакохранилища ЗШО становятся источниками миграции токсичных элементов в воздушную и водную среды, а также почву.

Объектом исследований являлись золошлаковые отходы слоевого сжигания каменного угля промышленной котельной Республики Хакасии. При слоевом сжигании угля, в отличие от пылевидного, низкая температура процесса приводит к большему концентрированию ценных элементов в твердых продук-

тах. Проба ЗШО представляла собой полидисперсный материал красно-коричневого цвета. По данным ситового анализа, наибольший выход имели крупные классы 1–2,5 мм (18%) и 0,315–0,63 мм (15%). Элементный анализ выявил повышенное содержание оксида железа – 27,8% по  $Fe_2O_3$  по сравнению с типичными ЗШО, где оно составляет 5–10%. Также образец содержал повышенное количество марганца – 0,25% по  $MnO$ . Рентгенофазовый анализ соотношения кристаллических фаз в образце показал наличие кальцита (34%), гематита (23%), корунда (15%), кварца (12%), волластонита (8%) и гипса (8%).

Целью исследований являлось определение эффективного процесса удаления железа из золошлаковых отходов, которое является мешающим компонентом при последующем гидрометаллургическом извлечении ценных металлов. Применение гидрометаллургических методов обусловлено наличием спекшихся агрегатов, тонкой вкрапленности частиц, а также неравномерностью распределения ценных микроэлементов.

Для выделения железа из золошлаковых отходов могут быть использованы различные методы. Наиболее распространенными, вследствие своей экономичности, являются магнитные и гравитационные методы [2]. Также предложены высокотемпературный метод восстановительного плавления (углетермического восстановления) [4] и многостадийная схема бактериального выщелачивания ионов железа, осаждения железа в виде гидроксида, последующего вымораживания для отделения от осадка воды и солей [5].

Поскольку в данном ЗШО установлено наличие гематита, для его извлечения были исследованы гравитационный и магнитный методы.

В результате исследований было установлено большая эффективность магнитной сепарации по сравнению с винтовой сепарацией. В процессе винтовой сепарации фракции 0,071–1,0 мм был получен достаточно высокий выход концентрата 25% при очень низком содержании железа – 11,4%. Вероятно, сложность процесса разделения обусловлена мелким размером частиц для гравитационного оборудования. В связи с этим далее были исследованы различные варианты мокрой магнитной сепарации.

Выделение гематита, как слабомагнитного минерала, высокоградиентной магнитной сепарацией показало зависимость содержания железа в концентрате от размера частиц ЗШО (табл.1). Увеличение содержания железа практически в 2 раза – до 25,7% для более крупной фракции 0,2–2,5 мм при незначительных колебаниях содержаний железа по фракциям в исходных ЗШО указывает на разное количество агрегатов с немагнитными минеральными компонентами и/или возможные различия форм нахождения железа в данных фракциях, что требует дальнейшего изучения.

*Таблица 1*

**Результаты выделения железа из золошлаковых отходов  
высокоградиентной магнитной сепарацией**

Фракция, мм	Выход концентрата, %	Содержание Fe в концентрате, %
0,05–0,2	41,4	11,4
0,2–2,5	2,4	25,7

С целью повышения содержания железа в концентрате исследована магнитная сепарация в мокром барабанном сепараторе с 4 постоянными магнитами с предварительной ультразвуковой обработкой для повышения намагниченности (табл. 2). Сепарация пробы фракции 0,2–2,5 мм ЗШО позволила получить за одну стадию концентрат с содержанием железа 47,8%.

В результате ультразвуковой обработки ЗШО перед магнитной сепарацией установлено наиболее значительное изменение свойств суспензии мелкой фракции (0,05–0,2 мм), которая перешла в высокодисперсную фазу, в результате чего было снижено извлечение магнитной фракции. Увеличение времени обработки ультразвуком приводит по аналогичной причине к большему снижению выхода концентрата, однако при этом увеличивается содержание железа за счет ультразвукового разбивания агрегатов с немагнитными минеральными компонентами.

Таблица 2

**Результаты выделения железа из золошлаковых отходов магнитной сепарацией с постоянными магнитами**

Процесс	Фракция, мм	Выход концентрата, %	Содержание Fe в концентрате, %
Магнитная сепарация (МС)	0,2–2,5	0,68	47,8
УЗ 5 мин., затем МС	0,2–2,5	0,80	44,4
УЗ 10 мин., затем МС	0,2–2,5	0,27	47,0
УЗ 5 мин., затем МС	0,05–0,2	0,63	32,1

Таким образом, результаты магнитной сепарации ЗШО показали зависимость содержания железа в концентрате от размера частиц и необходимость раскрытия агрегатов, что может быть достигнуто различными способами. Для более эффективной ультразвуковой обработки необходим дополнительный подбор параметров воздействия. Возможным способом является также применение других физических полей, в частности – микроволнового [6].

Полученный железосодержащий продукт может быть использован в качестве корректирующей добавки в производстве цемента или в доменном процессе.

*Авторы выражают благодарность сотрудникам ИПКОН РАН О. Г. Лусияну, П. А. Сысе и И. О. Крылову за помощь в исследованиях и ценные советы.*

**Библиографический список**

1. Пичугин Е. А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077 // Проблемы региональной экологии. 2019. № 4. С. 77–87.
2. Shipunov L. V., Kuzmenkov M. A., Gaidai N. K. Assessing viability of processing ash and slag dumps for energyefficient ash beneficiation at Magadan CPP. DOI: 10.17073/2500-0632-2023-05-116 // Mining Science and Technology (Russia). 2024. Vol. 9. No. 1. P. 12–20.
3. Лавриненко А. А., Кунилова И. В., Гольберг Г. Ю. Влияние низкотемпературного обжига золы от сжигания углей с щелочными реагентами на эффективность извлечения ценных компонентов. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_10\_0\_104 // Горный информационно-аналитический. 2023. № 10. С. 104–121.

4. Павлов В. Ф., Шабанов В. Ф. Исследование процессов получения обезжелезенного сырья из золошлаковых отходов от сжигания бурых углей КАТЭЖ. DOI: 10.15372/KhUR2019149// Химия в интересах устойчивого развития. 2019. № 27. С. 381–386.

5. Снегирев В. А., Мальцева Е. С., Сабирова Т. М. Выделение железа бактериальным выщелачиванием из золошлаковых отходов // Система управления экологической безопасностью : сб. трудов XVIII междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург : УрФУ, 2024. С. 220–223.

6. Извлечение оксидов железа из золошлаковых отходов тепловой энергетики с использованием электромагнитного микроволнового излучения / О. С. Данилов, А. В. Таскин, Л. Н. Алексейко, И. В. Гребенюк. // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2020. С. 223–228.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ ДОБАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

*Т. П. Щербакова<sup>1</sup>, Д. С. Гилев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Институт химии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,*

*Sher.taty@mail.ru,*

*<sup>2</sup> «Сыктывкар ТиссьюГруп» (ОАО «СТГ»), d.gilev@sgbi.ru*

Исследован состав техногенного отхода (тех. флотошлама (ФШ)) образующегося при производстве вторичного целлюлозного волокна (переработка макулатурной массы (ММ)). Показана возможность использования ФШ как добавки в цементный клинкер (ЦК) в количестве до 5%. Прочность цементного камня в возрасте 28 суток снижается на 16% в сравнении с контрольным образцом, но находится в пределах определенных нормативными документами.

Ключевые слова: флотошлам, цементный камень, водоцементное отношение, прочность на сжатие, прочность на изгиб.

В настоящее время под общим названием портландцемент подразумевается группа вяжущих, свойства которых, в зависимости от содержания в клинкере тех или иных минералов, меняются в широких пределах. Типичными реакциями твердения затворенного водой цемента являются реакции гидратации и гидролиза. Скорость гидратации зерен портландцементного порошка зависит от химико-минералогического состава клинкерных зерен, их размеров, температуры твердения, величины водоцементного отношения и ряда других факторов. Влияние любых добавок на кинетику формирования структуры цементного камня, на прочность и долговечность бетона не может быть предсказано априори. Поэтому содержание добавок в бетонах или растворах устанавливается экспериментально с одновременной проверкой прочности при сжатии в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Целью исследования являлось изучение структурообразования и прочностных характеристик цементного камня, при введении в состав композиционных вяжущих, содержа-

щих портландцемент М 500 техногенной органоминеральной добавки (ФС) (5–10%).

Изучены физико-химические характеристики техногенного отхода (ФС), образующегося в процессе восстановления ММ в технологическое волокно. Композиция ММ представлена: 70% МС 7Б3 (среднего качества: книги, журналы), 5% МС 8В1 (низкого качества: отходы производства и потребления газет и газетной бумаги), 25% МС 6Б2 (среднего качества: отходы производства и потребления картона всех видов с печатью). Подготовка ММ заключалась в роспуске, очистке, промывке, флотации, диспергирование и отбелке согласно технологическому регламенту макулатурного участка «Сыктывкар Тиссю Груп» (ОАО «СТГ») [1]. Введение в технологию макулатуры низкого и среднего качества позволит повысить объем восстановленного волокна, следовательно, снизить объемы вырубки лесов и площади полигонов отходов.

Влажность в.с. флотошлама составляла 1,35–1,53% [2]; зольность 57,4–63,7% (600 °С), 37,6–38,4% (1000 °С) [3]. Органо-минеральный состав шлама – 40:60 (значения варьируются в зависимости от композиции классов перерабатываемой макулатуры). Органические компоненты шлама включают лигноцеллюлозные частицы, полимеры, краски, клейкие и связующие вещества. На рисунке 1 представлены микрофотография и результаты энергодисперсионного анализа флотошлама и его минеральной части.

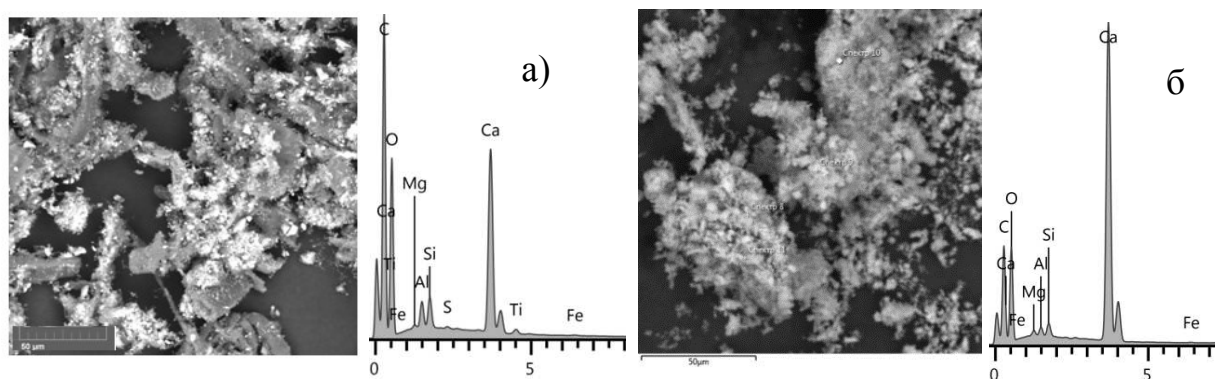


Рис. 1. Сканирующая электронная микроскопия и энергодисперсионный анализ флотошлама (ФС) (а) и минеральной части ФС (б)

Минеральная часть ФС может содержать: осаденный карбонат кальция, тонкодисперсный карбонат кальция, гипс, диоксид титана, глину, диоксид кремния, алюмосиликат магния, гидратированный силикат алюминия, силикат кальция, тальк, слюду, каолиновую глину, коллоидный диоксид кремния, или любое их сочетание.

ФС вводили в состав вяжущего в мелкодисперсном виде в пределах 5–10%. Нормальную плотность цементного теста определяли на приборе Вика [4]. Для исследования влияния добавки ФС на прочностные характеристики подготавливали кубики 70×70×70 и призмы 40×40×160 мм на цементном тесте с необходимым для нормальной густоты водоцементным отношением. На 28 сутки твердения к образцам прикладывали разрушающие нагрузки при испытании на

сжатие и изгиб [5]. Далее образцы измельчались, подготавливались пробы для идентификации основных фаз изучаемых образцов цемента.

Процессы структурообразования модифицированного цементного камня определяются многими факторами, в том числе водоцементным отношением, количеством и физико-химическими свойствами наполнителя. С увеличением степени наполнения ЦТ мелкодисперсным ФШ повышается водопотребность ЦТ, что зависит от водопотребности самой используемой добавки: при введении ФШ в количестве 5% В/Ц повышается на 13,8%, при введении ФШ в количестве 10% – на 27,5% (рис. 2).

Время схватывания и твердения цементного камня замедляется на 20–80 минут (в 1,12–1,5 раз) при введении 5–10% ФШ, соответственно (рис. 3).

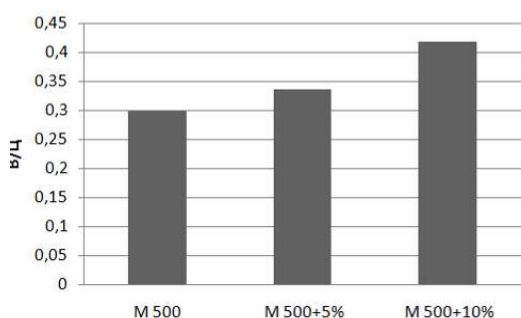


Рис. 2. Влияние добавки ФШ на водопотребность ЦТ

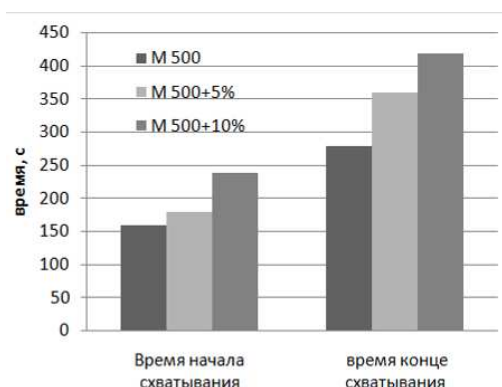


Рис. 3. Зависимость времени начала и конца схватывания ЦТ от количества вводимой добавки ФШ

Предел прочности цементного камня на сжатие в возрасте 28 суток твердения в нормальных условиях для наполненных цементов снижается относительно контрольного образца (56,4 МПа) на 10,8–17,7% (50,3 МПа – 46,4 МПа), при добавке, соответственно, 5–10% ФШ (рис. 4). Но эти показатели удовлетворяют требованиям нормативной прочности [6]. Предел прочности наполненных образцов при изгибе ( $R_{изг}$ ) составляет 7,65–7,75 МПа при добавке, соответственно, 5–10% ФШ, что на 7,0–8,4% выше, чем для контрольного образца (7,15 МПа) (рис. 5).

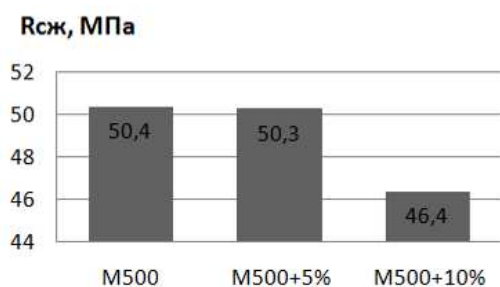


Рис. 4. Предел прочность ЦК на сжатие ( $R_{сж}$ ) в возрасте 28 суток в зависимости от количества вводимой добавки

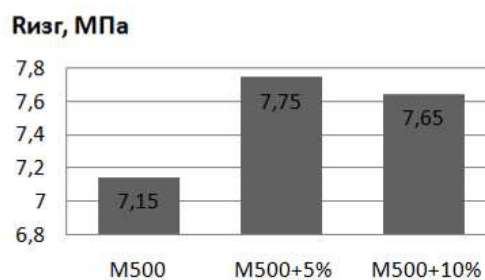


Рис. 5. Предел прочность ЦК на изгиб ( $R_{изг}$ ) в возрасте 28 суток в зависимости от количества вводимой добавки

Опираясь на справочные и публикационные данные [7–10], авторами проведен сравнительный анализ фазового состава модифицированных образцов с помощью РФА.

Рентгенограмма цемента М 500 (рис. 6 а)) показывает дифракционные отражения основных минералов: алита ( $d = 3,03; 2,77; 2,60; 2,43; 2,17; 1,76; 1,62; 1,48$ ), белита ( $d = 3,85; 3,02; 2,65; 2,44; 2,19; 1,76; 1,62$ ), целлита ( $d = 7,59; 3,63; 2,88; 2,69; 1,93; 1,91$ ), трехкальциевого алюмината ( $d = 2,68; 2,17; 1,91$ ); клиноэнстатита ( $MgO \cdot SiO_2$ ) ( $d = 3,19; 2,96; 2,88; 2,11$ ), оксида магния ( $MgO$ ) ( $d = 2,10; 1,48$ ), гипса ( $CaSO_4$ ) ( $d = 3,19; 2,63; 1,93; 1,87; 2,08$ ). На рентгенограмме образца М 500 в возрасте 14 дней (рис. 6 б)) происходит уменьшение интенсивности пиков основных минералов цементного клинкера в результате их гидратации.

Фазовый состав представлен не прореагировавшим алитом ( $d = 2,74; 1,76; 1,62$  А), портландитом ( $d = 4,9; 2,69; 1,93; 1,79; 1,49$  А), тоберморитом ( $d = 9,71; 3,04; 1,70; 1,59$  А), кальцитом ( $d = 2,28; 2,06$  А). Исчезают пики, относящиеся к гипсу ( $CaSO_4$ ), который участвует в образовании гидросульфоалюминатов кальция (ГСАК) ( $d = 5,58; 3,62; 2,46; 2,19; 2,11$  А).

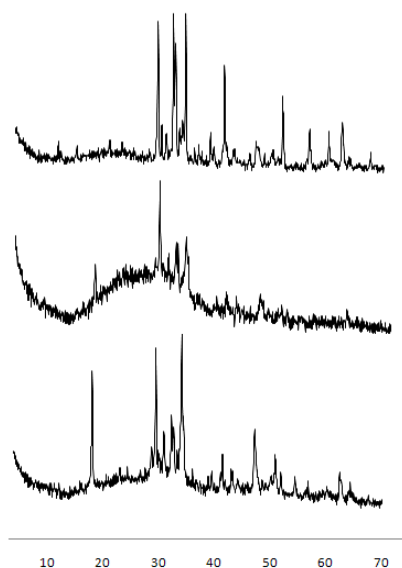


Рис. 6. а) М 500 (клинкер), б) гидратация М 500 (14 дней), в) гидратация М 500 (28 дней)

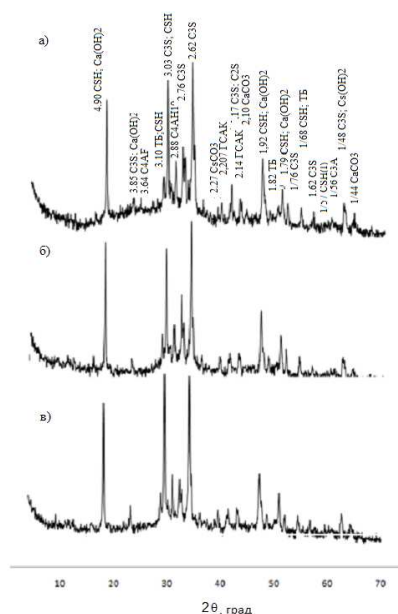


Рис. 7. Рентгенограммы модифицированных образцов цементного камня после 28-суточного твердения: а) М 500; б) М 500 + 5% ФШ; в) М 500 + 10% ФШ

Высокоосновные гидросиликаты (С-S-Н II) имеют дифракционные отражения  $d = 9,71; 1,59; 1,57$  А, низкоосновные (С-S-Н I) –  $d = 3,1; 3,03; 2,74; 1,79; 1,68$  А. Гидроалюминаты на рентгенограмме идентифицировали по пикам с  $d = 4,93; 2,88; 1,655$  А. Присутствуют пики не прореагировавших компонентов клинкера: С3А с  $d = 1,9; 1,62; 1,55$ , С3S, С2S с  $d = 3,87; 2,19; 1,76; 1,62$  А. О наличии аморфной фазы, образующейся при затворении компонентов вяжущего свидетельствует диффузная дуга в диапазоне углов  $2\theta = 15–36^\circ$ .



После 28-суточного твердения рентгенограмма имеет вид, представленный на рисунке 6 в). Для одних и тех же фаз произошло изменение углов и соответствующих им межплоскостных расстояний, что может быть вызвано изменением кристаллической и аморфно-кристаллической структуры цементного камня. Наблюдается уменьшение пиков непрореагировавшего портландита ( $d=4,934; 3,87; 2,631,49$  А). Снижение пиков  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  может быть связано с взаимодействием его с сульфатными составляющими и переход в гидросульфат алюмината кальция (ГСАК) ( $d = 5,58; 3,62; 2,466$  А). Интенсивность пиков алита ( $d = 2,74; 1,76; 1,62$  А) не изменяется (рис. 6 в). Рентгенограммы модифицированных образцов цементного камня после 28-суточного твердения представлены на рисунке 7. Фаза, характеризующаяся портландит ( $d = 4,9; 2,63; 1,93; 1,79; 1,49$ ) – при увеличении количества добавки интенсивность пика несколько повышается. Интенсивность пиков тоберморита ( $d= 3,02; 1,68$  А) находится в сравнимых пределах.

Добавка ФШ к портландцементу приводит к повышению показателей нормальной плотности цементного теста и удлинению сроков схватывания. Повышение водопотребности цементного теста зависит от водопотребности органической составляющей применяемой добавки (40%), которая и обуславливает поглощение воды из ЦТ в виду наличия капиллярной пористости, и обратную десорбцию воды в структуру ЦК в процессе твердения. Количество вводимой добавки влияет на прочностные характеристики образцов в возрасте 28 суток твердения, но значения находятся в рамках, рекомендованных стандартом.

#### Библиографический список

1. ОАО «Сыктывкар Тиссю Групп» [Электронный ресурс]. – URL: [www.sgbi.ru](http://www.sgbi.ru) (дата обращения: 02.05.2018).
2. ГОСТ 13525.19-91 (ИСО 287-85) Межгосударственный стандарт. Бумага и картон. Определение влажности. Введ. 1993-01-01. М. : Стандартинформ, 2007.
3. ГОСТ 7629-93 (ИСО 2144-87) Бумага и картон. Метод определения золы. Введ.01.01.95. М. : ИПК Издательство стандартов, 1995.
4. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема. Введ. 01.01.1978. М. : Изд-во стандартов, 1976.
5. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. Введ. 01.07.1983. М. : Изд-во стандартов, 1983.
6. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия. Введ. 01.09.2004. М. : ФГУП ЦПП, 2004.
7. Галкин Ю. Ю., Удодов С. А. Фазовый анализ структуры цементного камня, изолированного при его раннем нагружении. DOI: 10.15862/21SATS118 // Транспортные сооружения. 2018. № 1. Т. 5. [Электронный ресурс]. – URL: <https://t-s.today/PDF/21SATS118.pdf> (дата обращения: 02.05.2024).
8. Вовк А. И. Гидратация C3S и структура C-S-H-фазы: новые подходы, гипотезы и данные // Цемент и его применение. 2012. № 3. [Электронный ресурс]. – URL: <https://jcement.ru/magazine/vypusk-3-209/gidratatsiya-c3s-i-struktura-c-s-h-fazy-novye-podkhody-gipotezy-i-dannye/> (дата обращения: 02.05.2024).
9. Основы рентгеноструктурного анализа в материаловедении / А. А. Клопотов, Ю. А. Абзаев, А. И. Потекаев, О. Г. Волокитин. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2012. 275 с.
10. Миркин Л. И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / под ред. профессора Я. С. Уманского. М., 1961.

## СОРБЦИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ СИЛИКАТАМИ КАЛЬЦИЯ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

С. Б. Ярусова<sup>1</sup>, П. С. Гордиенко<sup>1</sup>, А. Е. Панасенко<sup>1</sup>, У. В. Харченко<sup>1</sup>,  
И. А. Беленева<sup>2</sup>, С. Б. Буланова<sup>1</sup>, С. Н. Данилова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт химии ДВО РАН,

<sup>2</sup> Национальный научный центр морской биологии  
имени А.В. Жирмунского ДВО РАН,

<sup>3</sup> Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,  
yarusova\_10@mail.ru

В работе исследованы сорбционные свойства силикатов кальция техногенного происхождения по отношению к микроорганизмам *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis*. Получены и проанализированы данные по кинетике сорбции исследуемых бактерий силикатами кальция.

Ключевые слова: микроорганизмы, силикаты кальция, техногенные отходы, борогипс, сорбция, сорбционные свойства, кинетика.

Изучение особенностей взаимодействия природных и синтетических силикатов и алюмосиликатов с различными микроорганизмами, в том числе с патогенными и условно-патогенными микроорганизмами, позволяет расширить области применения данных соединений, например, в качестве энтеросорбентов с сорбционно-детоксикационными свойствами, а также для очистки воды [1–5].

Ранее было проведено сравнительное исследование сорбционных свойств аморфных и кристаллических силикатов кальция, полученных в водных растворах при обычных условиях ( $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и в условиях автоклавной обработки реакционной смеси ( $t = 220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в модельных системах относительно тестовых культур микроорганизмов *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis* и ассоциации пресноводных бактерий. В качестве контрольного образца использовали реактив – двуокись кремния квалификации «ч», ГОСТ 4214-78. Было установлено, что наибольшую сорбционную емкость по отношению к изученным бактериям проявляют силикаты кальция. Результаты показали целесообразность проведения дальнейших исследований, в результате которых установлено, что эффективность сорбции по отношению к бактериям *Escherichia coli* достигает 79,4%, по отношению к *Bacillus subtilis* – 45,5% [6–8].

В данной работе проведено исследование сорбционных свойств силикатов кальция, полученных из техногенного сырья в виде отходов производства борной кислоты (борогипса) по отношению к микроорганизмам *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis*.

Отходы производства борной кислоты (с содержанием основных компонентов, масс. %:  $\text{SiO}_2$  – 26–28;  $\text{CaO}$  – 26–28;  $\text{SO}_4^{2-}$  – 38–40;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,8–2,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,6–0,8;  $\text{V}_2\text{O}_3$  – 0,7–1,2;  $\text{MnO}$  – 0,2;  $\text{MgO}$  – 0,1–0,2) смешивали с раствором гидроксида калия квалификации «ч.д.а» в стехиометрическом соотноше-

нии. Синтез проводили в лабораторном автоклаве при температуре 220 °С в течение 3 и 6 ч (далее – БГ СК-3 и БГ СК-6, соответственно). Удельная поверхность образцов БГ СК-3 и БГ СК-6 – 102,4 и 155,2 м<sup>2</sup>/г, соответственно. В качестве контрольного образца исследовали образец с удельной поверхностью 146,4 м<sup>2</sup>/г, полученный в гидротермальных условиях при 220 °С в модельной многокомпонентной системе CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O–KOH–H<sub>2</sub>O, аналогичной по составу системе «борогипс – щелочь (KOH)» (далее – МО).

Для исследования сорбционных характеристик образцов в работе использовались тестовые культуры микроорганизмов, хранящиеся в музее культур НИЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН: *Escherichia coli* ATCC 15034, *Bacillus subtilis* ВКМ В501. Связывание микроорганизмов с сорбентом регистрировали турбидиметрическим методом по изменению концентрации клеток в водной среде с использованием спектрофотометра UV-1280 (Shimadzu, Япония).

Полученные результаты показали, что при сорбции исследуемых бактерий наблюдается общая закономерность: сорбционная емкость увеличивается с увеличением времени контакта микроорганизмов с исследуемыми образцами. Наибольшую сорбционную емкость по отношению к *Escherichia coli* проявляют образцы из техногенных отходов: эффективность адсорбции бактерий превышает 90%. Эффективность сорбции *Bacillus subtilis* для всех образцов ниже по сравнению с *Escherichia coli*. Наибольшей сорбционной емкостью характеризуется образец БГ СК-6 (76,5%). Возможно, это связано с большей величиной удельной поверхности образца и большей продолжительностью автоклавного синтеза (6 ч) [9].

Кинетические данные анализировали, как и в работе [7] с модельными силикатами кальция, в соответствии с уравнением кинетики, предложенным в работе [10]:

$$\alpha_t = \alpha_m \cdot K \cdot t \cdot \left[ \frac{1}{(1 + k \cdot t)} \right], \quad (1)$$

где  $k$  – константа (время<sup>-1</sup>),  $\alpha_t$  – степень прохождения реакции в момент времени  $t$ ,  $\alpha_m$  – максимальная величина степени прохождения реакции,  $t$  – время реакции.

В таблице приведены параметры, полученные графически при представлении экспериментальных данных по кинетике в виде зависимостей обратной величины степени прохождения реакции (в данном случае – степени извлечения микроорганизмов) от обратной величины времени процесса.

Как видно из представленных расчетных и экспериментальных зависимостей, максимальная разница в величинах адсорбции составляет не более нескольких процентов, причем это относится только к некоторым точкам, что следует отнести к ошибкам измерения при проведении эксперимента. Большинство сравниваемых величин отличаются менее, чем на 5%, что является подтверждением пригодности уравнения (1) для описания кинетики подобных процессов.

**Данные по кинетике процесса сорбции бактерий силикатами кальция, разница  $\Delta$  в % экспериментальных и расчетных значений степени прохождения реакции  $A_t$**

Образец	Штамм	t, мин	A, %	$y = ax + b, (R^2)$	$A_m, \%$	$K_t, \text{мин}^{-1}$	$A_t, \%$	$\Delta, \%$
МО	<i>Escherichia coli</i>	30	79,4	$y=0,0835x+0,0103, (0,9342)$	97,09	0,1229	75,2	4,2
		60	81,8				85,5	3,7
		90	89,6				89,04	0,56
		120	89,3				90,93	1,63
	<i>Bacillus subtilis</i>	30	43,3	$y=0,2816x+0,0142, (0,8596)$	70,4	0,05	42,24	1,06
		60	50,7				52,8	2,1
		90	55,2				57,6	2,4
		120	66,7				60,34	6,36
БК СК-3	<i>Escherichia coli</i>	30	81,0	$y=0,077x+0,0101, (0,6697)$	99,0	0,1299	78,8	2,2
		60	83,3				87,74	4,44
		90	90,3				91,2	0,9
		120	94,3				93,03	1,27
	<i>Bacillus subtilis</i>	30	37,8	$y=0,3398x+0,0159, (0,6574)$	62,9	0,0468	36,7	1,1
		60	40,1				46,4	6,3
		90	51,1				50,83	0,27
		120	62,5				53,4	9,1
БГ СК-6	<i>Escherichia coli</i>	30	75,6	$y=0,1044x+0,0101, (0,5949)$	99,0	0,096	73,5	2,1
		60	77,1				84,4	7,3
		90	88,5				88,73	0,23
		120	96,5				91,1	5,4
	<i>Bacillus subtilis</i>	30	54,0	$y=0,234x+0,0115, (0,9609)$	86,96	0,049	51,8	2,2
		60	64,0				64,9	0,9
		90	69,4				70,9	1,5
		120	76,5				74,3	2,2

*Исследование выполнено в рамках гос. задания Института химии ДВО РАН (FWFN(0205)-2022-0002, тема 2, разделы 3, 5).*

#### Библиографический список

1. Interactions between microorganisms and clay minerals: New insights and broader applications / G. L. Li, C. H. Zhou, S. Fiore, W. H. Yu. DOI: 10.1016/j.clay.2019.04.025 // Appl. Clay Sci. 2019. Vol. 177. P. 91.
2. Сорбционное связывание углеводов и условно-патогенных микроорганизмов неорганическими сорбентами (на примере бензола и *E. coli*) / А. В. Савин, А. П. Денисова, Р. Х. Хузиахметов и др. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 19. С. 123.
3. Interactions of pathogens *Escherichia coli* and *Streptococcus suis* with clay minerals / W. Zhao, X. Liu, Q. Huang et al. DOI: 10.1016/j.clay.2012.07.003 // Appl. Clay Sci. 2012. Vol. 69. P. 37.
4. Сорбционные свойства кремнийсодержащих образцов по отношению к бактериям / У. В. Харченко, О. Д. Арефьева, А. Е. Панасенко и др. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-603-612 // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. № 4. С. 603–612.

5. Zemnukhova L. A., Kharchenko U. V., Beleneva I. A. Biomass derived silica containing products for removal of microorganisms from water. DOI: 10.1007/s13762-014-0529-8 // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2015. Vol. 12. P. 1495–1502.

6. Силикаты кальция как потенциальные сорбенты микроорганизмов из водных сред / У. В. Харченко, И. А. Беленева, С. Б. Ярусова и др. // Химия и химическая технология : сб. материалов VI Междунар. конф. (Республика Армения, г. Ереван, 23–27 сентября 2019 г.). Ереван : ИОНХ НАН РА, 2019. С. 133.

7. Влияние условий синтеза силикатов кальция на кинетику процесса микробиологической очистки водных сред / С. Б. Ярусова, С. Н. Сомова, У. В. Харченко и др. DOI: 10.31857/S0044457X21080316 // Журнал неорганической химии. 2021. Т. 66. № 8. С. 1025–1031.

8. Автоклавный синтез сорбентов на основе силикатов кальция и их использование в процессе микробиологической очистки водных сред / С. Б. Ярусова, С. Н. Сомова, П. С. Гордиенко и др. // Физико-химические проблемы адсорбции и технологии нанопористых материалов : Всерос. интернет-симпозиум с междунар. участием. М., 2020. С. 193–196.

9. Синтез сорбента на основе техногенных отходов и возможности его использования для очистки водных сред от различных поллютантов / С. Б. Ярусова, А. Е. Панасенко, У. В. Харченко и др. // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире : материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием молодых ученых и специалистов «» (Казань, 18–19 марта 2021 г.). Казань : Изд-во КНИТУ, 2021. С. 542–545.

10. Уравнение кинетики сорбции ионов тяжелых металлов на синтетических алюмосиликатах / П. С. Гордиенко, И. А. Шабалин, С. Б. Ярусова и др. DOI: 10.1134/S0044453719110128 // Журнал физической химии. 2019. Т. 93. № 11. С. 1724.

## **ВЛИЯНИЕ ФОСФОРИТОВ ВЕРХНЕКАМСКИХ БЕДНЫХ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ФОСФОРА И КАЛИЯ В АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ**

*Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин*

*Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

Изучено влияние нового агрохимиката «Фосфориты Верхнекамские бедные» молотые (ФВБМ) на содержание подвижных форм фосфора и водорастворимого калия в агродерново-подзолистых почвах (лабораторный эксперимент). Установлено, что ФВБМ могут найти применение для производства натуральных фосфорно-калийных удобрений.

Ключевые слова: фосфориты, хвосты обогащения фосфоритов, почвы, натуральные удобрения, РК-удобрения.

Ограниченность запасов полезных ископаемых и дефицит минерального сырья способствуют повышению интереса к поиску возможных вариантов более полного использования добываемых природных ресурсов, снижению количества образующихся отходов, вовлечению в разработку техногенных месторождений, содержащих те или иные пригодные для использования компоненты. Особую привлекательность для вторичной переработки представляют отходы обогащения добываемой руды [1]. К числу таких отходов можно отнести хвосты обогащения желваковых фосфоритов (ХОФ), складированные на террито-

рии хвостохранилища Верхнекамского фосфоритного рудника [2, 3]. Основными составляющими ХОФ являются глаукониты, фосфориты мелких фракций, глинистые и известковые материалы. Разделение ХОФ на отдельные компоненты представляет серьезную проблему, поскольку различные минералы образуют между собой прочные сростки [4]. В состав ХОФ входит до 5–7%  $P_2O_5$  и около 3%  $K_2O$ . Содержание элементов, представляющих опасность для окружающей среды и здоровья человека, соответствует принятым экологическим и гигиеническим нормативам. Согласно результатам исследований, соответствующее техногенное сырье может быть использовано для производства минеральных и органоминеральных удобрений [5, 6]. Внесение ХОФ способствует обогащению почвы фосфором, снижению кислотности, уменьшению биодоступности ряда тяжелых металлов, повышению активности почвенной микробиоты [7–9]. В настоящее время на основе складированных на территории хвостохранилища ресурсов налажено производство нового материала агрохимического назначения – «Фосфоритов Верхнекамских бедных» (ФВБ), предназначенных для улучшения свойств почвы, приготовления органоминеральных смесей и почво-грунтов.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния ФВБ на содержание подвижных форм фосфора и калия в агродерново-подзолистых почвах.

Для выполнения исследований использовали ФВБ в молотом виде (ФВБМ). Тонинапомола < 0,18 мм. Содержание  $P_2O_5$  –  $5,6 \pm 0,6\%$ ;  $K_2O$  –  $3,1 \pm 0,4\%$ . Влияние ФВБМ на почвы изучали в сравнении с фосфоритной мукой (производство ООО «Верхнекамские удобрения», содержание  $P_2O_5$  – 22%). Фосфоритную муку (ФМ) и ФВБМ вносили в образцы агродерново-подзолистой почвы в одинаковой норме (0,25 г/кг). Образцы почвы для выполнения исследований отбирали на пахотном поле вблизи г. Кирова с глубины 0–25 см. Почву с добавками перемешивали, помещали в пластиковые контейнеры, добавляли дистиллированную воду до влажности  $65 \pm 5\%$  и оставляли в лаборатории при температуре  $20 \pm 2^\circ C$  на 4 недели в условиях естественного освещения.

Варианты эксперимента: 1 – Почва без добавок (Контроль); 2 – Почва + ФМ; 3 – Почва + ФВБМ.

Через 4 недели после внесения добавок в почву определяли подвижный фосфор, водорастворимый калий и  $pH_{KCl}$ . Данные о методах анализа и свойствах агродерново-подзолистой почвы приведены в таблице 1.

Эксперимент проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов выполняли общепринятыми методами с использованием встроенного пакета программ Microsoft Excel. Достоверность отличий оценивали по t-критерию Стьюдента.

Результаты химического анализа почвы (средние по трём повторностям значения показателей и среднеквадратичные отклонения) через 4 недели после внесения добавок приведены в таблице 2.

Свойства почвы и методы анализа

Показатель	Значение	Метод анализа
pH <sub>KCl</sub>	5,8±0,1	Ионометрический по ГОСТ 26483-85
Органическое вещество, %	2,2±0,5	Метод Тюрина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26213
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подвижный, мг/кг	45,0±9,0	Метод Кирсанова в модификации ЦИНАО по ГОСТ Р 54650-2011
K <sub>2</sub> O подвижный, мг/кг	105±12	
K <sub>2</sub> O водорастворимый, мг/кг	4,7±0,8	Метод ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» по ФР.1.31.2008.01724
Механический состав	супесчаная	Мокрый метод (метод скатывания) по Н. А. Качинскому

Свойства почвы через 4 недели после внесения добавок

Показатель	Вариант		
	1	2	3
pH <sub>KCl</sub>	5,6±0,2	5,9±0,2	5,8±0,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подвижный, мг/кг	44,2±3,7	<b>76,7±6,3*</b>	<b>65,3±7,8</b>
K <sub>2</sub> O водорастворимый, мг/кг	4,6±0,8	5,1±1,1	<b>9,1±1,6</b>

*Примечание:* \* Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия между контролем и экспериментом ( $P > 0,95$ ).

Согласно результатам эксперимента, внесение ФВБМ в агродерново-подзолистую почву способствовало накоплению подвижных форм фосфора и водорастворимого калия. Различия по соответствующим показателям между почвой с добавкой ФВБМ и контролем статистически значимые. Внесение ФМ привело к более значительному повышению подвижности фосфора, чем внесение ФВБМ, однако выявленные различия между соответствующими добавками статистически незначимы. Выявленный факт довольно интересный, поскольку содержание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в ФМ выше, чем в ФВБМ в 3,5 раза. Возможно, входящие в состав ФВБМ сростки фосфатов с глауконитами имеют менее упорядоченную кристаллическую структуру, что способствует повышению подвижности фосфора, т. е. фосфор, входящий в состав ФВБМ, легче экстрагируется 0,2 моль/л раствором соляной кислоты, чем фосфор, входящий в состав фосфоритов.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

«Фосфориты Верхнекамские бедные» являются перспективным материалом для применения в сельском хозяйстве в качестве бюджетных натуральных РК-удобрений. Внесение ФВБМ в дерново-подзолистую почву способствует повышению подвижности фосфора и калия.

Экологически безопасный состав позволяет применять ФВБМ в органическом земледелии в качестве натурального РК-удобрения.

Вовлечение хвостов обогащения, складированных на территории Верхнекамского фосфоритного рудника, в промышленную переработку позволит существенно снизить количество отходов и повысить рентабельность добычи фосфатного сырья.

### Библиографический список

1. Чуркин О. Е., Гилярова А. А. Освоение отходов горного производства как инвестиционное направление развития горнорудной промышленности Кольского полуострова // Экология промышленного производства. 2020. № 3. С. 905–916.
2. Комплексная переработка природных фосфоритов с использованием щелочных отходов нефтехимического синтеза и газовой серы / Р. Х. Хузиахметов, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Иванова. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-102-108 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 102–108.
3. Хвосты обогащения фосфоритов Вятско-Камского месторождения как вторичные материальные ресурсы для производства натуральных удобрений / Н. В. Сырчина, Н. Н. Богатырёва, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-2-107-114 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 107–114.
4. Оптимизация состава удобрений на основе молотых фосфоритов / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60, № 12. С. 133–139.
5. Химический состав и перспективы использования хвостов обогащения Верхнекамского фосфоритного рудника в органическом земледелии / А. Г. Торская, Д. Б. Гуров, Н. В. Сырчина, Н. Н. Богатырева // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2020. С. 48–53.
6. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Влияние мелиорантов на подвижность кадмия в почвах. DOI: 10.24852/2411-7374.2023.4.60.66 // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 4 (36). С. 60–66.
7. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние хвостов обогащения фосфоритов, используемых в качестве удобрения, на почвенные альго-цианобактериальные сообщества. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-174-180 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 174–180.
8. Маркина Е. О., Григорьев В. В., Сырчина Н. В. Влияние различных добавок на подвижность тяжелых металлов в почвах // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 2. Киров : ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 87–90.
9. Перспективы использования глауконитсодержащих хвостов обогащения фосфоритов для снижения подвижности никеля в почвах / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор, С. Г. Скугорева. DOI: 10.19110/1994-5655-2021-5-92-96 // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2021. № 5 (51). С. 92–96.

### УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

*А. С. Кудрявцева, К. О. Камалов, С. В. Девятерикова*  
*Вятский государственный университет,*  
*stud160702@vyatsu.ru, usr00705@vyatsu.ru, usr01730@vyatsu.ru*

Статья посвящена разработке эскизного прототипа лабораторного прибора для определения газопроницаемости пористых тел, спрессованных в таблетки.

Ключевые слова: газопроницаемость, метод дифференциального давления, пористые материалы, схема установки.



Метрологическое обеспечение научной и производственной деятельности играет ключевую роль в обеспечении точности и надежности измерений, что напрямую влияет на качество продукции, эффективность производства, соответствие регламентам, а также позволяет решить ряд экологических задач. Например, измерение газопроницаемости позволяет определить воздухо-газопроницаемость фильтровальных перегородок, используемых при очистке воздуха и промышленных газов, газопроницаемость грунта (при определении радонового потенциала грунта), а также газопроницаемость новых биологически разлагаемых полимеров [1, 2].

Целью работы явилась разработка эскизного прототипа лабораторного прибора для определения газопроницаемости пористых тел, спрессованных в таблетки.

Прибор предназначен для определения проницаемости сухими и влажными газами (кислород, азот, углекислый газ и их смеси) полимерных пленок и мембран, резины и пористых материалов.

Газопроницаемость – способность материалов к диффузии воздушной смеси или прочих газов при наличии градиента давления. Она характерна для всех веществ и зависит от природы газообразного вещества и температуры окружающей среды [1, 2].

В зависимости от строения материала, его структуры и разницы давлений различают три типа газопроницаемости – диффузионный поток, молекулярную эффузию и ламинарный поток газа.

Диффузионный поток определяет проницаемость газов в полимерных пленках и покрытиях из полимеров и представляет собой насыщение газом твердого тела, в котором отсутствуют поры, через диффундирование внутрь материала и выделение (с другой стороны) наружу.

Молекулярная эффузия используется в материалах, имеющих диаметр поры значительно меньший, чем величина допустимого разгона молекул газовой фазы, то есть молекулярная эффузия является процессом насыщения газом через поры материала.

Ламинарный поток газа образуется при условии нахождения в газовой среде твердого тела, имеющего поры, значительно превышающие величину допустимого свободного движения газовых молекул.

Для оценки показателя газопроницаемости используется коэффициент  $K$ , характеризующийся количеством газа, прошедшего при наличии нормальных условий за 1 секунду через единицу площади материала, расположенной перпендикулярно газовому потоку, при разнице давлений в единицу величины.

Для определения газопроницаемости был выбран дифференциальный метод, являющийся простым в реализации, основанный на постоянстве градиента перепада давлений в смежных участках испытательной ячейки при хорошей герметизации и температурном равновесии продукта и окружающей среды [3].

На рисунке 1 представлена блок-схема установки, составленная с учетом необходимой герметичности прибора и рабочих температур.

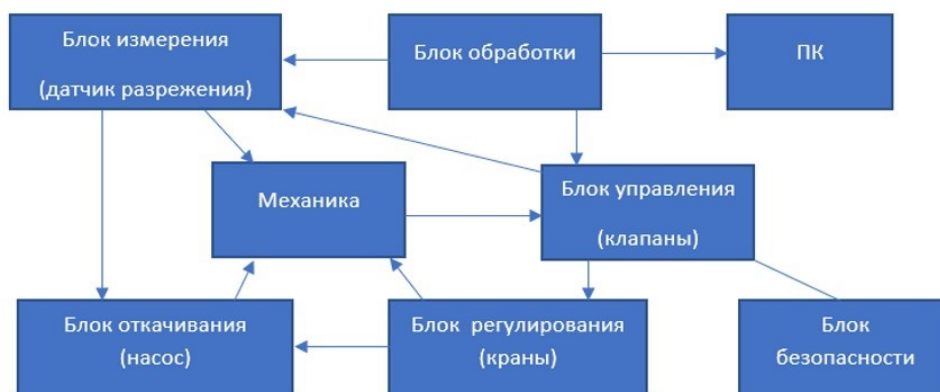


Рис. 1. Блок-схема установки

Разработана принципиальная схема прибора (рис. 2), которая в дальнейшем будет служить основой для сборки прибора для определения газопроницаемости дифференциальным методом.

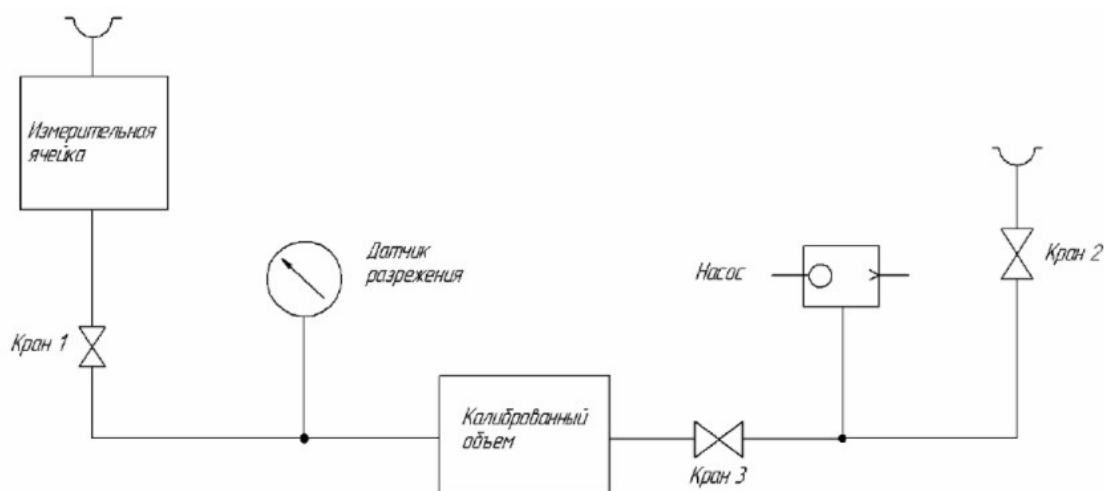


Рис. 2. Принципиальная схема прибора

Работа прибора основана на следующем принципе: воздух поступает через свободный конец трубопровода, при этом два прямооточных крана открыты (кран 2 и 3), а кран 1 – закрыт. Затем закрывается один из кранов (кран 2), и с помощью насоса откачивается воздух из буферной емкости, создавая вакуум. Закрывается второй кран (кран 3), манометром измеряется созданное давление. Далее открывается кран перед ячейкой (кран 1) с образцом, через который воздух постепенно поступает в буферную емкость, меняя тем самым давление в калибровочном объеме.

На основании принципиальной схемы был проведен поиск необходимых комплектующих в каталогах [4–6]. Большинство деталей изготовлены из нержавеющей стали 304, что обеспечивает надежность и долговечность конструкции, и позволит работать в следующих условиях: минимальная рабочая температура 20 °С, максимальная рабочая температура 150 °С, минимальное рабочее давление –  $10^{-8}$  Торр или  $133,32 \cdot 10^{-8}$  Па. Кроме того, данные составляющие доступны по стоимости и обеспечивают надежную герметичность.

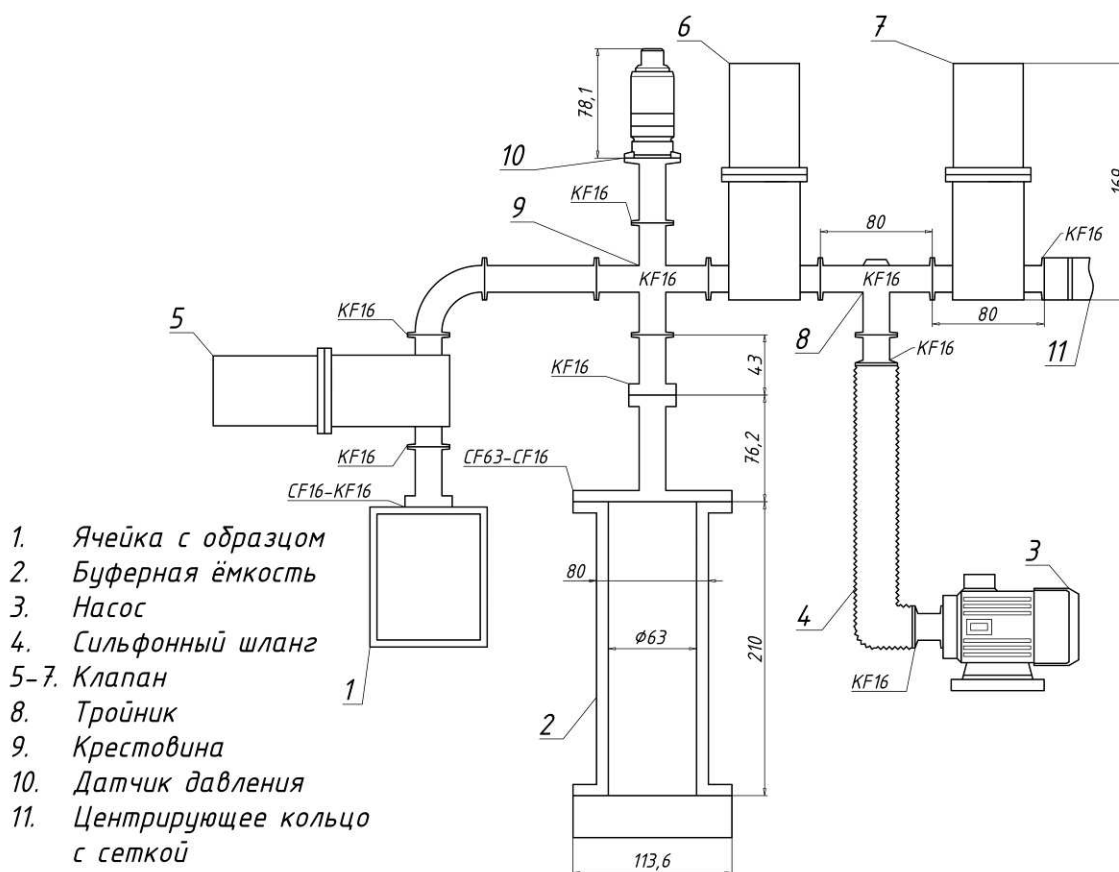


Рис. 3. Схема прибора для определения газопроницаемости

Подобраны следующие комплектующие для прибора – заглушка (CF63), сильфонные шланги (KF-16), тройник (KF-16), центрирующее кольцо с сеткой (KF-16), прямооточный электромагнитный клапан, сильфонное уплотнение (нержавеющая сталь), угловой электромагнитный клапан, сильфонное уплотнение (нержавеющая сталь), хомут (KF-16), уплотнительное кольцо (KF-16), вакуумное уплотнение в сборе (уплотнение с центрирующим кольцом) (KF-16), уголок 90° (KF-16- KF-16), переходники (CF16-KF16), крест (KF16-KF16), уплотнение медное (CF16)/(CF63) и переходники (CF16-CF63).

С учётом подобранных комплектующих разработана схема прибора для определения газопроницаемости (рис. 3). Данная схема будет являться основой для создания прототипа прибора.

Таким образом, в ходе работы была разработана блок-схема установки, принципиальная схема прибора, подобраны необходимые комплектующие и разработана схема прибора для определения газопроницаемости.

#### Библиографический список

1. Черемский П. Г. Методы исследования пористости твердых тел. М. : Энергоатомиздат, 1985. 112 с.
2. Аронов И. П., Собина Е. П. Разработка стандартных образцов газопроницаемости // Эталон. Стандартные образцы. 2021. Т. 17. № 2. С. 5–18.
3. ГОСТ 11573-2022. Изделия огнеупорные. Метод определения коэффициента газопроницаемости: действ. с 01.03.2023. М., 2022. [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/78653/> (дата обращения: 26.10.2024).

4. Компания «Орбис». Приборы для испытания газопроницаемости. Каталог оборудования [Электронный ресурс]. – URL: <https://orbiscorp.ru/po-proizvoditelyu/labthink/pribory-dlya-opredeleniya-gazopronitsaemosti/> (дата обращения: 26.10.2024).

5. Компания «Ист Вакуум». Вакуумное оборудование. Каталог оборудования [Электронный ресурс]. – URL: <https://eastvacuum.ru/> (дата обращения: 26.10.2024).

6. Компания ERSTEVAK. Промышленное оборудование. Каталог оборудования [Электронный ресурс]. – URL: <https://erstvak.com/catalog/> (дата обращения: 26.10.2024).

## СЕКЦИЯ 3 ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И РЕЦИКЛИНГ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

### ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

*С. А. Рубцова, Т. В. Хуришайнен, И. Ю. Чукичева,  
Е. В. Удортатина, А. В. Кучин*

*Институт химии Коми научного центра Уральского  
отделения Российской академии наук – обособленное  
подразделение ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, rubtsova-sa@mail.ru*

В статье представлены достижения Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по разработке инновационных технологий переработки отходов лесопромышленного комплекса: хвойной древесной зелени и сульфатного скипидара – побочного продукта целлюлозно-бумажного производства для получения новых биологически активных веществ и материалов с ценными практическими свойствами и широкого спектра назначения для решения экологических проблем.

Ключевые слова: хвойная древесная зелень, комплексная ресурсосберегающая технология, эмульсионная экстракция, биопрепараты, растительные полимеры, сульфатный скипидар, сернистые соединения, терпеноиды.

Развитие новой лесной стратегии Российской Федерации – повышение эффективности использования природных ресурсов и переход к современному высокодоходному, экологически устойчивому развитию. Максимально возможное использование биомассы дерева является важнейшим показателем лесопромышленных комплексов.

Северные регионы России располагают уникальными лесными запасами и благоприятными возможностями для развития лесопромышленного комплекса. Хвойные растения семейства сосновых, занимающие большую часть лесов России, представлены четырьмя основными родами: *Pinus*, *Picea*, *Abies* и *Larix*, являются промышленно значимыми породами и интенсивно применяются в народном хозяйстве, но используется только их стволовая часть, составляющая около 40% биомассы дерева. Остаточный биоматериал (хвоя и побеги), являющийся многотоннажным отходом лесоперерабатывающих производств, в промышленности практически не используется. Использование природных соединений из древесных источников в качестве сырья для получения лекарственных, ветеринарных препаратов, косметических и парфюмерных товаров, средств за-

щиты человека и животных – мировая тенденция последних лет. Это обусловлено ценными биологическими и фармакологическими свойствами природных соединений, а также достаточной обеспеченностью сырьевой базы и возможностью круглогодичного использования. Для значимого улучшения и усовершенствования охраны окружающей среды, снижения себестоимости продукции сельского хозяйства и пищевой промышленности, разработки новых эффективных и доступных биопрепаратов активно используются возобновляемые источники биомассы. В связи с ужесточением требований к экологизации сельского хозяйства возрастает спрос на экологически безопасные природные биопрепараты.

В Институте химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН разработан экологически безопасный метод переработки растительного сырья способом эмульсионной экстракции с использованием водных растворов оснований. В технологическом цикле не используются токсичные и экологически опасные вещества и реагенты. Простота способа с использованием стандартного экстракционного оборудования позволяет получать недорогие препараты с высокой биологической активностью. Кроме того, оригинальная технология переработки растительного сырья позволяет в одном потоке выделить липиды и терпеноиды, эфирные масла и лигноуглеводный комплекс, а на их основе получать препараты для сельского хозяйства, ветеринарии, косметологии и органического синтеза (пищевые добавки и витамины, стимуляторы роста и средства защиты растений, адсорбенты). Нейтральные и кислые компоненты экстрактивных веществ обладают высокой физиологической активностью и могут быть использованы в качестве ростостимулирующих и фунгицидных препаратов, а также для создания основ лекарственных средств широкого спектра действия с иммуномодулирующей, антивирусной, противоязвенной активностью (полипренолы), с витаминной (каротиноиды) и бактерицидной активностью (монотерпеноиды). Технология комплексной переработки растительного сырья успешно внедрена на предприятии ООО «Научно-технологическое предприятие Института химии Коми НЦ УрО РАН». Выпускаемые в настоящее время биопрепараты на основе древесной зелени хвойных растений востребованы в растениеводстве и животноводстве РФ.

«ВЭРВА» – биологически активный препарат, получаемый из хвои пихты. При его применении урожайность овощных культур увеличивается в среднем на 20–25%, урожайность зерновых культур повышается в 1,5–2 раза. Благодаря применению биопрепарата при предпосевной обработке семян и опрыскиванию растений в период вегетации повышается всхожесть, снижается заболеваемость растений бактериальными и грибными инфекциями, ускоряется формирование корневой системы, возрастает устойчивость к влиянию неблагоприятных почвенно-климатических условий. В листьях обработанных культур повышается содержание хлорофилла, аскорбиновой кислоты и каротиноидов. Растения и плоды накапливают больше сахаров и витаминов, надолго сохраняют товарный вид. При длительном хранении урожай меньше подвергается порче и гнили.

Препарат «ВЭРВА-ель» обладает высокой фунгицидной эффективностью, применяется для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур,

получен из хвои ели. По степени своего воздействия препарат максимально приближается к химическим системным фунгицидам, отличаясь при этом полной экологической безопасностью и простотой использования. Опрыскивание семян и обработка посевов препаратом «ВЭРВА-ель» значительно снижает пестицидную нагрузку на почву от использования химических средств защиты растений. В растениях не происходит накопления нитратов и других вредных для здоровья человека химических соединений, повышается содержание сахаров и витаминов. Даже при длительном хранении растительная продукция надолго сохраняет товарный вид и не портится. Особенно активно проявляется стимулирующее действие препарата в неблагоприятных почвенно-климатических условиях. Он незаменим во время весенних возвратных заморозков, в жаркие засушливые периоды, при избыточном переувлажнении почвы и недостаточной сумме активных температур. Его действие помогает компенсировать влияние этих факторов, отрицательно сказывающихся на развитии растений.

Для домашних животных и птиц разработано два варианта природной кормовой добавки «ВЭРВА». Это жидкий экстракт и мука, полученные из хвои пихты. Их действие идентично и направлено на стимуляцию здорового развития молодняка, рост животных и птиц. Применение кормовой добавки повышает иммунитет и устойчивость животных и птиц к заболеваниям, увеличивает продуктивность. Кормовая добавка «ВЭРВА» – это экологически чистая альтернатива синтетическим антибиотикам, без которых не обходится содержание и выращивание домашних животных и птиц. Увеличивая в крови животных содержание гемоглобина и эритроцитов, она оказывает антистрессовое и иммуностимулирующее действие на организм в целом. В итоге это позволяет получать значительные прибавки в весе без увеличения кормового рациона. Использование кормовой добавки «ВЭРВА» при содержании дойных коров увеличивает надои молока и повышает его жирность. Регулярное применение добавки повышает возможности получения здорового потомства.

Препараты «ВЭРВА» и «ВЭРВА-ель» используются для стимуляции скорости роста сеянцев сосны и ели. Установлено, что обработка водным раствором препарата «ВЭРВА-ель» семян сосны перед посевом и внекорневое опрыскивание обеспечивает увеличение ростовых параметров и фитомассы сеянцев в лесных питомниках, позволяет получить сеянцы стандартных размеров в условиях низкого уровня плодородия пахотного слоя почвы на второй год после посева. Применение препарата повышает устойчивость хвойных сеянцев к болезням, вызываемым фитопатогенными грибами.

Значительные объемы сульфатно-целлюлозного производства и возможность осуществления сероочистки сульфатного скипидара позволяют рассматривать его как крупный источник терпеновых соединений. В состав сульфатного скипидара в качестве основных веществ входят терпены – альфа-пинен, бета-пинен, 3-карен и др., применяемые в качестве растворителей; терпеновые спирты и сесквитерпеноиды – исходные соединения для производства клеев, флотореагентов, биологически активных соединений, инициаторов полимеризации, ароматических отдушек в парфюмерии. В отличие от живичного, сульфатный

скипидар содержит легкокипящие сернистые соединения – метилмеркаптан, диметилсульфид и диметилдисульфид, имеющие неприятный запах и загрязняющие атмосферу территорий целлюлозно-бумажных предприятий. В настоящее время в России объем производства сульфатного скипидара составляет около 5000 т в год, несмотря на то, что только на АО «Сыктывкарский ЛПК» образуется около 1000 т в год сульфатного скипидара, которые не утилизируются и сбрасываются в воздух и воду или сжигаются, в результате чего также образуются вредные вещества, загрязняющие атмосферу. В то же время смесь сернистых соединений сульфатного скипидара может быть использована для получения одоранта природного и сжиженного газа – сульфана. Метилмеркаптан, диметилсульфид и диметилдисульфид являются исходными веществами для получения важных продуктов. В результате окисления диметилсульфида получают диметилсульфоксид – универсальный растворитель, экстрагент ароматических углеводородов из нефтепродуктов и медицинский препарат «Димексид» (противовоспалительное средство для наружного применения), а также диметилсульфон, обладающий противовоспалительным эффектом. Меркаптаны являются ценным сырьем для получения сульфохлоридов, которые применяются в производстве моющих средств, ионообменных смол, эластомеров, лекарственных средств, красителей, гербицидов; тиолсульфонатов, обладающих бактерицидной и фунгицидной активностями; сульфокислот, используемых для получения азокрасителей, лекарственных веществ, например, сульфаниламидных препаратов, а также ионообменных смол, гальванических добавок, катализаторов. Разработка эффективных способов переработки сернистых соединений позволяет решить экологические проблемы. Это имеет важнейшее значение не только для развития лесохимической отрасли промышленности, но и для развития лесного комплекса в целом, так как вносит значительный вклад в решение проблемы рационального использования лесных ресурсов Российской Федерации и защиты окружающей среды.

*Работа выполнена в рамках государственного задания № 122040600073-3 с использованием оборудования центра коллективного пользования «Химия» Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.*

## **РАЗРАБОТКА НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

***Ю. И. Рябков<sup>1</sup>, С. И. Булатов<sup>2</sup>, А. В. Кучин<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> Институт химии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук – обособленное подразделение  
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ryab23@mail.ru,*

*<sup>2</sup> ГАУ РК «Санаторий «Серегово»*

В материале представлены результаты исследований химиков-материаловедов Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по утилизации техногенных отходов и разработке новых материалов и технологий получения на



их основе полезных продуктов, приведены характеристики и направления их использования.

Ключевые слова: техногенные отходы, новые материалы, серобетон, бальнеотерапия, солевой продукт, сапрпель.

Приоритетным направлением исследований химиков-материаловедов Института химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН является разработка новых материалов и технологий получения на их основе полезных продуктов. В данной статье акцент сделан на решение важной экологической проблемы – снижение техногенной нагрузки, создаваемой крупными промышленными предприятиями, на окружающую среду. Обращают на себя внимание в первую очередь крупнотоннажные техногенные отходы, которые в силу разных причин не удается использовать.

Таким отходом, например, является сера, которая содержится в небольших количествах в нефти и газе, но в углеводородном сырье эта примесь является крайне вредной. После первичной переработки огромных количеств нефти и газа выделяется техническая сера – ценное сырье для химических веществ, резинотехнических изделий, медицины и сельского хозяйства. Однако при этом профицит серы составляет миллионы тонн ежегодно, что требует поиска новых способов ее использования. Нами были проведены исследования по разработке актуальных научно-технологических подходов к использованию серы Усинского нефтяного месторождения при производстве строительных материалов.

Сера является термопластичным веществом и в расплавленном состоянии она выполняет роль связующего для веществ различной природы, в результате чего получается плотный композиционный материал (серобетон, сероасфальт). В силу инертности серы и направленного выбора состава наполнителей этот материал можно использовать в качестве замены обычных гидротехнических бетонов, которые разрушаются под действием многих агрессивных химикатов.

При охлаждении до температур ниже 95,5 °С затвердевшая чистая сера самопроизвольно претерпевает аллотропные фазовые переходы из полимерной в моноклинную (бета) фазу и далее в ромбическую (альфа) фазу с уменьшением (до 7%) объема, при этом увеличение плотности монолита за счет усадки приводит к внутренним напряжениям материала и его механическому разрушению при нагрузке или ударе. Для подавления фазового перехода необходима модификация серы, которую проводят в расплавленном состоянии. Так, в результате взаимодействия с непредельными химическими соединениями (дициклопентадиеном (ДЦПД) и олигомерами циклопентадиена, преимущественно от тримера до пентамера, др.) удается частично подавить процессы перехода серы в ромбическую (альфа) фазу.

Предложенная в 50-е годы прошлого столетия технологическая схема получения серо-полимерного композита с разным успехом применялась в США, Канаде. В России эти исследования также ведутся несколько десятилетий (Оренбург, Астрахань, Казань, Москва), но массового распространения этот строительный материал не получил. В настоящее время выпущен ряд стандар-

тов (ГОСТ Р 59613-2021 Смеси серобетонные и серобетон. ТУ), которые открывают возможности промышленного применения композитных изделий на основе серного вяжущего материала. Конкурентным преимуществом изделий из серополимерного композита является безводная технология их производства, что позволяет проводить строительные-монтажные работы при отрицательных температурах и под водой. Прочностные характеристики и влагопоглощение соответствуют требованиям, предъявляемым к строительным материалам, предназначенным для использования в жестких климатических условиях Арктики.

Основной проблемой расширения применения таких композитов является сложность технологии подготовки (модификации) серы. Требуется жестко соблюдать температурно-временной режим процесса модификации серы и охлаждения заготовок изделий. В Институте химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН предложено использовать для модификации серы взамен дорогих и опасных модификаторов (ДЦПД, и других) отход глубокой переработки древесины, содержащий смесь терпеновых соединений (патент РФ 2817983).

Таким образом, в основе предложенной технологии предусмотрено использование нескольких видов техногенных отходов для получения кондиционной продукции – строительных конструкционных материалов – серы технической, отходов глубокой переработки древесины, отходов минерального сырья при его добыче и первичной переработке (отсев, минпорошок, т.п.).

Описанная технологическая схема получения изделий из серобетона применена для разработки технологии производства изделий из серного композитного материала при поддержке НОЦ «Российская Арктика».

В больших объемах накапливаются в медучреждениях отходы бальнеотерапевтических процедур.

К таким отходам относятся отработанная минеральная вода (ОМВ) и отработанная лечебная сапропелевая грязь (ОЛГ). Сброс этих отходов в общую систему канализации или в природные водоемы недопустим и требует организации специальных мест складирования.

Нами проведены исследования по оптимизации способов утилизации этих отходов. Предложены технологические схемы утилизации ОМВ, основанные на процессах выпаривания и осмотической деминерализации, которые положены в основу разработки технико-экономических обоснований для утилизации отработанной минеральной воды в ГАУ РК «Санаторий Серегово».

На основе анализа промышленных технологических схем деминерализации и коммерческих предложений производителей соответствующего оборудования обоснован выбор оптимального по энергоёмкости, с высоким КПД и экономически оправданного способа утилизации ОМВ методом упаривания. Для сравнения проведены расчеты реализации наиболее близкого по финансовым затратам и использованию энергетических ресурсов комплексного способа, сочетающего стадии осмотической деминерализации и упаривания. Принципиальным ограничением способа осмотической деминерализации является его эффективность для очистки низкоминерализованных вод (не более 30 г/л).

Предложенный способ термического обессоливания высокоминерализованных стоков отработанной минеральной воды позволяет получать новые продукты и использовать их в технических целях.

1. Отход Солевой продукт, код ФККО 9 41 401 54 49 4, классифицирован как отходы натрия хлористого при технических испытаниях и измерениях, прочие сыпучие материалы. Класс опасности IV. Определен полный компонентный состав. Основные компоненты – соли: хлорид натрия (625,0 г/кг), хлорид магния (220,2 г/кг), карбонат и хлорид кальция (11,2 г/кг). Содержание соединений тяжелых и токсичных металлов – на уровне следов. Биотестирование подтвердило нетоксичность разбавленного (1:100) водного раствора солевого продукта.

Предложена схема получения Солевого продукта с биологически активной добавкой адаптогенного и антиоксидантного действия (САД). Состав (САД): 95–99% солевого продукта, 1–5% БАД адаптогенного и антиоксидантного действия. Состав БАД адаптогенного и антиоксидантного действия защищен патентами РФ № 2649776, № 2630980. Состав и способ изготовления САД находится в режиме коммерческой информации (техническое «ноу-хау») в Институте химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Разработана и опробована совместно с Институтом физиологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и ГАУ РК «Санаторий «Серегово» методика применения данного материала: растворение брикетов САД в воде для создания заданной концентрации минеральных солей (20–30 г/л) и биологически активной добавки адаптогенного и антиоксидантного действия (1,5–2,5 мг/л) с целью проведения оздоровительно-реабилитационных процедур, принятия ванн.

Кроме этого, соль технической чистоты широко применяется в качестве противообледенительного компонента в смесях с каменной крошкой, песком для обеспечения безопасности на дорогах.

2. Второй отход термической деминерализации ОМВ – вода технологическая с минерализацией 50–250 мг/дм<sup>3</sup> (в зависимости от типа выпарной установки), пригоден для повторного использования для питания парогенератора выпарной установки, либо для разбавления природных рассолов до лечебных концентраций для бальнеотерапевтических (ванных) процедур, для хозяйственно-бытовых целей.

По результатам проведенных исследований нами разработано технико-экономическое обоснование организации производства по утилизации отработанной минеральной воды (ОМВ), которое необходимо для проектирования технологического комплекса утилизации отходов ОМВ на предприятиях курортного лечения.

3. В больших количествах на предприятиях курортного лечения в виде отходов накапливаются отходы от лечебных грязей. Отход отработанная лечебная сапропелевая грязь (ОЛГ) – отходы сапропели соответствует требованиям ФККО (код 9 48 101 91 20 4), что позволяет отнести данные отходы сапропели к категории Малоопасные вещества, что допускает вывоз отхода сапропели любой влажности на полигоны ТПО или ТКО. Наряду с твердым отходом ОЛГ образуются значительные объемы грязевых сбросов, представляющих собой

суспензию высокодисперсных частиц, которые загрязняют канализационные системы.

Нами разработана технологическая схема коагуляции грязевых сбросов (с использованием промышленных коагулянтов – сульфата алюминия/магния и полиакриламида). После 20-минутного осветления получен осадок, который дообезвоживался по технологической схеме мешкового обезвоживания и далее подвергался гранулированию.

Грануляция отхода сапропели влажностью 60–67% проводится по схеме: протирка сапропелевой массы через крупную сетку (размер ячейки 1,0–2,0 мм), сушка в потоке горячего воздуха в течение 20 ч при температуре не ниже 20 °С и затаривание полученных гранул в мешки из тканого полотна (по 25 кг).

Гранулированный продукт из отхода сапропеля влажностью 17–25% рекомендуется для использования в качестве природного органоминерального удобрения и улучшителя почвы. Потенциальные потребители – предприятия сельского хозяйства (промышленные и индивидуальные хозяйства).

В результате доработки технологической схемы переработки ОЛГ получен продукт – вода сточная неочищенная техническая, в котором по сравнению с отходом вода сточная неочищенная уменьшено количество взвешенных частиц до 220 г/дм<sup>3</sup> и повышено значение рН до 6,8–7,0. Данные величины соответствуют нормативным значениям для сточных вод, что позволит использовать отход вода сточная неочищенная техническая в качестве технологической воды для различных хозяйственно-бытовых целей за исключением приготовления пищи и напитков или для сброса в централизованную систему канализации.

Итак, наработаны опытные образцы продуктов переработки ОМВ и ОЛГ: солевой продукт (IV класс опасности), отход сапропеля (IV класс опасности), вода сточная очищенная (V класс опасности), вода сточная очищенная техническая (V класс опасности). Для каждого продукта, полученного при переработке отходов, определен полный компонентный состав, обоснован класс опасности отхода, определены направления технического использования, разработаны паспорта отходов.

Разработаны практические рекомендации по техническому использованию отдельных продуктов (компонентов), полученных после переработки отходов производства – ОМВ и ОЛГ, включая направления коммерческого использования продуктов переработки отходов, предложены технологические схемы изготовления продуктов с потребительскими свойствами: Солевой продукт с биологически активной добавкой адаптогенного и антиоксидантного действия (САД) (декларация о соответствии ЕАЭС № RU Д- RU.PA01.B.34469/21); Солевые смеси для приготовления минеральных ванн; Солесодержащие антиобледенительные смеси; Солевая минеральная добавка для кормов животных; Гранулированный улучшитель почв на основе сапропеля; Сапропель, обогащенный ростстимулирующей добавкой «Вэрва» (декларация о соответствии РОСС RU Д- RU.AГ82.B.01491/19); Сапропель, обогащенный ростстимулирующей добавкой «Вэрва-Ель» (декларация о соответствии РОСС RU Д- RU.AГ82.B.01438/19).

Внедрение технологических схем производства коммерческих изделий на основе отхода солевой продукт снизит количество потребляемого природного ресурса солевых рассолов, для части технических продуктов существенно снизит расходы электроэнергии, затрачиваемые на упаривание и сушку до 12–17% солевого осадка и снизит объемы отхода солевого продукта, предназначенного для вывоза на полигоны ТПО или ТКО.

К вторичным сопутствующим продуктам следует отнести отход вода сточная очищенная и отход вода сточная очищенная техническая. Образование других вторичных ресурсов, выделяющихся при упаривании рассолов – пар, тепловая энергия, необходимо учитывать при проектировании и организации работы опытно-промышленных установок по переработке ОМВ и ОЛГ.

Таким образом, на основе анализа научно-технической и патентной литературы научно обоснованы, доработаны и экспериментально апробированы технологические схемы переработки техногенных отходов (отработанная минеральная вода и отработанная лечебная грязь), которые обеспечивают полное соответствие характеристик получаемых из отходов продуктов требованиям природоохранного законодательства к малоопасным и неопасным материалам.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № 122040100040-0) и научно-образовательного центра мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования» с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Химия» Института химии Коми НЦ УрО РАН.*

## **РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА С БИНАРНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ**

*С. Н. Данилова<sup>1</sup>, А. А. Охлопкова<sup>1</sup>, С. Б. Ярусова<sup>2</sup>, А. А. Дьяконов<sup>1,3</sup>,  
А. П. Васильев<sup>1</sup>, П. С. Гордиенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,  
dsn.sakhayana@mail.ru,*

<sup>2</sup> *Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
yarusova\_10@mail.ru,*

<sup>3</sup> *Институт физико-технических проблем СО РАН имени В. П. Ларионова,  
dsn.sakhayana@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования влияния бинарного наполнения на физико-механические и трибологические свойства сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Бинарный наполнитель представляет собой синтетический волластонит  $\text{CaSiO}_3$  из техногенного отхода и 2-меркаптобензтиазол (МБТ). Установлено, что применение бинарного наполнителя приводит к повышению износостойкости полимерных композиционных материалов на основе СВМПЭ. Разработанные композиты характеризуются

увеличением прочности при сжатии и модуля упругости относительно исходной полимерной матрицы, при сохранении эластичности материала.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, полимерные композиционные материалы, техногенный отход, борогипс, волластонит, 2-меркаптобензтиазол.

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) находят широкое применение во всех отраслях жизнедеятельности человека. В настоящее время из ПКМ все чаще изготавливают конструкционные материалы в виде деталей и комплектующих элементов для техники, приборов, сооружений, транспорта и технологического оборудования. При создании таких материалов надо учитывать выбор полимерной матрицы, от свойств которой зависят технические характеристики получаемого изделия и области применения. Наиболее перспективным полимером для изготовления ПКМ выступает сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ), что обусловлено его уникальными свойствами, такими как: высокая прочность, химическая инертность и износостойкость. Однако изделия из СВМПЭ не обладают достаточно высокими значениями комплекса функциональных свойств. В настоящее время использование оптимального сочетания различных по природе и геометрии наполнителей в полимерной матрице позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики ПКМ за счет их синергического эффекта.

В качестве полимерной основы использовали СВМПЭ марки GUR-4022 (Celanese, Китай) с молярной массой 5 млн г/моль. В работе в качестве бинарного модификатора СВМПЭ использовали синтетический волластонит, полученный гидротермальным методом из техногенного отхода – борогипса, в сочетании с органическим компонентом – 2-меркаптобензтиазолом (МБТ) (ГОСТ 739-74). Композиты получали методом горячего прессования при температуре 175 °С и давлении 10 МПа, при выдержке в течение 20 мин. Исследования физико-механических и трибологических свойств ПКМ были проведены по стандартным методикам. Соотношение и концентрация наполнителей в СВМПЭ приведена в таблице.

*Таблица*

**Состав ПКМ и содержание наполнителей, мас. %**

Композит	СВМПЭ	МБТ	Волластонит
1	100	–	–
2	99,5	0,5	–
3	99,5	–	0,5
4	99	0,5	0,5
5	98,5	0,5	1
6	97,5	0,5	2
7	94,5	0,5	5

*Примечание:* прочерки означают отсутствие компонента.

Введение бинарного комплекса наполнителей представляет собой перспективное направление исследований при создании новых материалов с улучшенным комплексом свойств. Бинарный комплекс наполнителей состоит из двух или более различных компонентов, которые могут взаимодействовать друг с другом и с полимерной матрицей на молекулярном уровне. Это взаимодействие может приводить к существенному улучшению свойств материала по сравнению с материалами, содержащими только один наполнитель. Исходя из этого, формируется научный интерес к изучению влияния бинарного наполнения на физико-механические свойства ПКМ. Физико-механические свойства ПКМ с вышеуказанным бинарным комплексом наполнителей представлены на рисунке 1.

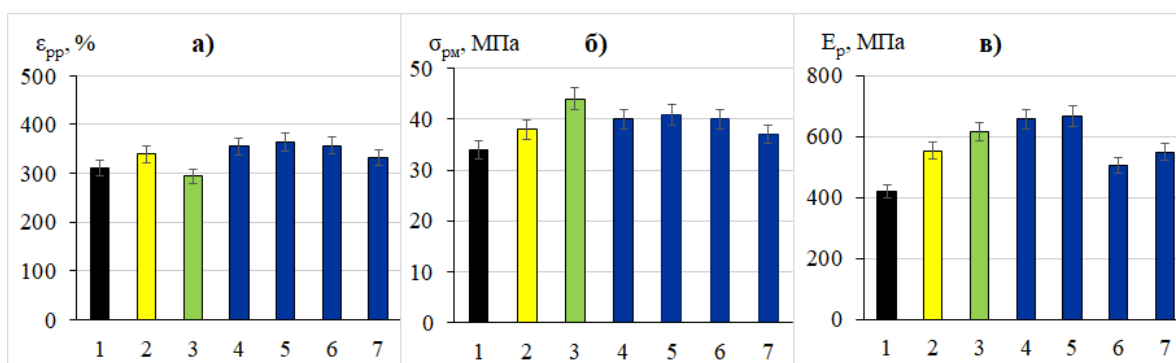


Рис. 1. Физико-механические свойства СВМПЭ и ПКМ:

а)  $\varepsilon_{pp}$ , % – относительное удлинение при разрыве; б)  $\sigma_{pm}$ , МПа – прочность при растяжении; в)  $E_p$ , МПа – модуль упругости

Установлено, что введение бинарного наполнителя в СВМПЭ способствует оптимальному увеличению деформационно-прочностных характеристик ПКМ. Так, наблюдается повышение относительного удлинения при разрыве на 17%, прочности при растяжении – на 20% и модуля упругости – на 59% относительно исходного СВМПЭ. В случае композита, наполненного МБТ, наблюдается максимальное увеличение прочности при растяжении на 29%. Значения относительного удлинения и модуль упругости не меняются, т. е. находятся на уровне исходной матрицы.

Трибологические свойства полученных композитов приведены на рисунке 2.

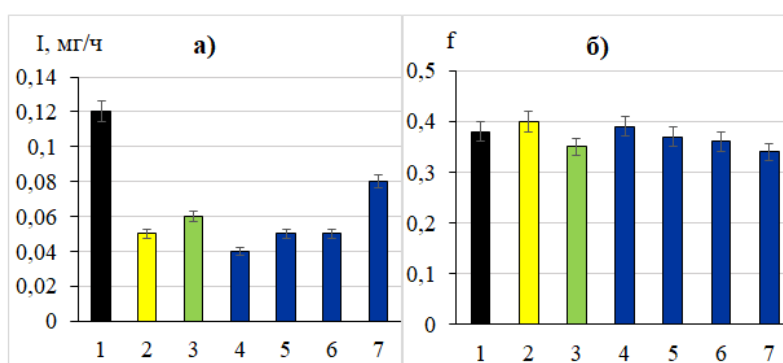


Рис. 2. Трибологические свойства образцов:

а) I, мг/ч – скорость массового изнашивания; б) f – коэффициент трения

На основании трибологических исследований выявлено, что введение бинарного комплекса наполнителей сопровождается наибольшим снижением скорости массового изнашивания в 3 раза относительно исходного СВМПЭ, по сравнению с остальными композитами. При этом установлено, что коэффициент трения композитов с бинарным комплексом наполнителя остается на уровне исходного СВМПЭ. Повышение свойств ПКМ, возможно, связано с улучшением межфазного взаимодействия в системе «полимер-наполнитель» и релаксационным эффектом матрицы за счет мягкого наполнителя МБТ.

Разработанные материалы с техногенным волластонитом и органическим модификатором могут быть предназначены для изготовления уплотнительных деталей и узлов трения техники и автотранспорта, что будет способствовать повышению ресурса и срока службы эксплуатации изделий по сравнению со стандартными аналогами.

## **ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВОК К ДОРОЖНОМУ БИТУМУ**

*М. П. Красновских, Э. Ю. Горина, Д. В. Иванов, И. Г. Мокрушин*  
*Пермский государственный национальный исследовательский университет,*  
*krasnovskih@yandex.ru*

Рассмотрено использование продуктов медленного пиролиза полиэтилена высокого давления (ПВД) и резины из отработанных покрышек в качестве добавок-модификаторов дорожного битума. Определена адгезия модифицированных битумов к минеральному заполнителю. Получены образцы асфальтобетона с применением модифицированных битумов, оценена токсичность для окружающей природной среды.

Ключевые слова: отработанные покрышки, ПВД, ПВХ, пиролиз, битум, адгезионные свойства, асфальтобетонная смесь, токсичность.

Утилизация полимеров с получением новых продуктов является важной частью современной экономики замкнутого цикла и соответствует принципам устойчивого развития. Стоит отметить, что отделить при сортировке на практике материалы, содержащие гетероатомы, примерами которых является ПВХ и резина покрышек, зачастую невозможно. Полиэтилен высокого давления (ПВД), поливинилхлорид (ПВХ) и резина из отработанных покрышек являются одними из наиболее широко используемых полимерных материалов в производстве различных товаров, поэтому их утилизация и повторное использование становятся все более значимыми [1, 2]. Поэтому одним из перспективных может быть переработка отходов таких полимеров в востребованные продукты.

В настоящее время качеству дорожного покрытия уделяют большое внимание. Основным дорожно-строительным материалом, используемым при устройстве асфальтобетонного покрытия, является асфальтобетон, в производ-



стве которого применяется дорожный битум. Термические методы утилизации, позволяющие вовлечь материальный потенциал отработанных полимеров за счет термохимической деструкции органических молекул, на сегодняшний день становятся все более актуальными. Например, использование медленного пиролиза под давлением полимерных отходов, таких как полиэтилен или резина отработанных покрышек, позволяет получить продукты, совместимые с битумом для дальнейшего использования в производстве асфальтобетона. Для улучшения процессов пиролиза в отходы могут добавляться мазут, растительные масла или иные полимеры [3, 4].

Для определения влияния модификаторов и для оценки возможности их применения в составе битумов необходимо исследование свойств битумных вяжущих после внесения добавок – модификации. Адгезионные свойства битума играют существенную роль в обеспечении прочности и долговечности дорожных покрытий, поэтому необходима оценка влияния добавок на данный показатель.

Битум был модифицирован продуктами медленного пиролиза отходов полиэтилена высокого давления, а также резины отработанных покрышек с добавками мазута, растительного масла или поливинилхлорида. Для проверки адгезионных свойств использовался ГОСТ 11508-74, метод «пассивного сцепления». Образец битумоминеральной смеси помещался на металлическую сетку, затем сетку опускали в кипящую дистиллированную воду и выдерживали в течение 30 минут, высушивался и сравнивался с контрольным образцом. Покрытие поверхности согласно методики фиксировалось визуально, результаты приведены в таблице.

*Таблица*

**Данные исследования адгезионных свойств модифицированных битумов**

№ образца модиф. битума	1	2	3	4	5
Компоненты, соотношение (%/%) и условия медленного пиролиза (t, °C) *	1	2	3	4	5
Количество добавляемого модификатора	Полиэтилен высокого давления (ПВД), 590	Резиновая крошка + мазут (67/33), 380	Резиновая крошка + ПВХ (80/20), 400	Резиновая крошка + растительное масло (67/33), 400	БНД 60/90 – образец сравнения
Оценка равномерности покрытия минерального материала – адгезионных свойств битумов	5	20	20	20	–

*Примечание:* \*модификаторы получены в ходе медленного пиролиза.

По представленным данным можно заключить, что адгезия исходного битума при введении модификаторов не снижается. Стоит отметить, что образцы битума с модификаторами № 1, 3 и 4 проявили себя лучше, а значит могут быть использованы для создания битумных смесей и в дальнейшем асфальтобетона, обеспечивая более длительный срок службы покрытия.

Не менее важным фактором при оценке потенциального применения модификаторов является определение токсичности асфальтобетона, полученного с применением модифицированных битумов, для окружающей среды. Был получен ряд лабораторных образцов асфальтобетона для проведения исследований методом биотестирования на дафниях *Daphnia magna* St и водорослях *Scenedesmus quadricauda* (Turp). Vreb, внешний вид образцов (№ 1 и 3) представлен на рисунке.



Рис. Внешний вид образцов асфальтобетона 1 (слева) и 3 (справа)

Условия проведения анализа: условия проведения биотестирования, показатели качества разбавляющей (культивационной, дистиллированной) воды, а также значения водородного показателя (рН), температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ), концентрации растворенного кислорода ( $\text{мг/дм}^3$ ), минерализации ( $\text{г/дм}^3$ ) исследуемых водных вытяжек в начале и при завершении эксперимента соответствуют установленным методиками и пределам оптимальных значений.

После проведения испытания на оценку токсичности установлено, что ингибирование численности клеток водорослей не превышает 20%, а гибель дафний не превышает 50% за 96 часов. В соответствии с «Критериями отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды» (Утверждены приказом МПР от 04.12.2014 № 536) данные пробы по кратности разведения водной вытяжки: на водорослях 1, на дафниях 1 – относятся к пятому, практически неопасному классу опасности для окружающей природной среды.

Можно заключить, что модификаторы, полученные из полимерных отходов медленным пиролизом, могут быть использованы в смесях с битумом. Данное решение позволит снизить нагрузку на окружающую среду, а материальный ресурс полимерных отходов направить в новые продукты с добавленной стоимостью в соответствии с общими тенденциями экономики и экологии.

#### Библиографический список

1. Recycling of polymer waste in the context of developing circular economy / E. Gubanova, L. Kupinets, H. Deforz et al. DOI: 10.21307/ACEE-2019-055 //Architecture, Civil Engineering, Environment. 2019. Vol. 12. No. 4. P. 99–108.

2. Российский рынок пластика и пластиковых отходов / О. А. Сперанская, О. А. Понизова, Я. Г. Гурский, О. Ю. Цитцер // Твердые бытовые отходы. 2021. № 12 (186). С. 42–47.

3. Production of an alternative fuel by the co-pyrolysis of landfill recovered plastic wastes and used lubrication oils / S. Breyer, L. Mekhitarian, B. Rimez, B. Haut. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.12.011 // Waste Management. 2017. Vol. 60. P. 363–374.

4. Influence of nanostructural modifier from automobile tires on consumer properties of bitumen / A. A. Ketov, M. P. Krasnovskikh, E. V. Kalinina et al. DOI: 10.15828/2075-8545-2023-15-3-267-273 // Nanotechnologies in construction. 2023. Vol. 15. No. 3. P. 267–273.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНЫХ БАЗ ДАННЫХ**

*И. А. Гордионов, В. А. Бродский*

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
vladimir\_brodsky@mail.ru*

В статье описывается процесс разработки базы данных для водоподготовки и очистки стоков. База данных содержит информацию о различных типах сточных вод и отходов, их классификации по ФККО. В базу данных входит нормативная документация по очистке воды, присутствует информация о методах и технологиях очистки, блок-схемах и технологических схемах, реагентах, оборудовании, датчиках контроля.

Ключевые слова: база данных, водоподготовка, очистка стоков.

Очистка сточных вод и отработанных технологических растворов является ключевым фактором обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития. Такая вода всегда должна отвечать определенным требованиям установленной нормативной документации и ее необходимо очищать соответствующим образом. Причем требования к качеству воды могут значительно варьироваться в зависимости от ее назначения. Поэтому быстрый инжиниринг и проектирование систем водоподготовки в настоящее время обретает все большую значимость [1, 2].

Для разработки аппаратно-технологических схем важно верно выбрать методы очистки и подобрать необходимое оборудование, системы контроля и реагенты для очистки сточных вод и отработанных технологических растворов. В современной индустрии водоподготовки и очистки стоков используется широкий спектр оборудования, отличающегося по своим характеристикам, принципам работы и целевому назначению. На процесс выбора оборудования для водоподготовки и очистки стоков влияет множество факторов: требования, предъявляемые к очищенной воде, качество исходной воды, производительность установки для процессов водоподготовки и очистки стоков, режим водопотребления, наличие площадей для размещения оборудования на предприятии, наличие и размеры подводящих/отводящих трубопроводов и канализации,

наличие электропитания и его мощности, давление в водопроводной системе, состояние действующего оборудования для водоподготовки и очистки стоков.

С помощью базы данных для водоподготовки и очистки стоков пользователь сможет получать на выходе аппаратно-технологические схемы, а также спецификацию оборудования для водоподготовки и очистки стоков. В базе данных будет храниться вся информация об оборудовании, реагентах, системах контроля, методах и перспективных технологиях очистки.

Разрабатываемое программное обеспечение будет делиться на две части: Back-end и Front-end. Back-end включает в себя логическую часть, для реализации которой используются: язык программирования Python, база данных PostgreSQL, система поддержки принятия решений, веб-фреймворк Django. Работа с массивами и таблицами осуществляется с помощью библиотеки Pandas, для работы с анализом данных используется библиотека SciPy, а для математических расчетов NumPy. Front-end состоит из графической части интерфейса, для реализации которой используются: язык гипертекстовой разметки для страниц веб-сайтов HTML, язык программирования JavaScript. Для оценки построения аппаратно-технологических схем будет использовано программное обеспечение CHEMCAD.

Одним из преимуществ баз данных для систем водоподготовки и очистки стоков является возможность интеграции с другими системами управления, такими как системы автоматизации и контроля процессов очистки. Это позволяет создать единую информационную среду, в которой все данные о воде и стоках хранятся в одном месте и могут быть доступны различным пользователям, таким как операторы, инженеры и управляющий персонал. Кроме того, базы данных обеспечивают хранение данных в структурированной форме, что упрощает и ускоряет поиск и обработку информации. Это позволяет быстро получать необходимые данные для принятия оперативных решений и обратной связи с клиентами и контролирующими органами [3, 4].

Одно из важнейших перспективных применений баз данных для систем водоподготовки и очистки стоков – это построение на их основе аппаратно-технологических схем. Внедрение подобного программного обеспечения позволит ускорить развитие промышленности, снизить затраты на организацию новых систем по водоподготовке и очистке стоков, повысить их эффективность [5, 6].

В разрабатываемой базе данных присутствует информация о классификации отходов по ФККО, нормативной документации, методах очистки, блок-схемах технологических процессов, реагентах, используемых для очистки сточных вод и отработанных технологических растворов, оборудовании, системах контроля и аппаратно-технологических схемах.

Таким образом, база данных должна состоять из нескольких таблиц и блоков. В данном случае база данных включает в себя десять блоков с информацией о вводе и выводе исходных данных пользователем, классификации отходов по ФККО, требованиях к очищаемой воде в соответствии с определенной нормативной документацией, методах очистки, блок-схемах процесса, реактивах, оборудовании, системах контроля и аппаратно-технологических схемах, ис-

пользуемых в процессах водоподготовки, очистке стоков и отработанных технологических растворов. Структура типовых элементов базы данных представлена на рисунках 1 и 2.



Рис. 1. Блок обработки исходных данных

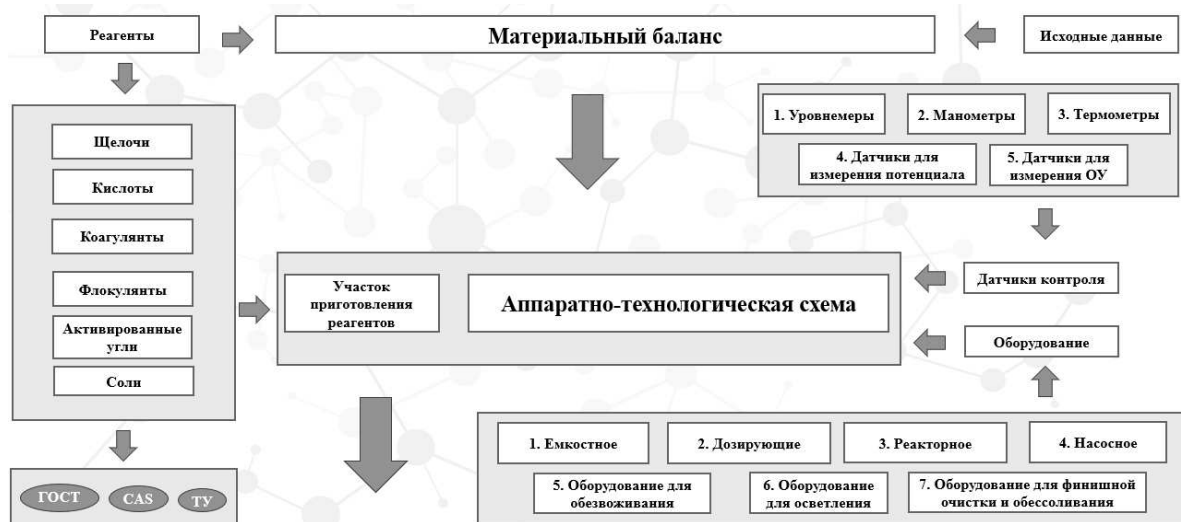


Рис. 2. Блок расчета материального баланса и выбора технологии

Сервисная часть базы данных включает в себя всю информацию, необходимую для построения аппаратно-технологических схем, а именно, базы данных: ФККО, нормативные документы, методы очистки, реактивы, оборудование и схемы. Клиентская часть базы данных включает в себя всю информацию о входных и выходных данных

В исходных данных пользователь задает информацию о составе отхода, производительности и режиме функционирования, если это сточные воды. Если

требуется очистка отработанных технологических растворов, то задаются такие параметры, как: состав отхода, паспорт отхода, классификация отхода по ФККО, производительность и режим функционирования. На выходе пользователь получает аппаратно-технологическую схему и блок-схему процесса, а также спецификацию оборудования.

Таким образом, благодаря полученной базе данных, можно подбирать оборудование, аппаратно-технологическую схему процесса, а также проводить анализ и выявлять нарушения по нормативной документации. Стадия подбора оборудования включает использование стандартных блок-схем для осуществления процессов переработки жидких концентрированных и разбавленных отходов различного состава. В качестве примера представлена блок-схема очистки хромсодержащего техногенного отхода (код отхода по ФККО 3 63 441 12 10 2), рисунок 3.

I ступень очистки			II ступень очистки					III ступень очистки							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Усреднение	Коррекция pH до 2-3 значений	Восстановление	Коррекция pH до 6-7 значений	Осаждение соединений хрома	Коагуляция	Флокулирование	Обезвоживание осадка	Коррекция pH до 9-10 значений	Осаждение цветных и черных металлов	Коагуляция	Флокулирование	Обезвоживание осадка	Фильтрация	Коррекция pH до 7	Обессоливание

Рис. 3. Вариант осуществления процесса очистки хромсодержащих сточных вод

В качестве результата работы базы данных пользователь получает материальный баланс, блок-схему и принципиальную схему технологического процесса, заказную спецификацию оборудования и систем контроля, перечень необходимых реагентов с учетом производительности технологического процесса, качественных и количественных характеристик перерабатываемого отхода.

#### Библиографический список

1. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. 90 с.
2. Elsayed M., Abdel-Raouf M. E.-S. Wastewater Treatment Methodologies // International Journal of Environment & Agricultural Science. 2019. P. 18.
3. Ghernaout D., Aichouni M., Alghamdi A. Applying Big Data in Water Treatment Industry: A New Era of Advance // International Journal of advanced and applied sciences. 2018. Vol. 5. P. 89–97.
4. Toward modeling and optimization of features selection in Big Data based social Internet of Things / A. Ahmad, M. Khan, A. Paul et al. // Future Generation Computer Systems. 2017.
5. Chen Y., Han D. On big data and hydroinformatics // Procedia Engineering. 2016. Vol. 154. P. 184–191.
6. Dhote J., Ingole S., Chavhan Dr. A. Review on Waste Water Treatment Technologies // International Journal of Engineering Research and Technology. 2012. Vol. 1.

# ИЗВЛЕЧЕНИЕ МАЛОРАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ БАРИЯ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИИ С ЦЕЛЮ ИХ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Ю. О. Малькова, В. А. Бродский, А. В. Перфильева, П. Н. Кисиленко  
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
juli.malkova@mail.ru*

В статье представлены исследования влияния физико-химических характеристик дисперсной фазы на эффективность электрофлотационного извлечения свежесажженных малорастворимых соединений бария из сточных вод. Произведен подбор оптимальных технологических условий электрофлотации для очистки промышленных стоков от свежесажженных  $\text{BaCrO}_4$  и  $\text{BaSO}_4$  индивидуально, а также в присутствии малорастворимых соединений меди (II), никеля (II), железа (III), хрома (VI), цинка (II), бария (II). Экспериментальные исследования показали, что осаждение и выделение данных компонентов позволяет снизить содержание хрома в составе хромсодержащих стоков в случае удаления хромата бария из сточных вод на 99,7% по хрому (VI). При этом эффективность извлечения сульфата бария составляет 99,6% с последующей фильтрацией.

Ключевые слова: барий (II), хромат бария, сульфат бария, хром (VI), хром (III), дисперсная фаза, электрокинетический потенциал, размер частиц, электрофлотация

Хромат бария является одним из основных компонентов пиротехнических составов, используемым для замедления горения таких композиций. В том числе он используется в качестве замедлителя для ракетного топлива [1]. В гальваническом производстве данная соль используется в качестве поглотителя сульфатов в процессе гальванического хромирования. Добавление хромата бария увеличивает срок службы ванны, увеличивая концентрацию хромовой кислоты, удаляя избыток сульфата и не вызывая при этом повышения pH в ванне [2]. Хромат бария содержится в промывных водах и ваннах улавливания при пассивировании цинковых покрытий [3]. Хромат бария выступает в роли антикоррозионного пигмента-ингибитора, повышающего антикоррозионные свойства таких покрытий даже при нарушении их сплошности [4].

В свою очередь, сульфат бария является не менее ценным для промышленности соединением. Он является важным компонентом для отрицательной электродной пасты свинцово-кислотного аккумулятора [5]. Благодаря своей высокой отражательной способности  $\text{BaSO}_4$  представляет интерес и практическую значимость в качестве светоотражающего пигмента на терморегулирующих покрытиях космических аппаратов и ракет [6].

В результате деятельности таких предприятий происходит попадание данных соединений в различные водные объекты со сточными водами. Таким

образом, из ценных продуктов содержащиеся малорастворимые соединения бария превращаются в достаточно токсичные и опасные загрязнители вместе с остальными ионами тяжелых и цветных металлов. Хромат бария относится к соединениям шестивалентного хрома и относится ко II классу опасности [7]. При попадании внутрь организма человека и дальнейшем его переходе под действием кислоты желудка в растворимую форму приводит к сильнейшей интоксикации и ожогу слизистой желудка и кишечника. Попадание частиц хроматов в дыхательные пути может вызвать повреждение слизистых оболочек носа и самих дыхательных путей. Попадание ионов бария в организм человека вызывает гипокалиемию; полисульфидные производные бария угнетают клеточное дыхание подобно цианидам. При отравлении повышается проницаемость сосудов, что приводит к кровоизлияниям и отекам, поражению нервной системы. Все соли бария высокотоксичны, за исключением нерастворимого сульфата бария [8].

В качестве объекта исследований были выбраны модельные растворы свежесаженных хромата и сульфата бария:

1)  $C(\text{BaSO}_4) - 50 \text{ мг/л}$ ;  $C(\text{электропроводящей добавки } \text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$ ;

2)  $C(\text{BaCrO}_4) - 50 \text{ мг/л}$ ;  $C(\text{электропроводящей добавки } \text{Na}_2\text{SO}_4) - 1 \text{ г/л}$ ;

в том числе и в составе многокомпонентных систем: система, содержащая ионы  $\text{Cu}^{2+} - \text{Ni}^{2+} - \text{Fe}^{3+} - \text{Cr}^{6+} - \text{Zn}^{2+}$  и смесь фоновых солей  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaCl}$ , где  $C_{\Sigma \text{Me}} = 200 \text{ мг/л}$ ;  $C_{\Sigma \text{ соль}} = 200 \text{ г/л}$ ; соотношение содержания металлов –  $[\text{Me}_1] : [\text{Me}_2] : [\text{Me}_3] : [\text{Me}_4] : [\text{Me}_5] = 1 : 1 : 1 : 1 : 1$ .

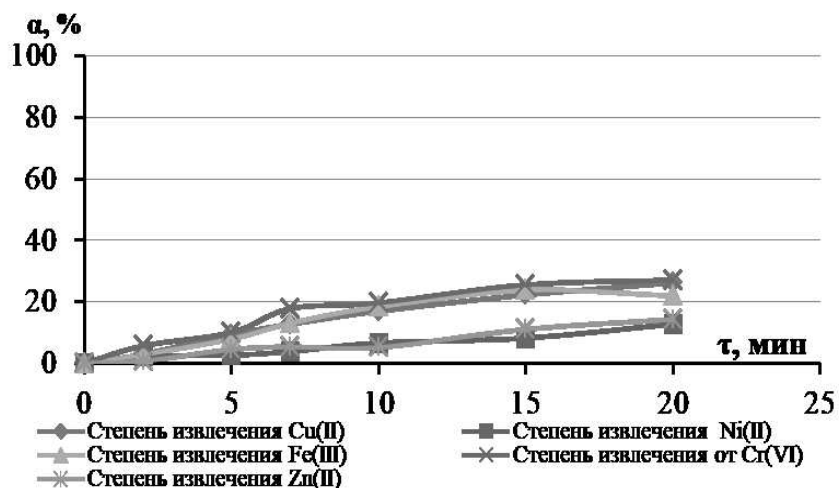
Проводились исследования влияния значений pH среды, исходной концентрации соли, физико-химических характеристик дисперсной фазы на эффективность электрофлотационного извлечения свежеприготовленного хромата бария и сульфата бария соответственно. Установлено влияние pH водных растворов на растворимость, электрокинетический потенциал и значения среднего гидродинамического диаметра хромата и сульфата бария индивидуально и в составе многокомпонентных систем.

Исследования физико-химических характеристик дисперсной фазы  $\text{BaCrO}_4$  помогли выбрать оптимальный pH ( $\text{pH} = 9$ ) для проведения дальнейших экспериментов. При данном pH наблюдалось снижение значений электрокинетического потенциала ( $\zeta \sim -11,6 \text{ мВ}$ ), и наблюдался пик значений среднего гидродинамического диаметра частиц дисперсной фазы ( $d_{\text{aw}} \sim 17 \text{ мкм}$ ). Аналогичные исследования были проведены для  $\text{BaSO}_4$ , которые показали, что оптимальный pH также равен 9; значения  $\zeta$ -потенциала примерно равны  $-25 \text{ мВ}$ , а  $d_{\text{aw}} - 38 \text{ мкм}$ .

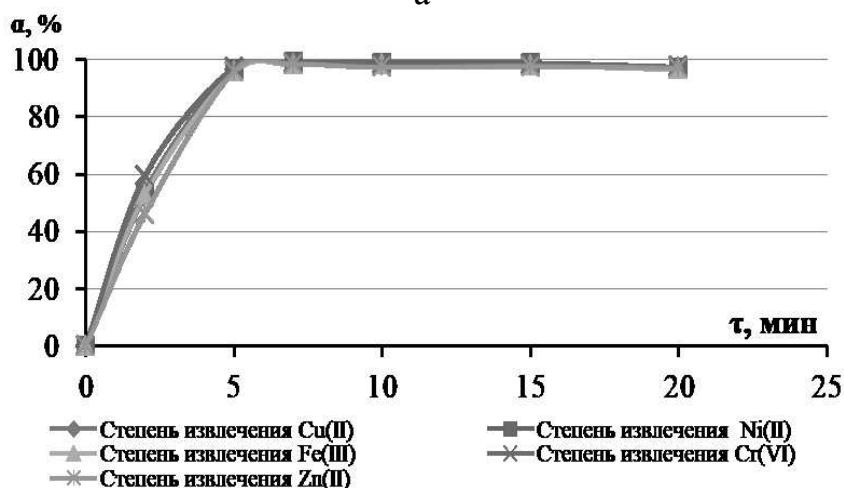
Проведенные исследования влияния концентрации электролитов на извлечение хромата и сульфата бария в составе многокомпонентной системы в присутствии других ионов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) методом электрофлотации и последующей фильтрации показали, что увеличение концентрации электролитов приводит к подавлению электрофлотационной активности. Степень извлечения снижается с 93–99% до 26–27% по всем компонентам. При этом в реальных сточных водах концентрация электролитов достигает 200 г/л, поэтому актуальной задачей является изучение способов повышения электрофлотаци-



онной активности в таких системах. Для этого были проведены исследования кинетических закономерностей эффективно электрофлотационного процесса в присутствии флокулянтов различной природы. На рисунке представлены результаты электрофлотационного процесса без флокулянта и в присутствии наиболее эффективного анионного флокулянта на примере системы  $\text{BaCrO}_4 - \text{Cu}^{2+} - \text{Fe}^{3+} - \text{Ni}^{2+}$  в электролите  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$  200 г/л.



а



б

Рис. Кинетические закономерности извлечения дисперсной фазы  $\text{BaCrO}_4$  в составе многокомпонентной системы. Условия проведения эксперимента:  $C_{\Sigma \text{Me}} = 200$  мг/л;  $C_{\Sigma \text{соли}} = 200$  г/л;  $[\text{NaCl}] : [\text{Na}_2\text{SO}_4] = 1 : 1$ ;  $C_{\text{флок}} = 5$  мг/л;  $i_{\text{об}} = 0,4$  а/л; pH – 9. а – без флокулянта, б – в присутствии флокулянта анионной природы (Superfloc A-110)

В таблице показано влияние природы флокулянта на физико-химические характеристики и эффективность процесса электрофлотационного извлечения малорастворимого хромата бария в составе многокомпонентной системы из концентрированных солевых растворов.

**Влияние природы флокулянта на физико-химические характеристики и усредненную эффективность извлечения малорастворимых соединений  $\text{BaCrO}_4 - \text{Cu}^{2+} - \text{Fe}^{3+} - \text{Ni}^{2+}$  в электролите  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$  200 г/л**

Флокулянт	Марка	$d_{AV}$ , МКМ	Z, МВ	$\tau_{ЭФ}$ , МИН	$A_{МАХ ЭФ}$ , % (усредненная)	$\alpha_{ЭФ+Ф}$ , %
Без флокулянта		62 (100%)	-3,5	20	27	99
Анионный	Superfloc A-110	78 (80%) / 0,5 (20%)	-2	20	97	99
Неионогенный	Superfloc N-300	33 (100%)	-4	20	53	99
Катионный	Superfloc C-454	80 (50%) / 0,5 (50%)	2	20	24	99

*Примечание:*  $C_{\Sigma \text{Me}} = 200$  мг/л;  $C_{\Sigma \text{соли}} = 200$  г/л;  $[\text{NaCl}] : [\text{Na}_2\text{SO}_4] = 1 : 1$ ;  $C_{\text{флок}} - 5$  мг/л;  $i_{об} - 0,4$  а/л; pH - 9.

Отмечено, что использование флокулянта анионного типа Superfloc A-110, приводит к интенсификации электрофлотационного извлечения дисперсной фазы  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  ( $\text{Ba}^{2+}$ ),  $\text{Zn}^{2+}$  в 3–4 раза, степень извлечения возрастает с 25% до 94–98%. Данный факт можно объяснить тем, что заряд частиц в присутствии анионного флокулянта наиболее положителен или близок к изоэлектрической точке; размер частиц наиболее крупный.

#### Библиографический список

1. Попов В. О. Перспективы рецептурного развития быстрогорящих малогазовых пиротехнических композиций // Южно-Сибирский научный вестник. 2018. № 4(24). С. 236–243.
2. US Patent No. 5207890 A, 1993. Use of barium chromate as a sulfate scavenger in chromium electroplating baths / Jones A. R., Meng J., Newboy R. K.
3. Фрумкина Н. С., Горюнова Н. Н., Еременко С. Н. Аналитическая химия бария. М. : Изд-во Наука, 1997. 201 с.
4. Патент № 2216560 Российская Федерация, МПК C09D 5/08 (2006.01). Антикоррозионные пигменты. № 2001109129/04: заявл.05.04.2001 : опубл. 20.11.2003 / Степин С. Н., Зиганшина М. Р., Сороков А. В., Карандашов С. А.
5. Гречушников Е. А., Харсеев В. А. Разрядные характеристики отрицательного электрода свинцово-кислотного аккумулятора в присутствии сульфата бария // Евразийский Союз ученых. 2015. № 12 (21). С. 42–47.
6. Михайлов М. М., Ловицкий А. А. О возможности использования порошков  $\text{BaSO}_4$  в качестве пигментов терморегулирующих покрытий космических аппаратов. // Решетневские чтения. 2018. Т. 1. С. 539–540.
7. Мамырбаев А. А. Токсикология хрома и его соединений : монография // Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ. 2012. 284 с.
9. Стопницкий А. А., Акалаев Р. Н., Хаджибаев А. М. Особенности клинического течения, диагностики и интенсивной терапии острых отравлений барием // НМП. 2021. № 4. С. 818–823.

## ОЧИСТКА ВОДНЫХ СРЕД ОТ СУЛЬФАТ-ИОНОВ МОДИФИЦИРОВАННЫМ БЕНТОНИТОМ

*О. В. Атаманова<sup>1</sup>, Е. И. Тихомирова<sup>1</sup>, Н. Д. Проказов<sup>1</sup>, А. В. Кошелев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю. А., O\_V\_Atamanova@mail.ru,*

*<sup>2</sup> Государственный научно-исследовательский институт  
органической химии и технологии*

В статье представлены результаты лабораторных исследований процесса адсорбции сульфат-ионов сорбционным материалом на основе модифицированного бентонита. Экспериментально установлены сорбционные характеристики изучаемого адсорбента и определен вид адсорбции сульфат-ионов бентонитом, модифицированным глицерином и гидрофобизированным кремнийорганическим соединением.

Ключевые слова: адсорбция, сорбционный материал, бентонит, качество воды, сульфат-ион.

Проблема качественной очистки сточных вод городов является в настоящее время одной из самых актуальных в области экологической безопасности населения [1, 2].

Город Саратов является областным центром в Российской Федерации и крупнейшим населенным пунктом в Саратовской области с численностью более 800 тыс. чел. На территории этого урбанизированного центра размещены сотни производственных предприятий разного профиля, десятки культурных и образовательных учреждений, а также множество других организаций. Город обеспечивается водой, забираемой из Волгоградского водохранилища. Туда же сбрасывается отработанная и очищенная сточная вода. Водоотведение бытовых, промышленных сточных вод от жилой застройки, промышленных объектов, учреждений и организаций г. Саратова осуществляется на городскую станцию аэрации ООО «КВС» (ул. Томская, 13). Городская станция аэрации (ГСА) введена в эксплуатацию в 1981 году. Проектная мощность – 600 тыс. м<sup>3</sup>/сут., фактическая – 250–400 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Ежегодно проводимый мониторинг состояния воды в Волгоградском водохранилище позволяет выявлять в водной среде такие загрязняющие вещества, как нефтепродукты, органические вещества (по ХПК и БПК<sub>5</sub>), железо общее, хлориды и сульфаты, азот аммонийный и нитриты. Выполненные сотрудниками Исследовательского лабораторного центра «ЭкоОС» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А. в 2022–2023 гг. анализы воды из Волгоградского водохранилища на территории г. Саратова показали превышение в воде содержания сульфат-ионов (в 1,5–2,0 раза). Это позволило прийти к заключению о необходимости дополнительной очистки сточной воды урбанизированного центра перед сбросом ее в природный водоем.

Для совершенствования технологии очистки городских сточных вод было предложено реализовать метод адсорбции с использованием сорбционного материала на основе бентонита, модифицированного глицерином и дополнительно гидрофобизированного кремнийорганическим соединением [3]. Необходимость реализации новой технологии обосновала значимость проведения дальнейших лабораторных исследований на модельных растворах.

Объектами исследований являлись модельные водные растворы сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), содержащие ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ . Сульфат натрия (натрий сернокислый) – натриевая соль серной кислоты. Это бесцветные кристаллы, хорошо растворяющиеся в воде; образует кристаллогидраты. К исследованиям были приняты модельные водные растворы сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), содержащие ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  в концентрациях 20, 40, 60, 80, 100 мг/дм<sup>3</sup>. Исследования проводились в статических условиях.

Другим объектом исследования являлся бентонит, модифицированный глицерином при высокотемпературной (550 °С) термической обработке и гидрофобизированный кремнийорганическим препаратом. Размеры гранул модифицированного бентонита составляли 0,10–0,99 мм.

Результаты проведенного эксперимента позволили установить зависимости изменения концентраций сульфат-ионов от времени процесса адсорбции. Графическая зависимость  $C = f(t)$  представлена на рисунке 1.

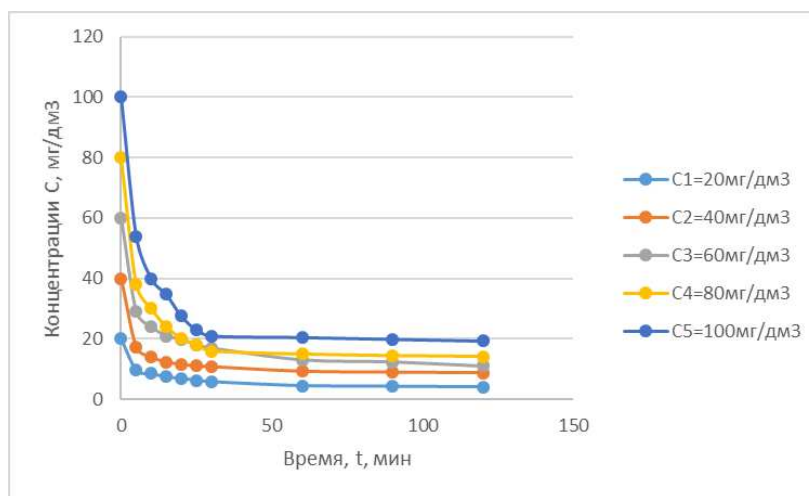


Рис. 1. Зависимость концентрации ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  от времени

Значение адсорбции устанавливалось расчетом по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{(C_{0i} - C_{pi}) \times V}{m}, \quad (1)$$

где  $C_{0i}$  – исходная концентрация сульфат-ионов в модельном растворе;  $C_{pi}$  – равновесная концентрация сульфат-ионов (мг/дм<sup>3</sup>);  $V$  – объём модельного раствора (дм<sup>3</sup>);  $m$  – масса навески сорбционного материала на основе бентонита, модифицированного глицерином и гидрофобизированного кремнийорганическим соединением (г).

Изотерма сорбции ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  на модифицированном глицерином и гидрофобизированном бентоните представлена на рисунке 2.

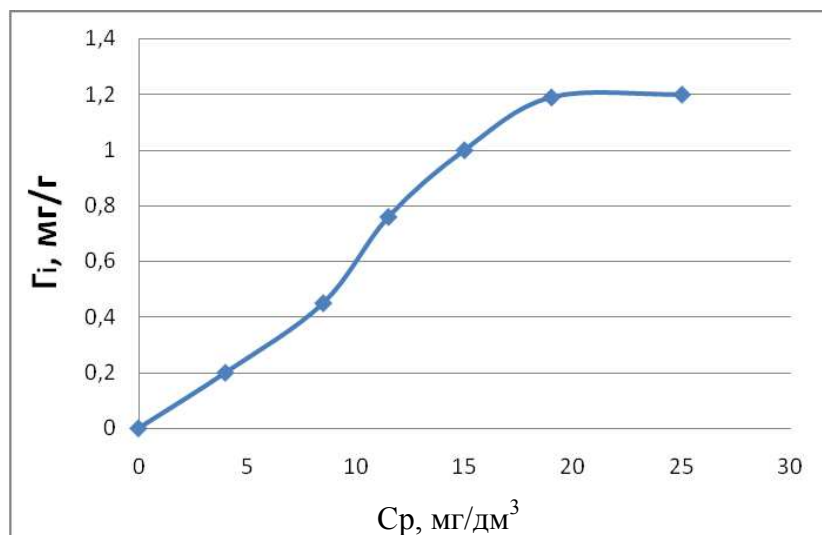


Рис. 2. Изотерма сорбции сульфат-ионов на исследуемом сорбенте

Одной из основных характеристик процесса адсорбции в статических условиях является статическая обменная ёмкость COE (мг/г), которая равна  $COE = \Gamma_{\infty}$  ( $\Gamma_{\infty}$  – предельная величина адсорбции, мг/г) [4].

Другой характеристикой процесса адсорбции является коэффициент межфазного распределения  $K_d$  (дм<sup>3</sup>/мг) сульфат-ионов между фазой сорбционного материала и водной фазой, рассчитываемый по формуле [5]:

$$K_d = \frac{(C_0 - C_p) \times V}{C_p \times m} \quad (2)$$

Степень адсорбционного извлечения S (%) сульфат-ионов из модельного раствора изучаемым сорбционным материалом определялась по формуле [5]:

$$S = \frac{C_0 - C_p}{C_0} \times 100\% \quad (3)$$

Значения перечисленных характеристик процесса адсорбции приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Характеристики адсорбции сульфат-ионов в статических условиях**

Адсорбируемый ион	Вид модификации бентонита	COE, мг/г	$K_d$ , дм <sup>3</sup> /мг	S, %
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Бентонит, модифицированный глицерином, обожженный и гидрофобизированный	1,21±0,13	0,06±0,01	82±1,2

Для определения вида адсорбции ионов SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> на полученном сорбенте применялся подход Дубинина–Радушкевича. Для реализации этого подхода необходимо было построить зависимость величины адсорбции от потенциала Поляни в логарифмической форме [6] (рис. 3):

$$\ln \Gamma = \ln \Gamma_{\infty} - k\varepsilon^2, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  – потенциал Поляни, определяемый по формуле:

$$\varepsilon = RT \ln \left( 1 + \frac{1}{C_p} \right), \quad (5)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная ( $R = 8,31$  Дж/моль·К),  $T$  – температура,  $C_p$  – равновесная концентрация иона адсорбата в водной фазе раствора.

Лабораторные эксперименты адсорбции ионов  $SO_4^{2-}$  на исследуемом сорбционном материале при разных температурах (от 20 °С до 60 °С) выполнены с течением времени.

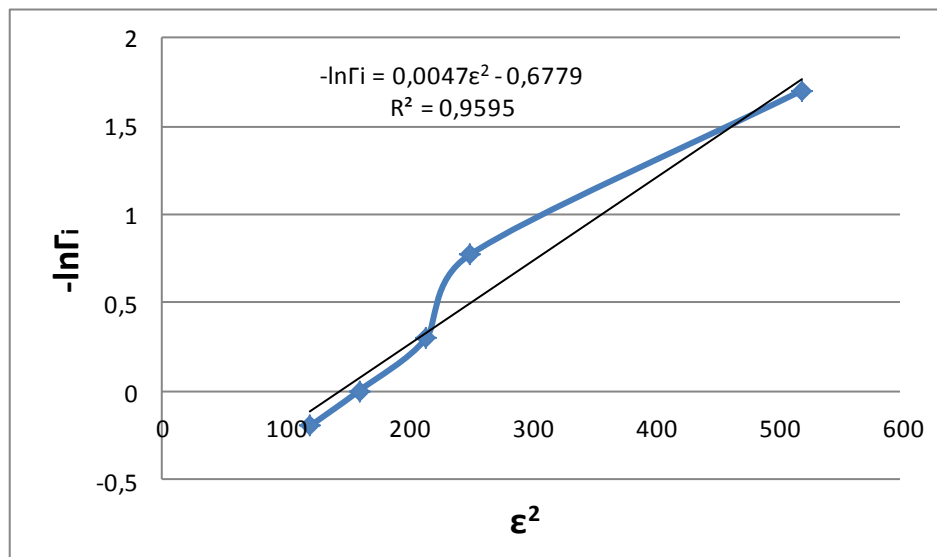


Рис. 3. Изменение адсорбции ионов  $SO_4^{2-}$  в зависимости от значения  $\epsilon^2$

Анализ зависимостей  $\ln \Gamma = f(\epsilon^2)$  показывает возрастание величины адсорбции при изменении температуры эксперимента в интервале от 20 °С до 60 °С.

В выбранном интервале температур зависимость параметра адсорбции от величины  $\epsilon^2$  для ионов  $SO_4^{2-}$  позволяет установить значение коэффициента  $k$  из уравнения (4), что позволяет выполнить расчет средней свободной энергии адсорбции  $E$ , используя зависимость:

$$E = (-2k)^{-0,5}. \quad (6)$$

Полученное значение энергии адсорбции  $E$  приведено в таблице 2.

Таблица 2

**Значения средней свободной энергии адсорбции  $E$  (кДж/моль)**

Неорганическое вещество	Вид модификации бентонита	Коэффициент $k$ , ммоль <sup>2</sup> /кДж <sup>2</sup>	$E$ , кДж/моль
$SO_4^{2-}$	Бентонит, модифицированный глицерином, обожженный и гидрофобизированный	-0,0026	13,86±0,8

Результаты расчетов показали, что в изучаемом температурном интервале значение средней свободной энергии адсорбции  $E$  составляет 13,8 кДж/моль, что больше 8 кДж/моль. Поэтому в данном случае имеет место преобладание химической адсорбции [6].

Выводы: 1. Исследованиями установлены характеристики адсорбции ионов  $SO_4^{2-}$  бентонитом, модифицированным глицерином и гидрофобизиро-

ванном, в статических условиях. При этом выявлена хорошая эффективность адсорбции ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , равная 82% на этом адсорбенте.

2. Величина средней свободной энергии адсорбции ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ , равная 13,86 кДж/моль, указывает на то, что в данном случае имеет место преобладание хемосорбции.

#### Библиографический список

1. Адсорбция ионов тяжелых металлов бентонитом, модифицированным углеродными нанотрубками, после кислотной активации / О. В. Атаманова, Е. И. Тихомирова, Н. В. Веденева и др. // *Chemical Bulletin*. 2021. Т. 4. № 3. С. 56–66.

2. Разработка и обоснование новых технологий очистки водных сред от загрязнений тяжелыми металлами / А. С. Глубокая, О. В. Атаманова, Е. И. Тихомирова и др. // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2022. Т. 30, № 4. С. 498–511.

3. Пашенко А. А. Гидрофобизация // *Наукова думка*. 1973. № 1. 240 с.

4. Совершенствование методов очистки сточных вод текстильных предприятий / О. В. Атаманова, Е. И. Тихомирова, А. С. Глубокая, А. А. Подоксенов // *Вопросы современной науки и практики*. 2022. № 1 (83). С. 7–18.

5. Изучение механизма адсорбции *n*-динитробензола модифицированными бентонитами при водоочистке в статических условиях / О. В. Атаманова, Е. И. Тихомирова, М. В. Истрашкина, А. А. Подоксенов // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2020. № 2 (82). С. 3–11.

6. Зеленцов В. И., Дацко Т. Я. Применение адсорбционных моделей для описания равновесия в системе оксигидроксид алюминия – фтор // *Электронная обработка материалов*. 2012. № 48 (6). С. 65–73.

## ПОВЫШЕНИЕ ВЫХОДА ПО ТОКУ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЛИТОВ СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КАСКАДА ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ

*Е. М. Рубин, А. В. Колесников*

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
egor.rubin@list.ru*

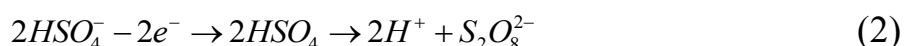
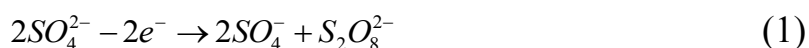
В статье описаны способы увеличения показателя выхода по току при осуществлении электрохимической утилизации электролита свинцового аккумулятора. Установлены оптимальное время проведения процесса, выходы по току, тип и масса необходимых добавок.

Ключевые слова: электролиз, пероксодисерная кислота, пероксид водорода.

Проблема утилизации опасных отходов является одной из ключевых в современной экологии и химической промышленности в целом. Опасность для окружающей среды, значительные объемы образования, а также нововведения в законодательстве приводят к запрету захоронения подобных отходов, относящихся к I и II классам опасности [1]. Отходы электролитов свинцовых аккумуляторов

муляторов, содержащих серную кислоту, являются частью вышеописанной группы. Они повсеместно используются в автомобильном транспорте, а также как аварийные и резервные источники энергии. По данным из открытых источников, в среднем в Российской Федерации производится порядка 7,5 млн единиц подобной продукции [2]. Согласно анализу собранных в ходе работы аккумуляторов каждый в среднем содержит порядка 8 кг свинца и 1–1,5 л электролита, что эквивалентно  $>7\ 000\ \text{м}^3$  раствора кислоты, который не полностью утилизируется и потенциально наносит ущерб окружающей среде. Их утилизация отягощается необходимостью предварительной подготовки, которая, в свою очередь, отягощается кислым характером среды [3]. В связи с этим обращение с аккумулятором сводится к механической очистке и повторному использованию пластин и корпуса, а электролит направляется на нейтрализацию и не вовлекается в повторное использование.

С целью уменьшения объема образующихся отходов и более полного вовлечения ресурсов в утилизационный цикл предлагается осуществлять электрохимическую обработку электролитов свинцовых аккумуляторов. Электролиз заключается в пропускании раствора через электролизер фильтр-прессного или иного типа, который имеет два электрода: стальной и платиновый. В ходе процесса, согласно двум уравнениям реакций, приведенным ниже, образуется пероксодисерная кислота [4]:



Полученное соединение может быть подвержено гидролизу с получением пероксида водорода или использовано на месте в процессах водоочистки как самостоятельно [5], так и совместно с другим соединением в так называемых Advance Oxidation Processes (AOP) [6, 7].

На процесс электролиза влияют такие параметры, как: сила тока, температура, скорость протока жидкости и концентрация кислоты в электролите. В связи с этим в ходе процесса осуществляется постоянное охлаждение кислоты (рис. 1). Помимо этого, применяют специальные добавки, которые увеличивают выход по току путем ингибирования побочных реакций и увеличения анодного перенапряжения. В качестве добавок наиболее распространены роданид аммония и соляная кислота; в ранних работах было установлено, что оптимальная добавка роданида аммония составляет 1 г/час.

Исходя из взаимосвязи концентрации серной кислоты и количества сульфат- и гидросульфат-ионов, лучше всего для электролиза подходят растворы с концентрацией кислоты от 500 до 800 г/л. Измеренная титриметрическим методом концентрация серной кислоты в имеющихся свинцовых аккумуляторах составляла от 400 до 500 г/л.



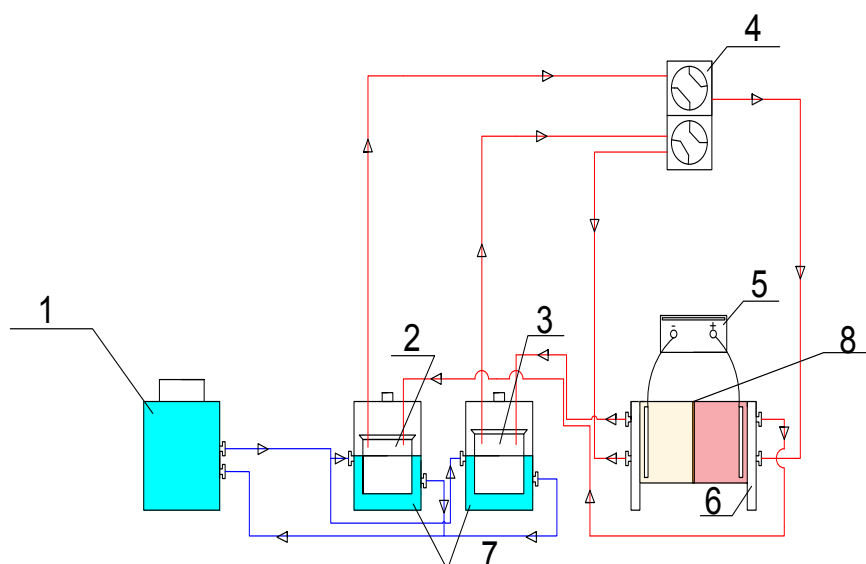


Рис. 1. Схема лабораторной установки электролиза.  
 1 – чиллер, 2, 3 – термостаты, 4 – перистальтические насосы,  
 5 – источник тока, 6 – электрохимическая ячейка, 8 – ионообменная мембрана

В связи с невысокой концентрацией серной кислоты в электролите электролиз подобных растворов проходит с недостаточной эффективностью (рис. 2). Низкая эффективность процесса особенно заметна при электролизе раствора с концентрацией 400 г/л. В связи с этим были рассмотрены пути увеличения выхода по току путем формирования каскада из двух электролизеров. Зависимости выхода по току для опытов с каскадом представлены на рисунке 3.

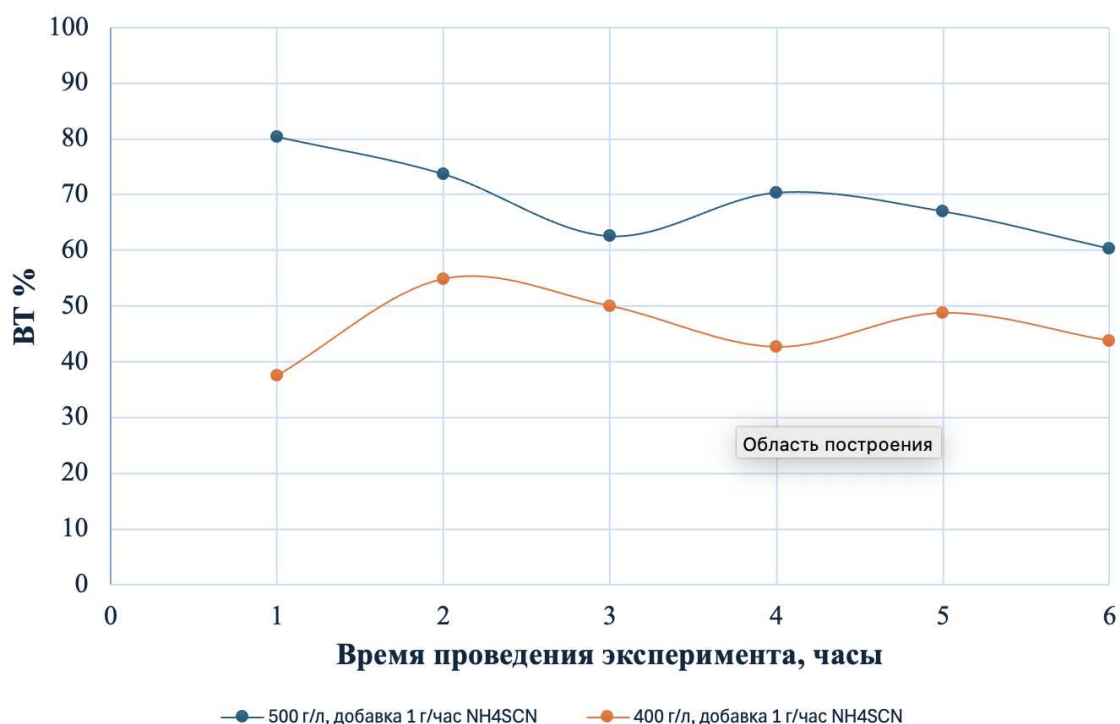


Рис. 2. Зависимость выхода по току от времени электролиза для растворов кислоты с концентрацией 400 и 500 г/л.  
 Условия эксперимента  $I = 10 \text{ А}$ ,  $T_{\text{эл-та}} \approx 0 \text{ }^\circ\text{С}$

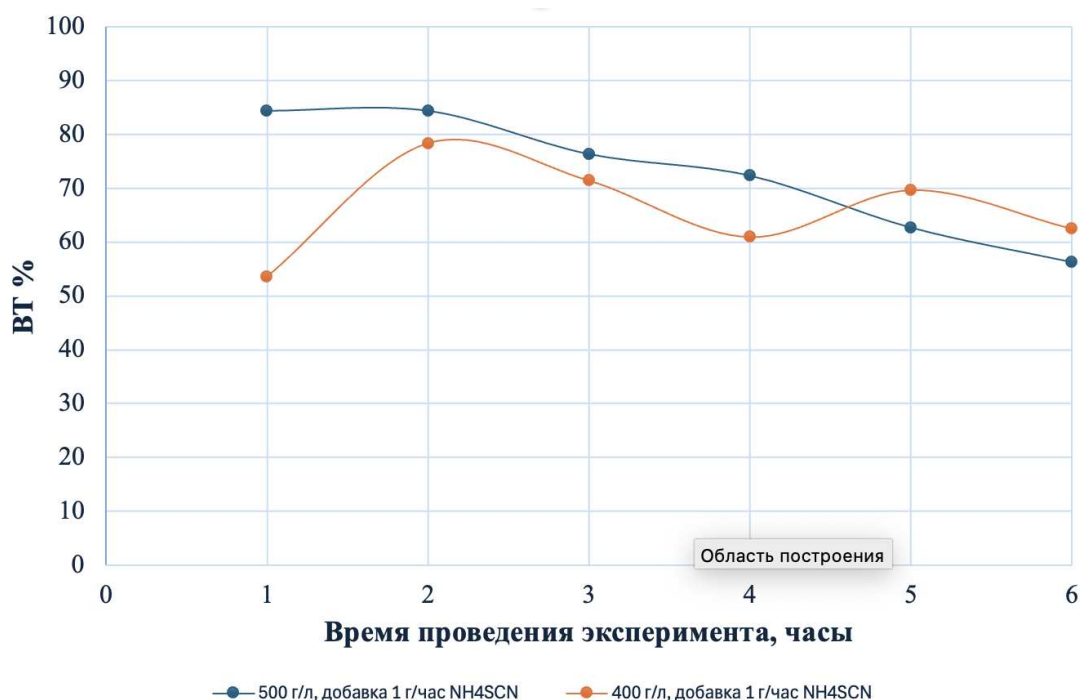


Рис. 3. Зависимость выхода по току от времени электролиза для растворов кислоты с концентрацией 400 и 500 г/л при электролизе на каскаде из двух электролизеров. Условия эксперимента  $I = 10 \text{ A}$ ,  $T_{\text{эл-та}} \approx 0 \text{ }^\circ\text{C}$

Добавление к каскаду второго электролизера позволяет увеличить выход по току в среднем на 15–20%. Также из зависимостей видно, что оптимальное время проведения эксперимента составляет порядка 2–3 часа, после чего выход по току начинает значительно снижаться. Данный факт связан с неустойчивостью пероксодисерной кислоты; с ростом концентрации скорость ее распада увеличивается, таким образом снижая выход по току.

Выход по току можно дополнительно увеличить путем замены добавки с роданида аммония на соляную кислоту. Механизм ее действия несколько отличается от роданида аммония и заключается в том, что, разряжаясь, анионы  $\text{Cl}^-$  включаются в поверхностный слой электрода, что улучшает его адсорбционные свойства. Также добавка соляной кислоты препятствует образованию мононадсерной кислоты, продукта побочной реакции. Однако значение оптимальной величины добавки пока не установлено, а механизм действия является предметом научной дискуссии.

#### Библиографический список

1. Питулько В. М., Илющенко Р. Р., Кулибаба В. В. Особенности рационального природопользования в Российской Федерации в контексте накопленного экологического ущерба. DOI: 10.35264/1996-2274-2020-2-108-124 // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2020. № 2 (30). С. 108–124.
2. Аккумуляторные батареи (Рынок России) [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Аккумуляторные\\_батареи\\_\(рынок\\_России\)#:~:text=По%20данным%20аналитиков%20Alto%20Consulting,9%25%20меньше%20чем%20годом%20\(дата%20обращения:1.11.2024\).](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Аккумуляторные_батареи_(рынок_России)#:~:text=По%20данным%20аналитиков%20Alto%20Consulting,9%25%20меньше%20чем%20годом%20(дата%20обращения:1.11.2024).)

3. Обезвреживание электролита отработанных свинцовых аккумуляторов / М. В. Мартиросян, Ж. М. Арстамян, А. В. Амян, А. С. Агбальян // Вестник Национального политехнического университета Армении. Metallurgia, материаловедение, недропользование. 2016. № 1. С. 22–33.

4. Электрохимическое получение пероксида водорода. Теория и практика : учебное пособие / М. В. Абакумов, А. В. Колесников, В. Т. Новиков и др. М. : РХТУ имени Д. И. Менделеева, 2023. 72 с.

5. Кузнецова С. М. Исследование возможности использования пероксодисерной кислоты в качестве дезинфицирующего реагента // Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37, № 17 (279). С. 52–53.

6. Kumari P., Kumar A. ADVANCED OXIDATION PROCESS: A remediation technique for organic and non-biodegradable pollutant // Results in Surfaces and Interfaces. 2023. Vol. 11. Article No. 100122.

7. Peracids-New oxidants in advanced oxidation processes: The use of peracetic acid, peroxymonosulfate, and persulfate salts in the removal of organic micropollutants of emerging concern – A review / D. Kiejza, U. Kotowski, W. Polinska, J. Karpinska // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 790. Article No. 148195.

## ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСАЖДАЕМЫХ ФОРМ МЕДИ(II), ВЫДЕЛЯЕМЫХ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

**Ф. Ф. Чаусов<sup>1</sup>, М. А. Шумилова<sup>1</sup>, Н. Н. Пастухова<sup>1,2</sup>, З. З. Тимербаева<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН»,  
*chaus@udman.ru*,

<sup>2</sup> АО «Ижевский электромеханический завод «Купол»», *nadi007@bk.ru*

Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) исследованы процессы термического разложения гидроксида меди(II), малахита и азурита и определен состав образующихся продуктов. Гидроксид меди(II) уже при 160 °С полностью распадается, превращаясь в близкий по структуре оксид меди(II). При разложении азурита сначала отщепляется вода, а затем – диоксид углерода с образованием оксида меди(II). Наиболее устойчивым является малахит благодаря водородной связи между гидроксидной и карбонатной группами; его разложение начинается только при 280 °С и идет с одновременным отщеплением воды и диоксида углерода.

Ключевые слова: гидроксид меди(II), малахит, азурит, термическое разложение, РФЭС *in operando*.

Гидроксид меди(II)  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  (в природе – минерал спертиниит), дигидроксомонокарбонат меди(II)  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  (в природе – минерал малахит) и дигидроксодикарбонат меди(II)  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  (в природе – минерал азурит) являются широко распространенными осаждаемыми формами меди(II) при переработке отработанных медьсодержащих технологических растворов.

Гидроксид меди(II) разлагается в одну стадию в интервале 145–160 °С с эндотермическим эффектом [1] с образованием оксида меди(II)  $\text{CuO}$ . Процессы

термического разложения  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  и  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ , имеющих более сложную кристаллическую структуру, являются предметом дискуссий [2, 3]. Показано [4], что при термическом разложении малахита  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  отщепляются одновременно в интервале 300–400 °С. В бескислородной среде возможно образование примеси оксида меди(I)  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

В настоящей работе приводятся результаты исследования процессов термического разложения  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  и  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).

Гидроксид меди(II) получен взаимодействием раствора 0,3 моль  $\text{NaOH}$  в 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды с раствором 0,1 моль  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при комнатной температуре. Элементный анализ:  $\text{Cu}$  найдено 65,2±0,2 масс.%, вычислено для  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  64,95 масс.%. Рентгенофазовый анализ (РФА, дифрактометр Miniflex 600,  $\text{CoK}\alpha$ -излучение), межплоскостные расстояния: 5,30; 3,75; 2,64; 2,51; 2,37; 2,28; 1,73 Å. ИК-спектр (спектрометр ФСМ-1201, таблетки с  $\text{KBr}$ ), максимумы поглощения: 460  $\nu(\text{Cu}-\text{O})$ , 701  $\delta(\text{Cu}-\text{O}-\text{H})$ , 756  $\delta(\text{O}-\text{Cu}-\text{O})$ , 3598  $\nu(\text{O}-\text{H})$ , см<sup>-1</sup>. Синхронный термический анализ (СТА, дериватограф Shimadzu DTG-60H, 3 °С/мин, аргон ОСЧ): при 120–200 °С – эндотермический эффект с потерей массы 26,2% (отщепление  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Малахит получен взаимодействием раствора 0,25 моль  $\text{NaHCO}_3$  в 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды с раствором 0,1 моль  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при 90–95 °С. Элементный анализ:  $\text{Cu}$  найдено 57,0±0,2 масс.%, вычислено для  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  57,27 масс.%. РФА (те же условия), межплоскостные расстояния: 6,01; 5,07; 3,72; 2,86; 2,83; 2,80; 2,55; 2,47 Å. ИК-спектр (те же условия), максимумы поглощения: 505  $\nu(\text{Cu}-\text{O})$ , 528  $\nu(\text{Cu}-\text{OH})$ , 580  $\nu(\text{Cu}-\text{O})$ , 720, 753, 800, 827  $\nu(\text{CO}_3)$ , 890, 1044  $\delta(\text{O}-\text{H})$ , 1102, 1403, 1511  $\nu(\text{CO}_3)$ , 3330, 3415  $\nu(\text{O}-\text{H})$  см<sup>-1</sup>. СТА (те же условия): при 295–360 °С – эндотермический эффект с потерей массы 29,1% (отщепление  $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ ).

Азурит получен взаимодействием раствора 0,25 моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды с раствором 0,1 моль  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при комнатной температуре. Элементный анализ:  $\text{Cu}$  найдено 54,7±0,2 масс.%, вычислено для  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  55,10 масс.%. РФА порошка (те же условия), межплоскостные расстояния: 5,17; 5,09; 3,67; 3,53; 2,51; 2,29; 2,22; 1,95; 1,59 Å. ИК-спектр (те же условия), максимумы поглощения: 460, 498  $\nu(\text{Cu}-\text{O})$ , 701, 756, 820, 833  $\nu(\text{CO}_3)$ , 851  $\delta(\text{O}-\text{H})$ , 1106, 1398, 1492, 1658, 1681, 1830  $\nu(\text{CO}_3)$ , 3426  $\nu(\text{O}-\text{H})$  см<sup>-1</sup>. СТА (те же условия),  $T/\Delta m$ ): при 90–150 °С – эндотермический эффект с потерей массы 6,0% (отщепление  $\text{H}_2\text{O}$ ), при 160–335 °С – потеря массы 12,2% (отщепление  $\text{CO}_2$ ) без теплового эффекта, при 335–350 °С – эндотермический эффект с потерей массы 12,4% (отщепление  $\text{CO}_2$ ).

Для проведения РФЭС использован рентгеновский фотоэлектронный спектрометр ЭМС-3 (УдмФИЦ УрО РАН) [5] с энергетическим разрешением 0,1 эВ и шириной на половине высоты спектральной линии  $\text{Ag}3d_{5/2}$  1,2 эВ при возбуждении немонахроматизированным  $\text{AlK}\alpha$ -излучением ( $\hbar\omega = 1486,6$  эВ). Тонкоизмельченные образцы (< 10 мкм) впрессовывали в подложку из высокочистого (> 99,9% С) графита. Калибровку прибора проводили по линии  $\text{C}1s$

графита, принимая энергию связи  $E_B = 284,5$  эВ. Регистрировали спектры  $Cu2p$ ,  $CuL_3M_{45}M_{45}$ ,  $O1s$ . Спектры регистрировали при температуре образца  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , а также при температурах, соответствующих началу или завершению термических превращений по данным СТА.

На рисунке приведены спектры РФЭС исследованных образцов в области  $Cu2p$ -фотоэлектронов при различных температурах образцов в отношении к их кристаллической структуре.

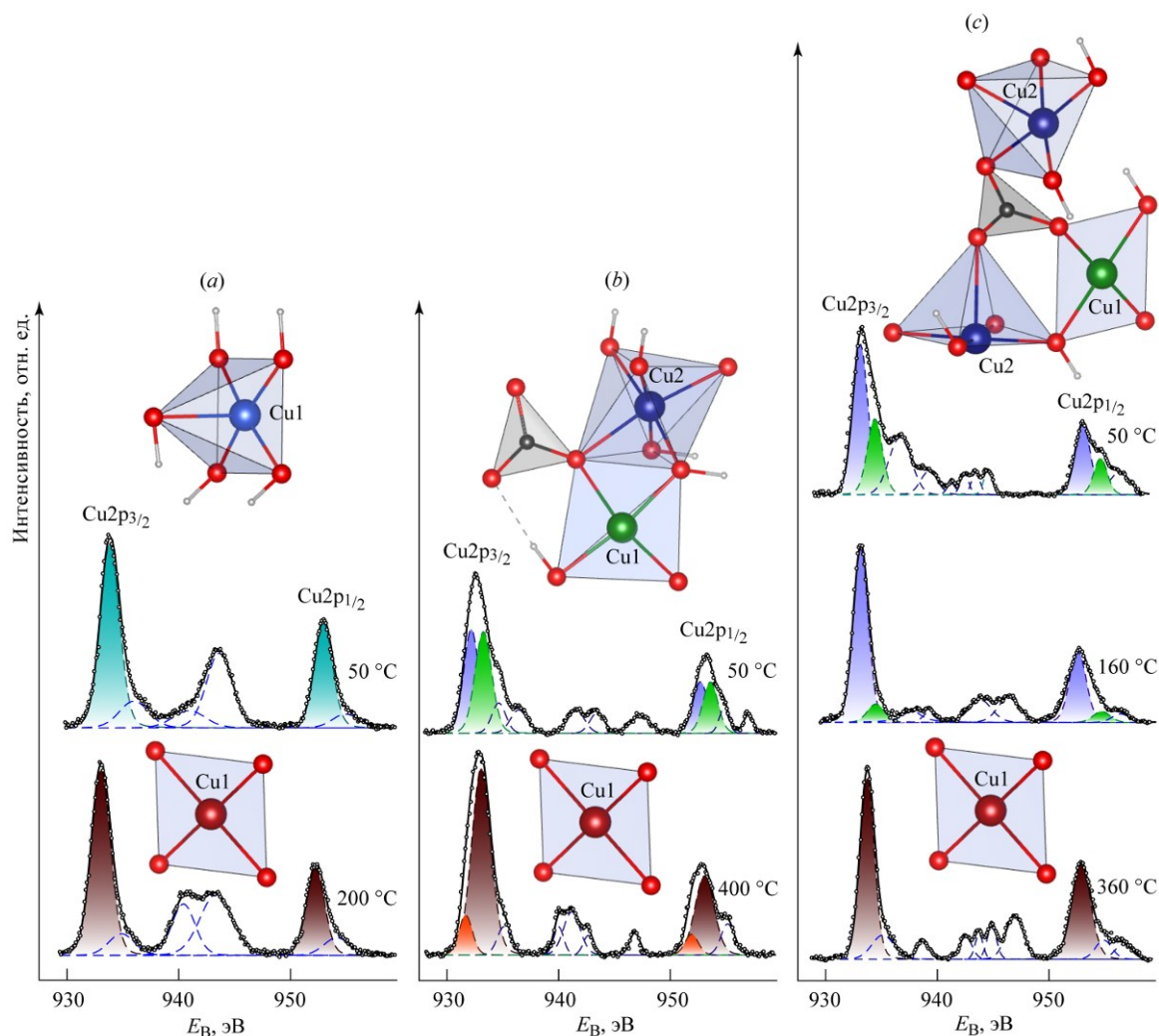


Рис. Спектры РФЭС  $Cu2p$ -фотоэлектронов исследованных образцов  $Cu(OH)_2$  (a),  $Cu_2CO_3(OH)_2$  (b) и  $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$  (c) при различных температурах и характерные фрагменты их кристаллической структуры и кристаллической структуры основного продукта разложения –  $CuO$

В  $Cu2p$ -спектре образца  $Cu(OH)_2$  при температуре  $50\text{ }^\circ\text{C}$  наблюдается спин-орбитальный дублет с максимумами при значениях энергии связи  $E_B = 934,5$  и  $954,4$  эВ, соответствующий атомам меди в эквивалентных положениях. Слабые пики с максимумами интенсивности при  $E_B = 936,9$  и  $956,7$  эВ представляют собой составляющие магнитных мультиплетов основных составляющих спектра, характерные для атома меди(II). После нагревания образца до температуры  $200\text{ }^\circ\text{C}$  в  $Cu2p$ -спектре спин-орбитальный дублет смещается к

$E_B = 933,3$  и  $952,1$  эВ. Магнитные мультиплеты при  $E_B = 935,5$  и  $955,4$  эВ указывают на сохранение степени окисления меди +2. Таким образом, изменения электронных спектров образца  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , наблюдаемые при нагревании образца от 50 до 200 °С, подтверждают описанный ранее [1] механизм разложения  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  до  $\text{CuO}$ , сопровождающийся перестройкой кристаллической структуры из орторомбической в моноклинную.

$\text{Cu}2p$ -спектр образца малахита при температуре 50 °С имеет более сложную структуру, обусловленную неэквивалентностью атомов меди, находящихся в кристаллографических положениях с плоскоквадратной и с октаэдрической координацией, обозначенных на рис. 1b  $\text{Cu}1$  и  $\text{Cu}2$ , соответственно. Спин-орбитальный дублет с максимумами интенсивности  $E_B = 933,7$  и  $953,4$  эВ относится к атомам меди в положении  $\text{Cu}1$ , а спин-орбитальный дублет с максимумами интенсивности  $E_B = 932,4$  и  $952,2$  эВ – к атомам меди в положении  $\text{Cu}2$ . Соотношение интегральных интенсивностей этих дублетов составляет 1 : 1. Спектр включает также магнитные мультиплеты, относящиеся к каждой из составляющих спин-орбитальных дублетов, с максимумами при  $E_B = 934,9$ ;  $954,8$ ;  $936,5$  и  $956,5$  эВ. При температурах вплоть до 280 °С электронные спектры малахита заметно не изменяются, что указывает на сохранение структуры малахита при этих температурах. При 400 °С структура спектра  $\text{Cu}2p$  резко изменяется. Основные пики с  $E_B = 933,4$  и  $952,2$  эВ и магнитные мультиплеты при  $E_B = 936,1$  и  $956,0$  эВ соответствуют спин-орбитальному дублету атомов меди(II) в структуре  $\text{CuO}$ . Менее интенсивные пики с максимумами при  $E_B = 932,2$  и  $952,0$  эВ, не сопровождаемые магнитными мультиплетами, относятся, вероятнее всего, к минорной примеси  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Оценка мольного соотношения  $\text{Cu}_2\text{O} : \text{CuO}$  по соотношению интегральных интенсивностей дает долю  $\text{Cu}_2\text{O}$  5–10 мол.%. Таким образом, анализ полученных электронных спектров образца малахита  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$  подтверждает одновременность разрушения ионов  $\text{OH}^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  и, соответственно, ближнего окружения атомов меди в положениях  $\text{Cu}1$  и  $\text{Cu}2$  в интервале температур 280–350 °С [4], что обусловлено влиянием водородных связей, стабилизирующих структуру малахита.

Анализ  $\text{Cu}2p$ -спектра азурита (рис. 1c) при 50 °С также показывает неэквивалентность атомов меди, находящихся в кристаллографических положениях с плоскоквадратной и с пирамидальной координацией, обозначенных на рис. 1c  $\text{Cu}1$  и  $\text{Cu}2$ , соответственно. К атомам в положении  $\text{Cu}1$  в спектре РФЭС относится спин-орбитальный дублет при  $E_B = 934,6$  и  $954,4$  эВ, а к атомам в положении  $\text{Cu}2$  – спин-орбитальный дублет при  $E_B = 933,2$  и  $953,0$  эВ. Соотношение интегральных интенсивностей этих дублетов составляет 1 : 2. Магнитные мультиплеты, относящиеся к этим спектральным линиям, разрешить не удалось, они представлены широкими пиками при  $E_B = 936,7$  и  $956,5$  эВ. Существенное изменение структуры электронных спектров азурита регистрируется при температуре 160 °С. В спектре  $\text{Cu}2p$  резко падает интенсивность пиков при  $E_B = 934,6$  и  $954,4$  эВ, относящихся к атомам в положении  $\text{Cu}1$ , и возрастает интенсивность пиков при  $E_B = 933,2$  и  $953,0$  эВ (по-видимому, в них присутствует вклад  $\text{CuO}$ , разрешить который не удалось). При дальнейшем нагревании до 360 °С спектры образца  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$  претерпевают дальнейшие изменения: спектр

приобретает структуру, характерную для практически чистого CuO. Таким образом, в отличие от малахита, при нагревании азурита разрушение координационного окружения атомов меди в положениях Cu1 и Cu2 происходит не одновременно, а последовательно.

Можно сделать вывод, что условия и стадийность термического разложения определяется кристаллической структурой и характером водородных связей в структуре исходного соединения и сложностью ее перестройки в структуру конечного продукта (CuO). Эти структурно-химические факторы необходимо учитывать при выборе осаждаемых форм меди и технологий их дальнейшей переработки в процессах утилизации меди из отработанных технологических растворов.

#### Библиографический список

1. Fukuda M., Koga N. Kinetics and Mechanisms of the Thermal Decomposition of Copper(II) Hydroxide: A Consecutive Process Comprising Induction Period, Surface Reaction, and Phase Boundary-Controlled Reaction. DOI: 10.1021/acs.jpcc.8b03260 // J. Phys. Chem. C. 2018. Vol. 122. No. 24. P. 12869–12879.
2. Brown I. W. M., Mackenzie K. J. D., Gainsford G. J. Thermal decomposition of the basic copper carbonates malachite and azurite. DOI: 10.1016/0040-6031(84)85003-0 // Thermochim. Acta. 1984. Vol. 75. P. 23–32.
3. Mansour S. A. A. Thermoanalytical investigations of decomposition course of copper oxysalts I. Basic copper carbonate. DOI: 10.1007/BF02546934 // J. Therm. Anal. 1994. Vol. 42. P. 1251–1263.
4. Morgan D. J. Simultaneous DTA-EGA of minerals and natural mineral mixtures. DOI: 10.1007/BF01909481 // J. Therm. Anal. 1977. Vol. 12. P. 245–263.
5. Studies of transition metal melts by X-ray electron magnetic spectrometer / V. A. Trapeznikov, I. N. Shabanova, A. V. Kholzakov, A. G. Ponomaryov. DOI: 10.1016/j.elspec.2004.02.115 // J. Elec. Spectrosc. Rel. Phenom. 2004. Vol. 137–140. P. 383–385.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАГЕНТОВ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ – ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ, СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ, БАКТЕРИЦИДОВ И АЛЬГИЦИДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

*З. З. Тимербаева<sup>1,2</sup>, М. А. Шумилова<sup>2</sup>, Ф. Ф. Чаусов<sup>2</sup>,  
Н. Н. Пастухова<sup>1,2</sup>, Р. В. Мустахимов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> АО «Ижевский электромеханический завод «Купол»»,  
*zarina.timerbaeva.98@mail.ru,*

<sup>2</sup> Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,  
*chaus@udman.ru*

Проведен сравнительный анализ эффективности различных реагентов комплексного действия, полученных из вторичных ресурсов цветных металлов – отработанных технологических растворов гальванических производств. В качестве реагентов были испытаны хелатные комплексы нитрило-трис-метилефосфоновой кислоты с медью, цинком, никелем и кадмием. Определе-

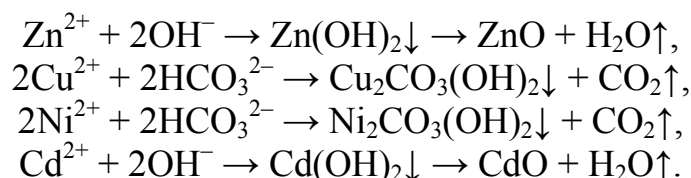
на эффективность ингибирования коррозии, солеотложений и биообрастаний. Исследование показало, что необходимы дальнейшие исследования для поиска наиболее эффективных комбинированных препаратов и разработки режимов их применения.

Ключевые слова: отработанные электролиты, медь, цинк, никель, кадмий, ингибиторы коррозии, ингибиторы солеотложений, биоциды.

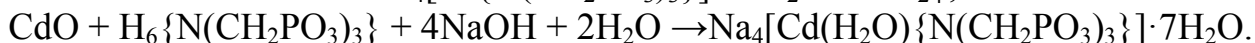
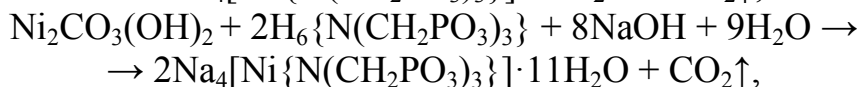
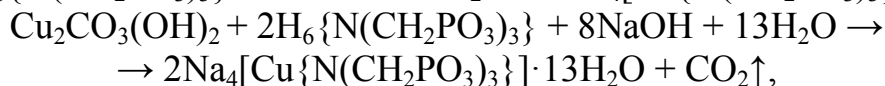
Распространенным фактором повреждения металлических конструкций, сооружений, технологического оборудования является биологическая коррозия – разрушение металла под действием внешних биологических факторов. Биологическая коррозия может привести к значительному снижению прочности и долговечности металлических конструкций, сооружений и оборудования. Это, в свою очередь, может привести к авариям, простоям и экономическим потерям. Создание препаратов комплексного действия, являющихся ингибиторами коррозии и бактерицидами, является важной задачей. Это позволит эффективно бороться с биологическим разрушением металлических конструкций, обеспечивая их долговечность и надежность.

Целью работы является создание и изучение препаратов комплексного действия, которые одновременно ингибируют коррозию и обладают бактерицидными свойствами.

Извлечение вторичных ресурсов цветных металлов (Zn, Cu, Ni, Cd) из отработанных кислотных электролитов цинкования, меднения, никелирования и кадмирования проводили методом реагентного осаждения по схемам, соответственно:



Реагенты комплексного действия – ингибиторы коррозии, солеотложений и биообрастаний – получали взаимодействием полученных концентратов цветных металлов комплексообразователем – нитрило-трис-метилефосфоновой кислотой ( $\text{H}_6\{\text{N}(\text{CH}_2\text{PO}_3)_3\}$ , NTP) по схемам [1–4]



Полученные реагенты  $\text{Na}_4[\text{Zn}\{\text{N}(\text{CH}_2\text{PO}_3)_3\}] \cdot 13\text{H}_2\text{O}$  (ZnNTP),  $\text{Na}_4[\text{Cu}\{\text{N}(\text{CH}_2\text{PO}_3)_3\}] \cdot 13\text{H}_2\text{O}$  (CuNTP),  $\text{Na}_4[\text{Ni}\{\text{N}(\text{CH}_2\text{PO}_3)_3\}] \cdot 11\text{H}_2\text{O}$  (NiNTP) представляют собой, соответственно, бесцветный, сине-зеленый и светло-зеленый кристаллические продукты, а  $\text{Na}_4[\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})\{\text{N}(\text{CH}_2\text{PO}_3)_3\}] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (CdNTP) – белый мелкокристаллический или аморфный порошок.



Эффективность ингибирования коррозии углеродистой стали определяли электрохимическим способом при помощи автоматизированного потенциостата в трехэлектродной электрохимической ячейке в боратном буферном растворе (pH = 7,4) по формуле:

$$Z = 100\% \cdot (i_{C0} - i_C) / i_C,$$

где  $i_C$  и  $i_{C0}$  – плотность тока анодного растворения металла при потенциале начала пассивации, соответственно, в присутствии и в отсутствии реагента, А/м<sup>2</sup>.

Эффективность ингибирования коррозии меди в воде системы охлаждения ТЭЦ определяли весовым способом по формуле:

$$Z = 100\% \cdot (\Delta m_0 - \Delta m) / \Delta m_0,$$

где  $\Delta m$  и  $\Delta m_0$  – потеря массы образца меди марки М0 после выдержки в течение 10 суток, соответственно, в присутствии и в отсутствии реагента, мг.

Эффективность ингибирования солеотложений определяли по изменению концентрации ионов  $Ca^{2+}$  в пересыщенном растворе  $Ca(HCO_3)_2$  (0,2 г/дм<sup>3</sup>) или  $CaSO_4$  (20 г/дм<sup>3</sup>) по формуле:

$$Z = 100\% \cdot ([Ca^{2+}] - [Ca^{2+}]_0) / [Ca^{2+}]_{исх},$$

где  $[Ca^{2+}]$  и  $[Ca^{2+}]_0$  – концентрация ионов  $Ca^{2+}$  после нагревания в течение 4 часов в кварцевой колбе на кипящей водяной бане, соответственно, в присутствии и в отсутствии реагента, а  $[Ca^{2+}]_{исх}$  – исходная концентрация ионов  $Ca^{2+}$ , моль/дм<sup>3</sup>.

Эффективность ингибирования роста водорослей *Chrysococcus rufescens* и цианобактерий *Nostoc* в воде системы охлаждения ТЭЦ определяли по изменению числа клеток в камере Горяева в поле зрения микроскопа при увеличении 90× по формуле:

$$Z = 100\% \cdot (N_0 - N) / N_0,$$

где  $N_0$  и  $N$  – число живых клеток в воде, соответственно, до и через трое суток после введения реагента, тыс. кл.

Результаты проведенных определений представлены в таблице.

Таблица

**Показатели эффективности реагентов комплексного действия на основе вторичных ресурсов цветных металлов гальванических производств, %**

Показатель	Эффективность ингибирования, %			
	ZnNTP	CuNTP	NiNTP	CdNTP
Коррозия в нейтральной водной среде				
углеродистой стали	76	71	80	66
меди	97	–	–	–
Солеотложение				
CaCO <sub>3</sub>	98,9	99,2	–	98,7
CaSO <sub>4</sub>	95,1	95,5	–	96,0
Биообрастания				
<i>Chrysococcus rufescens</i>	63	–	–	–
<i>Nostoc</i>	100	–	–	–

Можно сделать выводы, что все изученные реагенты обладают комплексным действием и являются ингибиторами коррозии, солеотложений и биооб-

растаний [5]. Однако их эффективность различна, и для практического применения важно, что приведенные наилучшие показатели эффективности ингибирования коррозии, солеотложений и биообрастаний достигаются при различных концентрациях испытанных реагентов – от 0,2 до 5 мг/дм<sup>3</sup>. Таким образом, для того, чтобы добиться наиболее эффективного ингибирования всех вредных факторов, необходимо разрабатывать комбинации исследованных реагентов в виде их смесей или гетерометаллических полиядерных комплексов. В этом случае наибольший эффект защиты металлических конструкций будет достигнут при меньшей дозировке ингибитора и, соответственно, при меньшем отрицательном воздействии на окружающую среду.

#### Библиографический список

1. Сомов Н. В., Чаусов Ф. Ф. Структура ингибитора солеотложений и коррозии – тридекагидрата нитрилотриметилентрифосфонатоцинката тетраэтриа  $\text{Na}_4[\text{N}(\text{CH}_2\text{PO}_3)_3\text{Zn}] \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ . DOI: 10.7868/S0023476113050123 // Кристаллография. 2014. Т. 59. № 1. С. 71–75.
2. Сомов Н. В., Чаусов Ф. Ф. Структура комплексов нитрилотрисметиленфосфоновой кислоты с медью  $[\text{CuN}(\text{CH}_2\text{PO}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3]$  и  $\text{Na}_4[\text{CuN}(\text{CH}_2\text{PO}_3)_3]_2 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$  – бактерицидов и ингибиторов солеотложений и коррозии. DOI: 10.7868/S0023476115010221 // Кристаллография. 2015. Т. 60. № 2. С. 233–239.
3. Синтез, структура и свойства комплексов нитрило-трис-метиленфосфоновой кислоты с никелем  $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_3\text{N}(\text{CH}_2\text{PO}_3\text{H})_3]$  и  $\text{Na}_4[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})\text{N}(\text{CH}_2\text{PO}_3)_3] \cdot 11\text{H}_2\text{O}$  / Н. В. Сомов, Ф. Ф. Чаусов, Р. М. Закирова, И. В. Федотова. DOI: 10.7868/S0023476116020260 // Кристаллография. 2016. Т. 61. № 2. С. 238–246.
4. Zinc and cadmium nitrilotris(methylenephosphonate)s: A comparative study of different coordination structures for corrosion inhibition of steels in neutral aqueous media / F. F. Chausov, I. S. Kazantseva, S. M. Reshetnikov et al. DOI: 10.1002/slct.202003255 // ChemistrySelect. 2020. Vol. 5. P. 13711–13719.
5. Бицидная активность цинкового комплекса нитрило-трис-метиленфосфоновой кислоты (ингибитор «ЭФИКС») на примере биообрастаний в системе охлаждения ТЭЦ / Н. Н. Пастухова, Н. М. Погудина, В. А. Яковлев и др. // Технологии переработки отходов с получением новой продукции: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. Киров : ВятГУ, 2023. С. 67–70.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИНКОВОГО КОМПЛЕКСА НИТРИЛО-ТРИС-МЕТИЛЕНФОСФОНОВОЙ КИСЛОТЫ КАК ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ, СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ И БИООБРАСТАНИЙ В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ТЭЦ

*Н. Н. Пастухова*<sup>1,2</sup>, *З. З. Тимербаева*<sup>1,2</sup>, *В. А. Яковлев*<sup>1,2</sup>, *Ф. Ф. Чаусов*<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН»,  
*chaus@udman.ru*,  
<sup>2</sup> АО «Ижевский электромеханический завод «Купол»», *nadi007@bk.ru*

В статье представлен опыт применения ингибитора «ЭФИКС» на основе цинкового комплекса нитрило-трис-метиленфосфоновой кислоты (НТФ) на ТЭЦ. Были проведены анализы исходной и оборотной воды на протяжении все-

го времени испытаний для оценки эффективности использования реагента. Рекомендованы оптимальные режимы применения данного ингибитора.

Ключевые слова: ингибитор, ТЭЦ, оборотная система водоснабжения, транспорт кальция, коэффициент упаривания.

Рост промышленности неуклонно введет к росту экономических затрат на приобретение исходного сырья и возрастанию нагрузки на окружающую среду. При этом отработанные гальванические электролиты содержат ценные вещества, извлекая которые, можно решить сразу несколько проблем. Например, из отработанных растворов можно получить сырье для производства ингибиторов коррозии, солеотложений и биообрастаний.

В энергетике существуют проблемы биообрастания и образования отложений в системе оборотного охлаждения деталей, которые выполнены из стали и меди. Ингибиторы на основе цинкового комплекса нитрило-трис-метилефосфоновой кислоты (НТФ) обладают комплексным действием: они способны защищать поверхность как стали, так и меди от коррозии [1], ингибировать образование солеотложений, а также обладают токсичным действием на микроорганизмы. Эффективность ингибитора «ЭФИКС» по отношению к солеотложению, микроорганизмам и коррозии оценивали в лабораторных условиях на пробах воды, отобранных из контура оборотного снабжения ТЭЦ [2]. Положительные результаты лабораторного моделирования позволили выйти на опытно-промышленные испытания (ОПИ) на ТЭЦ.

Для питания системы охлаждения используется вода из реки, которая поступает с расходом до 200 м<sup>3</sup>/час, проходит охлаждение на градирнях и циркулирует по системе для охлаждения конденсаторов. Состав исходной воды на протяжении года не постоянный (табл. 1). Как видно из полученных данных, на летние месяцы приходится спад по уровню жесткости и прирост по содержанию взвешенных веществ и мутности.

Таблица 1

**Годовые данные по составу исходной воды**

Месяц	Общая жесткость Ж <sub>общ.</sub> , ммоль/дм <sup>3</sup>	Кальциевая жесткость Ж <sub>Са</sub> , ммоль /дм <sup>3</sup>	Общее солесодержание, мг/дм <sup>3</sup>	pH	Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	Мутность (по прибору) FNU·0,56
1	2	3	4	5	6	7
Январь	10,2	5,12	1032	7,4	2,2	3,4
Февраль	10,4	5,3	1081	7,25	7,2	2,84
Март	10,2	5,3	1076	7,21	2,1	2,24
Апрель	8,2	4,0	845	7,4	7,3	7,3
Май	5,4	2,6	520	7,8	10,4	10,8
Июнь	7,3	3,6	741	7,8	7,0	7,6
Июль	7,4	3,8	739	8,0	11,2	10,94
Август	8,2	4,2	802	8,15	7,7	7,0
Сентябрь	8,7	4,5	908	8,1	5,8	8,1

1	2	3	4	5	6	7
Октябрь	9,0	4,6	910	8,2	3,4	6,4
Ноябрь	8,97	4,44	870	8,09	2,1	2,08
Декабрь	9,87	4,79	920	7,85	1,61	1,83
Среднее за год	8,7	4,4	870	7,77	5,7	5,9

Ингибитор «ЭФИКС» применяли в «стартовой» дозировке 20 мг/дм<sup>3</sup>, а далее – с постоянной подачей в дозировке 5–10 мг/дм<sup>3</sup>. Для оценки эффективности водно-химического режима проводили определение содержания меди, железа, общей жесткости и щелочности, общего солесодержания и общего микробного числа. Также производили расчеты коэффициента упаривания  $K_y$  и транспорта кальция  $T_{Ca}$ :

$$K_y = S_{\text{обр}}/S_{\text{исх}},$$

где  $S_{\text{обр}}$  – общее солесодержание оборотной воды, мг/дм<sup>3</sup>,  $S_{\text{исх}}$  – общее солесодержание исходной воды, мг/дм<sup>3</sup>;

$$T_{Ca} = \frac{Ж_{Ca \text{ обр}}}{(Ж_{Ca \text{ исх}} \cdot K_y)} \cdot 100\%,$$

где  $Ж_{Ca \text{ обр}}$  и  $Ж_{Ca \text{ исх}}$  – жесткость кальциевая, соответственно, оборотной и исходной воды, ммоль/дм<sup>3</sup>,  $K_y$  – коэффициент упаривания. При эффективном ингибировании солеотложений значение  $T_{Ca}$  должно быть близким к 100%; на практике допустимое значение  $T_{Ca}$  должно составлять не менее 85%. Значение  $K_y$  должно быть не более 2,2.

Данные химического анализа и расчетные показатели водно-химического режима в период ОПИ представлены в таблице 2. В первые 2–4 недели использования ингибитора «ЭФИКС», согласно данным анализа и визуальным осмотрам, наблюдалось повышение содержания взвешенных веществ и увеличение  $T_{Ca}$  свыше 100%, что свидетельствует о разрушении накопившихся солеотложений и их выводе из системы.

Таблица 2

**Основные показатели водно-химического режима  
в период опытно-промышленных испытаний**

Период	pH	Коэффициент упаривания $K_y$	Транспорт кальция $T_{Ca}$ , %	Общее микробное число
Норма	7,0–8,9	≤ 2,2	≥ 85	≤ 10 <sup>3</sup>
Июнь	8,9	2,2	106	< 10 <sup>3</sup>
Июль	9,0	2,0	103	< 10 <sup>3</sup>
Август	9,0	3,0	87	< 10 <sup>3</sup>

Величина  $K_y$  находилась в пределах нормы в первые 2 месяца работы. В августе, в связи с ремонтными работами, станция работала «в нештатном режиме» со средним  $K_y = 3$ . Единичные смены станция работала в режиме с  $K_y = 4–4,5$ , при этом наблюдалось снижение  $T_{Ca}$  до 58% при дозировке ингибитора 20 мг/дм<sup>3</sup>. После восстановления штатного режима работы был произведен визуальный осмотр состояния внутренних поверхностей конденсаторов, причем отложения не были обнаружены. В отдельные дни наблюдалось возрастание

концентрации взвешенных веществ; отсутствие отложений на поверхности оборудования свидетельствует о том, что осадок минеральных солей образуется, но адсорбция ингибитора на поверхности частиц минеральных солей не позволяет им оседать и образовывать крупные агломераты на поверхности оборудования. Величина  $T_{Ca}$  в первые 2 месяца работы свыше 100% свидетельствует об отмывке отложений минеральных солей. Отмывка продолжалась при стабильной работе продувки и постепенно снижалась ввиду очистки поверхностей. Общее микробное число в пределах нормы, что свидетельствует о сохранении бактерицидных свойств ингибитора в жаркое время года.

По итогам проведения ОПИ за норму принято значение  $K_y = 2,3$  с возможностью поднятия до 2,5 при условии сохранения в норме всех остальных показателей. Рабочая дозировка реагента – 5–10 мг/дм<sup>3</sup> с увеличением до 20 мг/дм<sup>3</sup> при ухудшении качества исходной воды или при выходе из штатного режима.

#### Библиографический список

1. Сомов Н. В., Чаусов Ф. Ф. Структура ингибитора солеотложений и коррозии тридекагидрата нитрилотриметилентрифосфонатоцинката тетранатрия  $Na_4[N(CH_2PO_3)_3Zn] \cdot 13H_2O$ . DOI: 10.7868/S0023476113050123 // Кристаллография. 2014. Т. 59. № 1. С. 71–79.

2. Zinc and cadmium nitrilotris(methylenephosphonate)s: A comparative study of different coordination structures for corrosion inhibition of steels in neutral aqueous media / F. F. Chausov, I. S. Kazantseva, S. M. Reshetnikov et al. DOI: 10.1002/slct.202003255 // ChemistrySelect. 2020. Vol. 5. P. 13711–13719.

3. Эффективность цинкового комплекса нитрило-трис-метиленфосфоновой кислоты как ингибитора коррозии меди в системе охлаждения ТЭЦ / Н. Н. Пастухова, Н. М. Погудина, В. А. Яковлев и др. // Теоретические и прикладные аспекты электрохимических процессов и защита от коррозии : материалы I Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2024. С. 168–169.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛОТАЦИИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

*А. А. Писарева<sup>1,2</sup>, А. А. Лавриненко<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Институт проблем комплексного освоения недр  
имени академика Н. В. Мельникова РАН, lavrin\_a@mail.ru,*

<sup>2</sup> *Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
pisareva\_a@ipkonran.ru*

Представлены результаты исследования флотационного извлечения недожога из золошлаковых отходов. Установлено, что наибольшая эффективность извлечения недожога в пенный продукт с учетом экономической эффективности процесса происходит при использовании дизельного топлива (собиратель) и оксаля (пенообразователь). Определены оптимальный расход собирателя и продолжительность процесса флотации.

Ключевые слова: флотация, золошлаковые отходы, углеродсодержащий концентрат, пенообразователь.

Развитие техногенной деятельности человека приводит к увеличению объемов и производств горнодобывающего и обогащительного комплекса, что порождает проблему образования многотоннажных отходов [1–2], в частности, золошлаковых отходов сжигания углей. Ежегодно в России образуется более 25 млн т золошлаков, большая часть которых (88%) не подвергается переработке и поступает на золошлакоотвалы предприятий [3].

В результате размещения отходов на специализированных объектах возможно проникновение водорастворимых компонентов золошлаков в грунтовые воды и источники водоснабжения, что влечет за собой загрязнение окружающей среды токсичными элементами, такими как свинец, ртуть, кадмий. Кроме того, накопленные в золошлакоотвалах отходы представляют собой источник загрязнения воздуха мелкодисперсной пылью, которая вызывает респираторные и другие заболевания населения. В связи с этим, актуальной является задача обеспечения безопасного обращения с золошлаковыми отходами (ЗШО).

В золошлаковых отходах вследствие несовершенства технологии сжигания содержится недожженный уголь в виде кокса и полукокса. Содержание недожога в золошлаках может достигать до 10–15%, что затрудняет рекуперацию ценных металлов вследствие вторичной сорбции металлов на углеродсодержащих частицах. С другой стороны, содержание углерода более 5% препятствует прямому использованию ЗШО в строительной отрасли согласно ГОСТ Р 57789-2017. Одним из способов обработки ЗШО с целью снижения углеродной составляющей отхода является флотация.

В данной работе исследована возможность флотации золошлаковых отходов от сжигания углей марки Д в промышленной котельной Республики Хакасия. Минеральный состав длиннопламенного угля представлен в основном кварцем, муллитом, альбитом и плагиоклазом. По данным элементного анализа, в исследуемых ЗШО наблюдается повышенное содержание ценных элементов, в том числе редкоземельных элементов ( $> 900$  ppm), что указывает на целесообразность их извлечения методом выщелачивания [4].

Эксперименты проводились на лабораторной флотационной машине ФМЛ-3 с объемом камеры 1,5 л. Масса навески при соотношении Т/Ж = 1/5 составляла 300 г. Для исследований были использованы образцы ЗШО узкой фракции – 0,071+0,040 мкм, поскольку данный класс пригоден для дальнейшей комплексной переработки исследуемого отхода.

В качестве собирателя использовали аполярный реагент – дизельное топливо в количестве 4 кг/т, в качестве пенообразователя – гетерополярные реагенты:

- метилизобутилкарбинол (МИБК);
- КЭТГОЛ – кубовые остатки ректификации 2-этилгексанола;
- оксаль – флотоагент, получаемый путем переработки кипящих при высоких температурах продуктов синтеза диметилдиоксана.

Расход каждого пенообразователя составлял 500 г/т. Флотацию проводили в течение 6 мин, при этом отбор концентрата осуществляли каждые 2 мин с целью выявления оптимальной длительности процесса. Анализ полученных продуктов на содержание недожога осуществляли косвенным методом после

сжигания образцов по ГОСТ 11022-95 «Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности». Результаты экспериментов приведены в таблице.

*Таблица*

**Результаты выделения недожога из золошлаковых отходов  
методом флотации**

Образец		Время отбора, мин	Выход пенного продукта, %	Содержание углерода, %	Зола, %	Извлечение недожога, %
Исходный		0	0	3,83	95,48	0
МИБК	Пенный продукт	2	7,38	22,78	77,01	43,86
		4	3,63	11,86	88,11	11,23
		6	4,89	3,88	96,24	4,95
Оксаль	Пенный продукт	2	1,63	38,87	58,41	16,58
		4	2,63	27,06	71,04	18,42
		6	1,29	19,29	78,86	6,50
КЭТГОЛ	Пенный продукт	2	1,35	23,56	74,67	8,28
		4	2,68	16,23	82,43	11,36
		6	3,20	12,44	86,36	10,39

Представленные в таблице данные свидетельствуют, что из исследуемых реагентов-пенообразователей наиболее эффективное извлечение недожога в пенный продукт (60%) наблюдается при комбинации дизельного топлива и МИБК.

Наименьшее содержание золы в пенном продукте (58–79%) выявлено при использовании пенообразователя оксаль, что указывает на селективность процесса и перспективность переработки. Важно отметить, что пена, полученная при действии оксаля, характеризуется высокой стабильностью по сравнению с пеной, образующейся от применения МИБК. В последнем случае наблюдается высокое содержание золы в пенном продукте (77–96%).

Таким образом, наиболее эффективным сочетанием реагентов является оксаль с дизельным топливом. При проведении одностадийной флотации был получен углеродсодержащий концентрат с зольностью 69,5% и извлечением недожога на уровне 41,5%. Результаты исследований показывают, что сочетание дизельного топлива с гетероциклическим пенообразователем, содержащим эфирные связи, демонстрирует большую эффективность по сравнению с пенообразователями на основе алифатических спиртов.

На следующем этапе работы было исследовано влияние расхода собирателя на эффективность извлечения недожога (рис.). На основании ранее проведенных исследований в качестве пенообразователя был выбран оксаль.

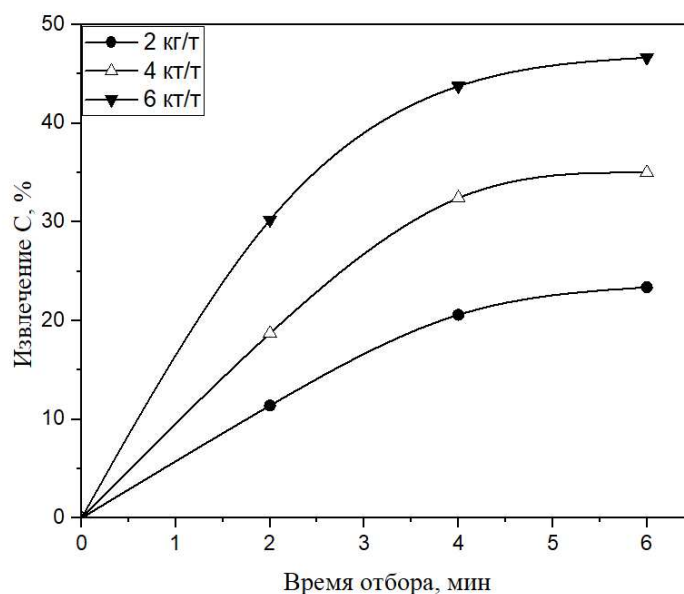


Рис. Кинетические кривые флотации недожога

Результаты, представленные на рисунке, показывают, что при расходе собирателя, равном 6 кг/т, получен углеродсодержащий концентрат более высокого качества с извлечением недожога 46,6%. Однако при повышении дозы собирателя до 6 кг/т снижается интенсивность образования пены, что затрудняет процесс сбора пенного продукта. Полученные результаты указывают на необходимость увеличения дозы пенообразователя.

При дозе собирателя, равной 2 кг/т, пенный продукт характеризуется высокой зольностью (до 93,8%) и низким извлечением углерода (32,5%). В связи с этим, при использовании пенообразователя оксаля с дозировкой 500 г/т, наиболее подходящая доза собирателя составляет 4 кг/т.

Анализ кинетической зависимости извлечения углерода от времени процесса на всех этапах работы указывает на максимальную эффективность при достижении 4-й минуты отбора пенного продукта, что позволяет определить данное время в качестве оптимального.

Полученный углеродсодержащий концентрат может быть использован как вторичное топливо вместе с основным. Камерный продукт, обедненный углеродом, является подходящим материалом для проведения следующих этапов комплексной переработки ЗШО с целью извлечения ценных элементов.

Переработка отходов во вторичные сырьевые материалы, которые могут быть использованы в различных отраслях, будет способствовать экономии ресурсов и повышению рентабельности за счет сокращения затрат на сырье и уменьшения объема отходов, подвергающихся размещению [5].

#### Библиографический список

1. Кузин Е. Н., Кручинина Н. Е. Получение комплексных коагулянтов на основе минеральных концентратов и их использование в процессах очистки воды // Обогащение руд. 2019. № 3. С. 43–48



2. Кузин Е. Н., Кручинина Н. Е. Получение комплексных коагулянтов на основе крупнотоннажных отходов и продуктов промышленных производств // Цветные металлы. 2021. № 1. С. 13–18.

3. Кунилова И. В., Крылов И. О. К вопросу комплексной переработки золы сжигания каменных углей предприятий теплоэлектроэнергетики // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. (г. Киров, 14–15 ноября 2023 г.). Киров : Вятский государственный университет. 2023. С. 11–15.

4. Лавриненко А. А., Кунилова И. В., Гольберг Г. Ю. Влияние низкотемпературного обжига золы от сжигания углей с щелочными реагентами на эффективность извлечения ценных компонентов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 10. С. 104–121.

5. Kuzin E. N., Kruchinina N. E. Use of metallurgical scale in the processes of engineering protection of the environment // CIS Iron and Steel Review. 2022. Vol. 24. P. 93–97.

## **БИОДЕГРАДАЦИЯ ПЕРФТОРКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ В ПОЧВЕ И ВОДЕ БАКТЕРИЯМИ РОДОВ *PSEUDOMONAS*, *ENSIFER* И ИХ АССОЦИАЦИЯМИ**

*Д. А. Шарипов, С. П. Четвериков*

*Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, male886@yandex.ru*

В ходе работы подобраны ассоциации бактерий, способных к деструкции перфторкарбонových кислот (ПФКК) в почве и жидкой среде. Показано, что биодеструкция этих соединений ассоциациями бактерий родов *Pseudomonas* и *Ensifer* выше, чем монокультурами. Полученные данные позволяют рекомендовать данные ассоциации в качестве основы биопрепарата для очистки объектов, загрязненных фторорганическими соединениями.

Ключевые слова: дефторирование, фторорганические соединения, перфторкарбонové кислоты, биодеструкция, ассоциации микроорганизмов.

В 2022 г. в ходе всестороннего поиска в общедоступных источниках было выявлено более 19 млн фторированных химических веществ, почти все из которых были созданы человеком в течение последнего столетия [1]. Коммерческие пер- и полифторированные органические соединения используются более чем в двухстах различных областях [2]. В период с 1998 по 2020 гг. более половины всех одобренных Международной организацией по стандартизации (ISO) сельскохозяйственных химикатов были фторированными [3]. Более 20% новых фармацевтических препаратов являются фторированными, в основном это ароматические циклические соединения [4, 5]. Несмотря на усиление контроля со стороны регулирующих органов, подавляющее большинство этих фторированных соединений остаются нерегулируемыми, а информация об их биоразложении и, следовательно, долговечности в окружающей среде практически отсутствует. Общеизвестно, что биологическое разложение поллютантов хорошо зарекомендовало себя при деструкции нефтезагрязненных грунтов и по эффективности, а также степени очистки не имеет альтернатив. Существенной проблемой в вопросе биоразложения перфторкарбонových кислот (ПФКК) является

устойчивость связи С–F. Описано несколько штаммов, способных к расщеплению такой связи. Среди них *Acidimicrobium* sp. А6 [6], *Delftia acidovorans* D4В [7], *Pseudomonas parafulva* УАВ-1 [8] и *P. aeruginosa* НJ4 [9]. Ранее нами было исследована возможность деструкции ПФКК монокультурами бактерий [10].

Целью данной работы было оценить способность бактерий родов *Pseudomonas* и *Ensifer* и их ассоциаций к биодegradации ПФКК в условиях модельных экспериментов в почве и жидкой среде, загрязненной перфтороктановой (С<sub>8</sub>) и перфторнонановой (С<sub>9</sub>) кислотами. Нами было поставлено два эксперимента для определения наилучшей комбинации штаммов-деструкторов ПФКК в различных условиях: в почве и жидкой среде.

Так, к концу эксперимента в почве (60 сут) ассоциации штаммов 5(3)+M1 и 2,4-D+M1 показали рост на два порядка, по сравнению со штаммами 5(3), 2,4-D и M1, которые выросли лишь на порядок, как и ассоциация штаммов 5(3)+2,4-D. Также при этом ассоциации, включающие в себя штамм M1, показали наилучшие результаты в плане снижения концентрации ПФКК в почве (рис. 1).

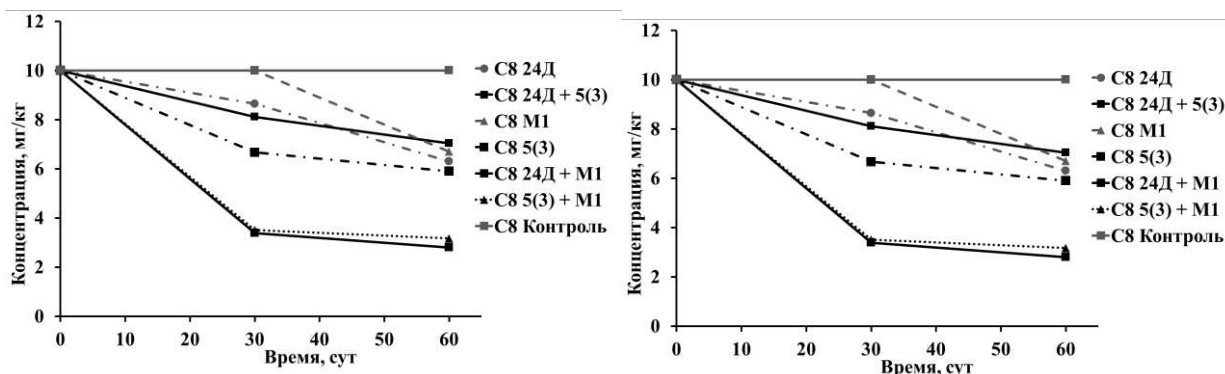


Рис. 1. Динамика снижения концентраций С<sub>8</sub> (а) и С<sub>9</sub> (б) ПФКК в почве под воздействием микроорганизмов-деструкторов, их ассоциаций и при их отсутствии

В варианте 2,4-D+M1 наблюдалось снижение концентрации с 10 до 4,3 мг/кг (на 57%) в случае с перфторнонановой кислотой и до 2,8 мг/кг (на 72%) в случае с перфтороктановой кислотой. Ассоциация 5(3)+M1 показала следующие результаты: биодеструкция на 60% в варианте с перфторнонановой кислотой и 68% с перфтороктановой кислотой. Деструкция в вариантах с одиночными штаммами за тот же промежуток времени не превысила 52%. Штамм 2,4-D снижал загрязнение до 4,8 мг/кг (на 52%), 5(3) – до 5,6 мг/кг (на 46%), M1 – до 6,6 мг/кг (на 34%) в случае с С<sub>9</sub> кислотой. В варианте с С<sub>8</sub> кислотой были следующие результаты биодеструкции: штамм 5(3) – до 5,9 мг/кг (на 41%), 2,4-D – до 6,3 мг/кг (на 37%), M1 – до 6,7 мг/кг (на 33%)

По результатам эксперимента в жидкой среде ассоциации штаммов, содержащие в составе штамм M1 показали наилучшие результаты (рис. 2).

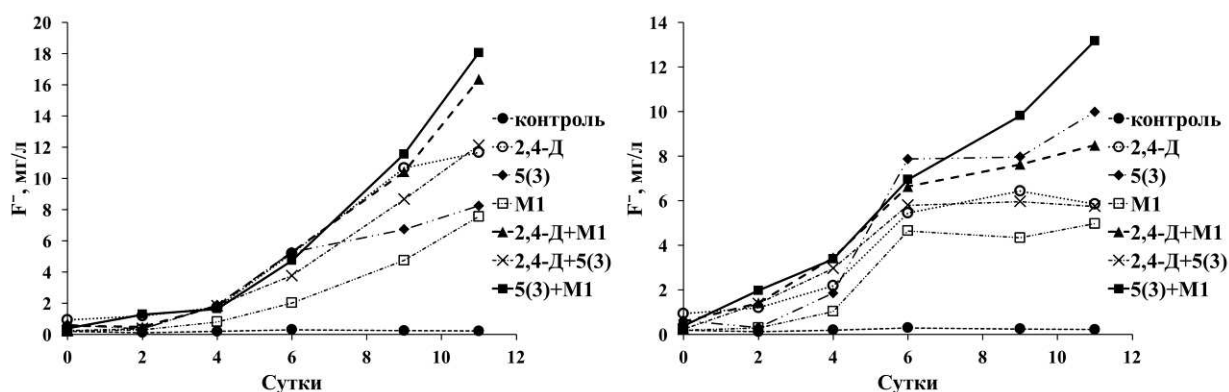


Рис. 2. Динамика накопления фторид-ионов микроорганизмами и их ассоциациями при росте на среде Раймонда с  $C_8$ (а) и  $C_9$ (б) перфторкарбоновыми кислотами в качестве единственного источника углерода и энергии

На 11-е сутки концентрация  $F^-$  составила 16 мг/л и 18 мг/л соответственно. Ни один из штаммов индивидуально не был способен к такой степени разложения ПФКК. Распределение концентраций накопленного фторид-иона для монокультур на 11 сутки составляло для М1 – 5 мг/л, для 5(3) – 10 мг/л и для 2,4-Д – 6 мг/л.

В ходе проведенных экспериментов было показано, что при использовании комбинации микроорганизмов для биологической деструкции  $C_8$  и  $C_9$  перфторкарбоновых кислот возможна более активная деструкция ПФКК в сравнении с монокультурами. Наибольшая биодеструкция ПФКК в жидкой среде (концентрация фторид-ионов) и почве (снижение концентрации ПФКК) наблюдались при совместном культивировании штаммов бактерий 5(3)+М1 и 2,4-Д+М1.

Полученные экспериментальные данные позволяют создать на основе ассоциаций микроорганизмов-деструкторов эффективные биологические препараты и технологии очистки объектов, загрязненных фторорганическими соединениями.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-24-00154). Использовалось оборудование ЦКП «Агидель» УФИЦ РАН.*

#### Библиографический список

1. Extraction of chemical structures from literature and patent documents using open access chemistry toolkits: A case study with PFAS / S. J. Barnabas, T. Böhme, S. K. Boyer et al. DOI: 10.1039/d2dd00019a // Digit. Discov. 2022. No. 1. P. 490–501.
2. Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment / M. G. Evich, M. J. B. Davis, J. P. McCord et al. DOI: 10.1126/science.abg9065 // Science. 2022. No. 375. Article No. eabg9065.
3. Current contributions of organofluorine compounds to the agrochemical industry / Y. Ogawa, E. Tokunaga, O. Kobayashi et al. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101467 // Iscience. 2020. No. 23. Article No. 101467.
4. Revisiting pesticide pollution: The case of fluorinated pesticides / D.A Alexandrino, C.M.R Almeida, A.P. Mucha, M.F. Carvalho. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118315 // Environ. Pollut. 2022. No. 292. Article No. 118315.

5. Inoue M., Sumii Y., Shibata N. Contribution of organofluorine compounds to pharmaceuticals // ACS Omega. 2020. No. 5. P. 10633–10640.
6. Huang S., Jaffé P. Defluorination of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) by *Acidimicrobium* sp. Strain A6 // Environmental Science & Technology. 2019. Vol. 53. No. 19. P. 11410–11419.
7. Engineering and characterization of dehalogenase enzymes from *Delftia acidovorans* in bioremediation of perfluorinated compounds / J. Harris, C. Coon, M. Doherty et al. DOI: 10.1016/j.synbio.2022.02.005 // Synthetic and Systems Biotechnology. 2022. Vol. 7. No. 2. P. 671–676.
8. Bacterial Biodegradation of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorosulfonic Acid (PFOS) Using Pure Pseudomonas Strains / F. L. Chiriac, C. Stoica, C. Iftode et al. DOI: 10.3390/su151814000 // Sustainability. 2023. No 15. Article No. 14000.
9. Biodegradation of perfluorooctanesulfonate (PFOS) as an emerging contaminant / B. G. Kwon, H. J. Lim, S. H. Na et al. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.01.072 // Chemosphere. 2014. No. 109. P. 221–225.
10. Biodegradation Potential of C7-C10 Perfluorocarboxylic Acids and Data from the Genome of a New Strain of *Pseudomonas mosselii* 5(3) / S. Chetverikov, G. Hkudaygulov, D. Sharipov et al. DOI:10.3390/toxics11121001 // Toxics. 2023. No. 11. Article No. 1001.

## **ШТАММЫ ЧЕРНОГО АСПЕРГИЛЛА, ПРЕВРАЩАЮЩИЕ ТОКСИКАНТ ПЕРВОГО КЛАССА ОПАСНОСТИ В УДОБРЕНИЕ**

*А. З. Миндубаев<sup>1</sup>, Э. В. Бабынин<sup>1</sup>, С. Т. Минзанова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Федеральный исследовательский центр КазНЦ РАН,*

<sup>2</sup> *Институт органической и физической химии*

*имени А. Е. Арбузова КазНЦ РАН, mindubaev-az@yandex.ru*

Известна способность микроорганизмов к существованию в самых неблагоприятных для жизни условиях. Нами выделен штамм гриба черного аспергилла, выживающий в присутствии элементного фосфора, белого и красного. Способность к выживанию дополняется способностью превращать эти ядовитые соединения в ценный компонент питания – соли фосфорной кислоты.

Ключевые слова: *Aspergillus niger*, биодegradация, токсичные соединения фосфора.

Биодegradация является важным методом переработки промышленных отходов. Населяющие Землю микроорганизмы приспособляются к самым неблагоприятным условиям существования и являются своего рода «иммунной системой» биосферы, способной перерабатывать в биогенные элементы рукотворные вещества практически любого химического строения и класса опасности.

Одностадийный метаболизм сильно токсичного формальдегида в биологические молекулы – сахара и аминокислоты [1], указывает на совершенство биохимии микроорганизмов (рис. 1), позволяющее обезвреживать даже вещества первого класса опасности [2], такие как белый фосфор [3].

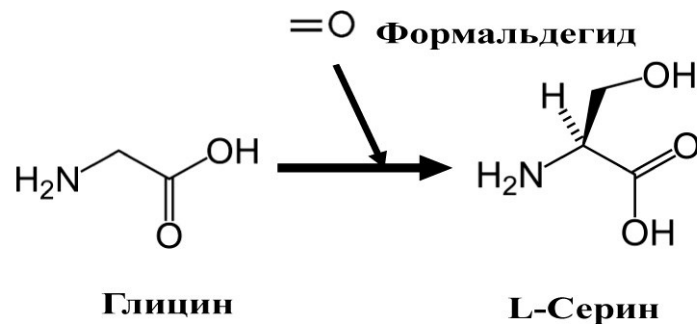


Рис. 1. Включение формальдегида в состав аминокислоты в одну стадию – убедительный пример биодegradации [1]

Наш коллектив занимается исследованием биодegradации уже более пятнадцати лет. Из них десять мы изучаем интересный штамм гриба черного аспергилла *Aspergillus niger* F-4815D, выделенный в октябре 2014 года из уникального источника – емкости с кусковым белым фосфором, заполненной водой. Споры гриба выжили в этих уникальных условиях, и, более того, аспергилл оказался способен обезвреживать белый фосфор.

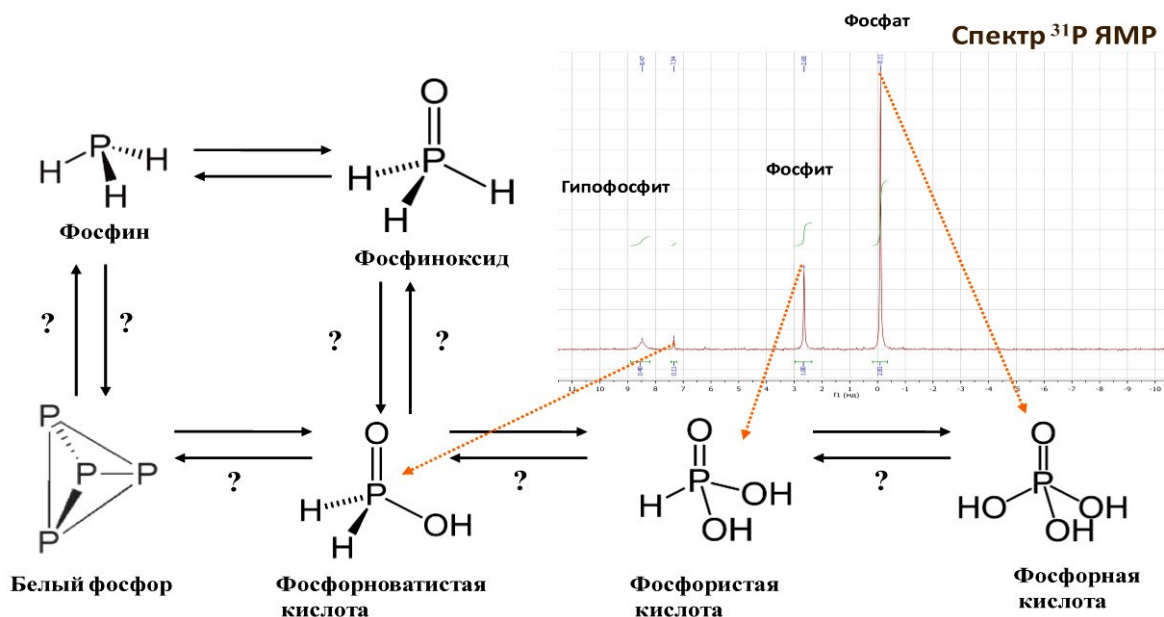


Рис. 2. Предполагаемый метаболический путь белого фосфора (знаком вопроса обозначены еще не обнаруженные превращения)

Известно, что практически во все среды, используемые для культивирования микроорганизмов, вносят растворимые фосфаты натрия или калия. Фосфор является биогенным элементом и необходим для роста абсолютно всех форм жизни. Выделенный нами гриб растет в культуральной среде, содержащей белый фосфор в качестве единственного источника фосфора (табл.), то есть окисляет белый фосфор до фосфата и включает его в состав растущей биомассы. Биодegradацию белого фосфора – крайне токсичного и опасного в обращении вещества, относящегося к первому классу опасности и применяемо-

го в военных целях, наш коллектив наблюдал впервые в мире. Аналогичных работ в статьях и патентах на русском и на английском языках мы не нашли.

Таблица

**Рост *Aspergillus niger* в средах с различными источниками фосфора  
через шесть суток после посева**

Источник фосфора	Количество колоний <i>A. niger</i>	Внешний вид колоний
$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O - 7,4$ г, $KH_2PO_4 - 2,38$ г	49	Крупные спорообразующие
$P_4 - 0,05\%$ масс	11	Спорообразующие, замедленный рост
Отсутствует	33	Мелкие, спорообразование снижено

Дальнейшие исследования показали, что штамм аспергилла способен обезвреживать красный фосфор – другую аллотропную модификацию этого элемента, более стабильную, чем белый фосфор. В связи с этим мы стали расширять поиск веществ, разлагаемых *A. niger* F-4815D. Начали с веществ, содержащих фосфор. Выяснили, что он растет в средах, содержащих фосфонаты (в том числе гербицид глифосат), дитиофосфаты, фосфорамиды, фосфорномолибденовую и фосфорновольфрамную кислоты [4]. Кроме того, штамм оказался солубилизатором фосфата – он хорошо растет в средах с нерастворимым в воде ортофосфатом кальция.

Филогенетическое дерево штамма, построенное по базе нуклеотидных последовательностей NCBI показало, что ближайшими родственниками AM1 являются два штамма *Aspergillus niger* из Китая (обнаружены недалеко от Нанкина), которые также солубилизируют нерастворимые фосфатные минералы. В целом, кластер штаммов, к которому относится наш штамм, распространен в Юго-Восточной Азии и Индостане. Вероятно, белый фосфор, с которым мы работаем, был произведен в Китае, и вместе с ним к нам был завезен китайский штамм гриба.

Исследования показали, что белый фосфор оказывает заметное воздействие на белковый профиль и морфологию нашего штамма. Включаются защитные механизмы – утолщение и изменение структуры клеточной стенки, рост числа и размера митохондрий, появление новых белков в протеоме. Интересно, что в декабре 2016 года мы получили дочерний штамм гриба *A. niger* F-4816D, еще более адаптированный к росту в среде с белым фосфором. Утолщённая клеточная стенка и увеличенные митохондрии у него наблюдаются и в контроле, в отсутствии этого токсичного вещества [4].

В настоящее время мы исследуем биodeградацию при помощи F-4815D и F-4816D веществ, не содержащих фосфор, – различных составов нефти и нефтепродуктов, древесины и продуктов ее переработки. Также планируем изучать переработку полимерных материалов данными штаммами.

### Библиографический список

1. Yurimoto H., Kato N., Sakai Y. Assimilation, Dissimilation, and Detoxification of Formaldehyde, a Central Metabolic Intermediate of Methylophilic Metabolism. DOI: 10.1002/tcr.20056 // The Chemical Record. 2005. Vol. 5. No. 6. P. 367–375.
2. Микробная деградация промышленных отходов (обзор) / Л. И. Домрачева, Т. Я. Ашихмина, Т. С. Елькина, А. Р. Гайфутдинова. DOI: 10.25750/1995-4301-2014-2-006-016 // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2. С. 6–16.
3. Олькова А. С., Ашихмина Т. Я. Эффективность методов биотестирования при оценке состояния почв в зоне локального загрязнения техногенным минеральным фосфором. DOI: 10.25750/1995-4301-2008-4-0107-117 // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 4. С. 107–117.
4. Biological Degradation of Yellow (White) Phosphorus, a Compound of First Class Hazard / A. Z. Mindubaev, E. V. Babynin, E. K. Bedeeva et al. DOI: 10.1134/S0036023621080155 // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2021. Vol. 66. No. 8. P. 1239–1244.

**СЕКЦИЯ 4**  
**СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ**  
**БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.**  
**ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ**  
**АСПЕКТЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ**

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ**  
**КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**  
**ДО НАЧАЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ ФИЛИАЛА ЭКОТЕХНОПАРКА**  
**«МИРНЫЙ»**

*Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, А. С. Тимонов<sup>1,2</sup>, Е. В. Дабах<sup>2</sup>, Е. А. Домнина<sup>1,2</sup>,  
Г. Я. Кантор<sup>1,2</sup>, Т. И. Кочурова<sup>3</sup>, Т. И. Кутявина<sup>1</sup>, М. Л. Сазанова<sup>1,2</sup>,  
В. В. Рутман<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет,*

<sup>2</sup> *ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com,*

<sup>3</sup> *Государственный природный заповедник «Нургуш»*

На территории проектируемого производственно-технического комплекса по утилизации, обезвреживанию и переработке промышленных отходов в Оричевском районе Кировской области проведено экологическое обследование природных сред и объектов. В статье представлены наиболее интересные результаты, полученные при проведении обследования: информация об изменении содержания фосфора в подземных водах за три года наблюдений (2014, 2019 и 2024), свидетельствующая о смещении ореола повышенных концентраций фосфора со временем; даны результаты оценки состояния атмосферного воздуха, воды и донных отложений методами биоиндикации, предложено при проведении мониторинга почв учитывать пространственное варьирование показателей и в качестве фонового принимать диапазон концентраций, выявленных на соответствующих участках мониторинга в разные годы наблюдений.

Ключевые слова: экологическое обследование, компоненты природных сред и объектов, загрязняющие вещества, фоновые значения показателей.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации предприятия по утилизации и переработке отходов создаются для развития экономики замкнутого цикла с целью вовлечения максимального количества сырья из отходов в оборот. На территории промышленной площадки бывшего объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» в Оричевском районе Кировской области с этой целью создается Экотехнопарк «Мирный». Промышленная площадка Экотехнопарка будет включать комплекс зданий и сооружений, обеспечивающий обезвреживание, утилизацию и переработку промыш-



ленных отходов I и II классов опасности. На создаваемом производственно-техническом комплексе (ПТК), в рамках проектной документации, планируется оборудовать три линии обезвреживания и утилизации промышленных отходов. Для обезвреживания гальванических отходов, шламов планируется применение физико-химических технологий; ртутьсодержащие отходы планируется обезвреживать методом демеркуризации; утилизацию органических масел, полимерных материалов и отходов проектируется обеспечивать методом высокотемпературной плазменной переработки. В соответствии с этим создаваемые ПТК относятся к предприятиям I категории опасности и создаются они на территориях с использованием инфраструктуры бывших объектов уничтожения химического оружия. Опасность данных ПТК для окружающей среды заключается в утилизации промышленных отходов различного состава, содержащих ртуть, цинк, свинец, мышьяк, нефтепродукты, гальванические элементы, остатки лакокрасочных материалов, отработанные технические масла, формовочную смесь, производственную пыль и другие вещества. К наиболее токсичным промышленным отходам относятся: промышленный шлам; оборудование, использовавшееся на газодобывающих, нефтеперерабатывающих предприятиях; системы очистки выбросов, выработавшие ресурс или вышедшие из строя; органические материалы, вступавшие в контакт с химическими реагентами, нефтепродуктами и другие [1–5].

В связи с этим особое внимание при эксплуатации ПТК должно уделяться системам по обеспечению экологической безопасности, организации экологического мониторинга и контроля состояния прилегающих территорий. Поэтому ещё на этапе проектирования до начала производственной деятельности ПТК целесообразно провести экологическое обследование территорий создаваемых предприятий, и в особенности утвержденных их санитарно-защитных зон с целью определения значений показателей потенциальных загрязняющих веществ.

Целью выполнения работ по экологическому обследованию состояния компонентов окружающей среды до начала эксплуатации «Производственно-технического комплекса по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I–II классов опасности «Марадыковский»» на территории Оричевского района Кировской области является оценка состояния почв, подземных и поверхностных вод, донных отложений, растительности, выявление фоновых значений химических показателей для обеспечения создаваемой на филиале «Экотехнопарк «Мирный»» ФГУП «ФЭО» системы производственного экологического контроля и мониторинга.

К работам по экологическому обследованию территории, установлению фоновых значений показателей экологического контроля и мониторинга в районе создаваемого ПТК «Марадыковский» в Кировской области Федеральным экологическим оператором (ФГУП «ФЭО») был привлечен коллектив лаборатории биомониторинга ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного университета.

С целью оценки экологического состояния природных сред и объектов, в соответствии с техническим заданием, проводилось полевое обследование растительности, почв, водных объектов, которое сопровождалось отбором проб на

физико-химический и биологический анализы. Работы проводились в присутствии представителей ПТК.

В ходе полевого обследования было описано 9 ключевых участков оценки состояния растительности, из них: 7 – лесных и 2 – луговых. Проведено обследование двух водоёмов–прудов, отобраны пробы воды, донных отложений, макрозообентоса. Отобраны пробы воды из 6 наблюдательных скважин. Обследованы почвы на 4 площадках, расположенных по 4 румбам относительно объекта. Две площадки заложены на старопахотных землях под луговой растительностью, две – под лесом. Почвы на площадках под лесной растительностью – среднеподзолистые и сильноподзолистые песчаные на древнеаллювиальных отложениях, под луговой – дерново-подзолистые супесчаные на водноледниковых песках.

Физико-химический анализ отобранных проб проведен в аккредитованных лабораториях, имеющих область аккредитации согласно требований Федерального закона от 28.12.2013 № 412-ФЗ «Об аккредитации в национальной системе аккредитации» и Федерального закона от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» в объеме услуг, предусмотренных техническим заданием. Были привлечены LabCluster – ООО «Лаборатория» (г. Санкт-Петербург), Экоаналитическая лаборатория ВятГУ (г. Киров), Экоаналитическая лаборатория ИБФИЦ Коми НЦУрО РАН (г. Сыктывкар), Аналитический сертификационный испытательный центр ФГБУН Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН – ИПТМ РАН (г. Черноголовка, Московской обл.).

Для оценки состояния природных сред и объектов, определения фоновых значений потенциальных загрязняющих веществ до начала эксплуатации ПТК наряду с результатами полевого обследования были использованы фондовые материалы бывшего обследования территории при создании объекта уничтожения химического оружия, организации экологического контроля и мониторинга во время его эксплуатации, материалы инженерно-экологических изысканий на проектирование строительства ПТК «Марадыковский».

На основании результатов обследования почв, выполненных в 2014, 2019, 2024 гг., с учетом пространственного и временного варьирования состава и свойств почв, определены содержания потенциальных загрязняющих веществ в почвах до начала функционирования ПТК, на которые следует ориентироваться при проведении мониторинга и оценке загрязнения почв, особенно в тех случаях, когда отсутствуют данные по региональному фону, ПДК и ОДК. При оценке состояния почв выявлены превышающие ОДК концентрации мышьяка в подзолистых почвах – до 3,5 мг/кг при ОДК для песчаных подзолистых почв – 2. Отмечены значительно более высокие концентрации подвижного фтора до 10,4 мг/кг при ПДК 2,8, а также диапазон варьирования содержания серы – до 600 мг/кг при ПДК 160 мг/кг. В почвенных образцах было определено содержание диоксинов. Диоксины присутствуют в почвах на обследованных участках в значимых (более предела обнаружения метода) количествах, но менее установленного ПДК.

Для оценки состояния подземных (грунтовых) вод в соответствии с Техническим заданием (ТЗ) отбирались пробы воды из скважин, пробуренных и оборудованных для наблюдений в период строительства объекта УХО (скв. 1041/3 и 1041/6), после завершения его деятельности в период ликвидации её последствий и строительства полигона размещения отходов (скв. 2010/8, 16-Н и 18-Н), а также при выполнении инженерно-экологических изысканий для строительства ПТК «Марадыковский» (скв. 12-Н).

Одновременно с отбором проб проводились замеры уровней воды в скважинах, определялись их глубины.

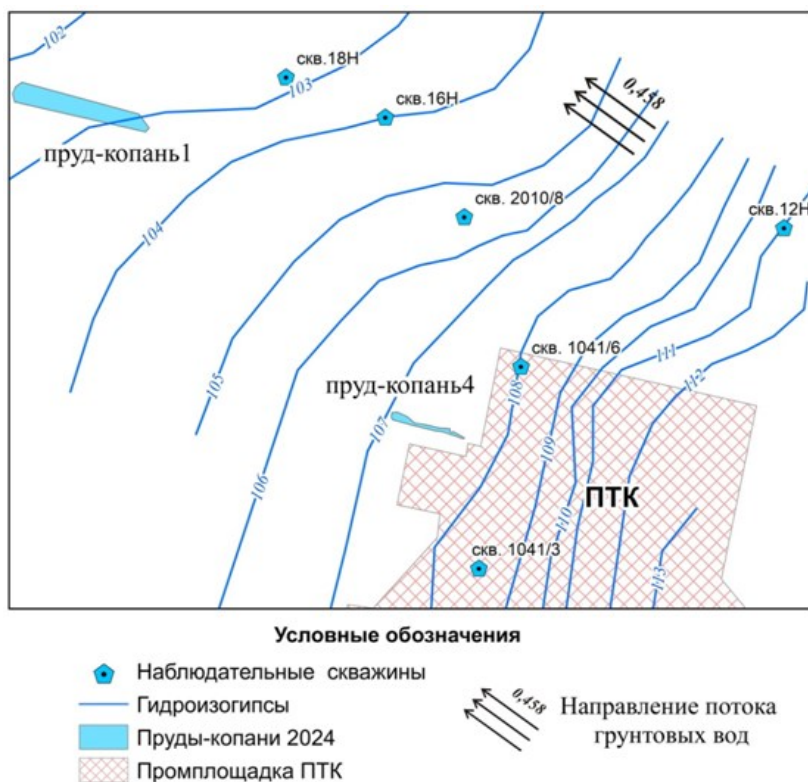


Рис. Карта-схема расположения наблюдательных скважин и прудов-копаней

В двух наблюдательных скважинах – в фоновой скважине и в скважине, расположенной на самом дальнем расстоянии от создаваемого объекта, – определены высокие значения БПК и ХПК в воде, вероятно, за счет природной органики. Высокое содержание железа и марганца, отмеченное в пробах подземных вод, характерно для природных вод региона. Весьма интересные закономерности проявляются при анализе содержания фосфора в пробах подземной воды. В частности, ореол высоких концентраций фосфора, выявленный на промплощадке в 2019 г., к 2024 г. сместился в направлении потока подземных вод к северо-западу и в аналогичных концентрациях обнаружен в скважине 16.

В поверхностных водоёмах (двух прудах № 1 и № 4 на рис.) проведена оценка состояния водоёмов с применением методов биоиндикации, исследовано состояние макрозообентоса, определены таксономический состав донных беспозвоночных, количественные показатели зообентоса. Установлено, что в составе макрозообентоса прудов обитают представители 41 таксона видового и надвидового рангов из 20 систематических групп, относящихся к шести типам

(Cnidaria, Nemathelminthes, Annelida, Bryozoa, Mollusca, Arthropoda). Анализ полученных данных показал, что по биотическому индексу Вудивисса вода в обоих прудах характеризуется вторым классом качества (чистая). Наибольшей устойчивостью к загрязнению и относительно благополучной экологической ситуацией отличались донные сообщества пруда № 4, в котором выявлен более богатый таксономический состав водных организмов, в том числе организмов-индикаторов чистых вод.

Комплексное обследование водоемов необходимо для оценки устойчивости и поддержания биологического разнообразия водных экосистем на исследуемой территории. Оптимальная периодичность наблюдений предполагает ежегодный двукратный отбор проб макрозообентоса: весной (после окончания снеготаяния) и в конце лета – начале осени (в период наиболее активного функционирования донных сообществ).

Оценка состояния атмосферного воздуха по содержанию в хвое сосны обыкновенной исследуемых химических элементов свидетельствует о том, что на участках, расположенных ближе к промышленной площадке, количество фосфора, мышьяка, марганца, железа, кадмия значительно выше, чем на отдаленных участках. Такая же тенденция проявляется при анализе пространственного распределения содержания элементов в пробах лишайника гипогимния вздутая.

Таким образом, проведенные исследования позволили оценить современное состояние природного комплекса вокруг строящегося ПТК. Сравнение результатов обследования с данными прошлых лет дало возможность выявить тенденции распространения веществ в подвижных средах. Определены диапазоны фоновых значений концентраций веществ в почвах на площадках мониторинга. Показана эффективность методов биоиндикации в оценке состояния атмосферного воздуха и поверхностных вод.

#### **Библиографический список**

1. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (последняя редакция).
2. Корольков М. И., Мажуга А. Г. 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.
3. Петрова А.С. Новые условия обращения с отходами I и II классов опасности. Перспективы для бизнеса и государства. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-4-203-209 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 203–209.
4. Федеральный проект «Инфраструктура для обращения с отходами I и II классов опасности». 2019.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 14.11.2019 № 2684-р.

# ОСНОВЫ ЭКОЛОГО-МЕТОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ И ЗАЩИТЫ БИОТОПОВ ОТ РАЗРУШЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВРЕДНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

*А. Э. Харитонов, А. Н. Федосеев, А. С. Макарова*

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
Институт химии и проблем устойчивого развития,  
serdiner2016@yandex.ru, andrew7080@yandex.ru, annmakarova@mail.ru*

В исследовании были представлены результаты определения пределов устойчивости и толерантности растений к различным загрязняющим веществам, таким как соли ртути, продукты нефтегазовой промышленности (WD-40) и поверхностно-активные вещества (ПАВ). Было установлено, что использование гидропоники в качестве модельной среды является наиболее эффективным и точным подходом для изучения воздействия загрязнителей на растения [1].

Ключевые слова: предел толерантности растений, устойчивость растений к поллютантам, воздействие тяжелых металлов на растения, биоаккумуляция, гидропоника.

Внедрение гидропоники в качестве инструмента для исследования толерантности и выносливости растений к загрязняющим веществам считается одним из современных способов изучить способность растений к воздействию пагубных факторов. Использование гидропоники для анализа обнаружения тяжелых металлов в растениях составляет примерно 1,5% от общего числа исследований по тематике «Гидропонные технологии». Этот метод является эффективным и позволяет быстро и точно определять тяжелые металлы в различных видах растений.

Целью исследования является подготовка методологических основ для возможности и использования гидропоники в качестве анализирующего метода исследования толерантности и устойчивости растений к пагубным средам [2]. Для достижения нашей цели мы использовали лабораторные исследования, анализ и обобщение информации, статистические методы, а также системный подход, объединяющий аналитические и синтетические методы исследования, натурные наблюдения, эксперименты и моделирование. Мы также применили количественные методы анализа, такие как измерения, расчеты и математический анализ, для интерпретации полученных данных [3].

Выбраны растения, способные накапливать или переносить тяжелые металлы: горчица, редька дайкон, клевер и базилик. Была проведена дезинфекция и стерилизация семян.

Установлена система гидропоники для выращивания выбранных растений в контролируемых условиях, обеспечение оптимальных условий для их роста. Для эксперимента была собрана гидропонная установка с системой периодического затопления. [4]. Схема используемой гидропоники с периодическим затоплением показана на рисунке 1.

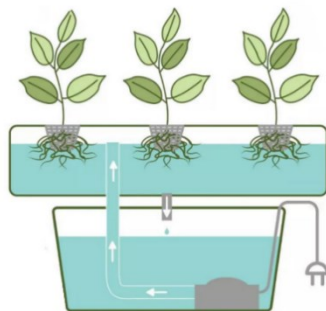


Рис. 1. Схема гидропоники с периодическим затоплением

Экологи РХТУ имени Д. И. Менделеева разработали новый состав гидропонного раствора с увеличенным содержанием азота и широким спектром микроэлементов, представленных в хелатной форме, что обеспечило большую стабильность раствора. Это было важно для уменьшения воздействия нестабильных форм металлов в растворе на тяжелые металлы в загрязнителях, влияние которых на растения мы планируем изучать [5].

Внесены изучаемые загрязнители в среду гидропоники различными концентрациями, создавая загрязненную среду. В контейнере «Эталон» росли растения только в гидропонном составе без добавления загрязняющих веществ и стимуляторов роста.

В контейнер «Hg-1» и «Hg-2» на 10-й день эксперимента были добавлены соли ртути  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  разных концентраций: 5 и 100 ПДК соответственно. Далее на 20-й день вегетационного эксперимента концентрацию увеличили в 2 раза до 10 и 200 ПДК соответственно. Увеличение концентрации происходило в 2 этапа в соответствии с вегетационным этапом роста растений.

В контейнере «Орг-1» и «Орг-2» на 10-й день эксперимента были добавлены органические вещества – раствор WD-40, содержащий популярные органические загрязнители: уайт-спирит (нефрас-С4-155/200), минеральное моторное масло, бензин и парафины. Концентрация органических загрязнителей равнялась 0,5 мл/л и 2 мл/л гидропонного раствора соответственно. Далее на 20-й день вегетационного эксперимента концентрацию увеличили в 2 раза до 1 мл/л и 4 мл/л соответственно.

В контейнере «ПАВ-1» и «ПАВ-2» на 10-й день эксперимента были добавлены лауретсульфат натрия – амфифильный ПАВ, содержащийся в моющих средствах. Концентрация ПАВ равнялась 0,5 мл/л и 2 мл/л гидропонного раствора соответственно. Далее на 20-й день вегетационного эксперимента концентрацию увеличили в 2 раза до 1 мл/л и 4 мл/л соответственно. Блок-схема расположения контейнеров при проведении эксперимента указана на рисунке 2.

Проведено регулярное отслеживание роста, развития и здоровья растений под воздействием тяжелого металла, проведены измерения уровня аккумуляции металла и изменения физиологических показателей.

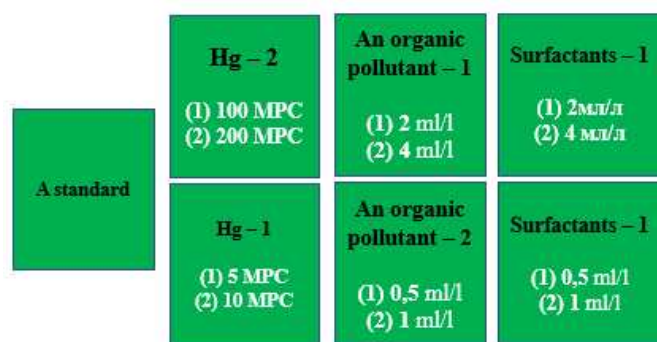


Рис. 2. Схема контейнеров с указанием концентраций загрязнителей

В ходе эксперимента были собраны данные о росте растений и составлены графики, иллюстрирующие их развитие. На графике, расположенном на рисунке 3 показаны изменения в росте базилика, клевера, горчицы и дайкона при различных уровнях загрязнения. Первое загрязнение было применено на 10-й день эксперимента и обозначено как «1». Повторное загрязнение было проведено на 20-й день. График показывает, что раствор, применяемый для выращивания дайкона, клевера и базилика, демонстрировал наилучший прирост биомассы на протяжении всего исследования.

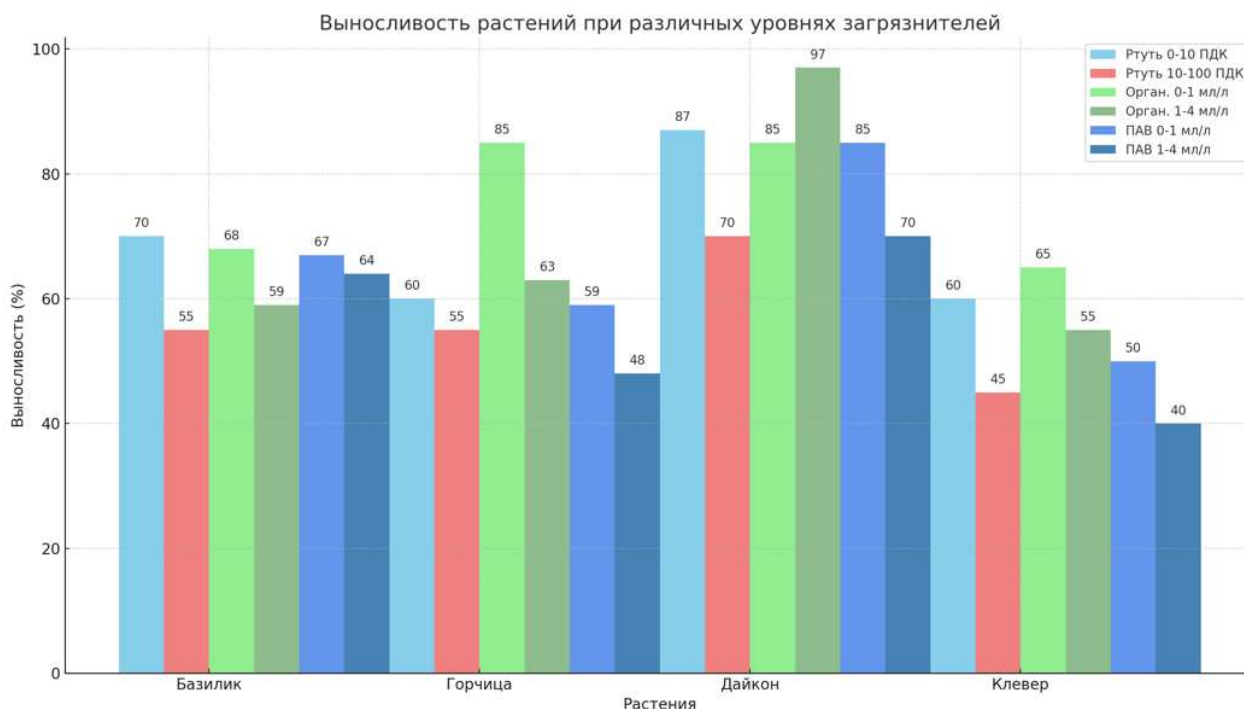


Рис. 3. График выносливости растений с различными уровнями загрязнения

Исследование показало, что использование ПАВ в концентрации от 0 до 1 мг/л гидропонного раствора увеличивает среднюю зеленую массу выращенных растений на 8%. Однако, при концентрациях ПАВ свыше 0,5% наблюдалось негативное воздействие на рост и развитие растений, что может негативно отразиться на экосистеме. Также было выявлено, что увеличение концентрации ПАВ от 1 мг/л до 4 мг/л приводило к угнетению роста растений. Присутствие даже небольших концентраций ртути в растворе замедляло рост растений на



12–18%. Наибольшую устойчивость к загрязнениям проявил Дайкон, сокращая свою биомассу на 25%, в то время как базилик и клевер были наиболее чувствительными, уменьшая свою биомассу на 30–40% после добавления загрязняющих веществ в гидропонный раствор.

На рисунке 4 показан график коэффициентов устойчивости растений в различных средах с загрязняющими веществами. В ней мы можем наблюдать, что устойчивость дайкона на 20–25% выше в отличие от других испытуемых растений. При этом его устойчивость не зависела от характера и природы загрязняющего вещества. Даже при увеличении концентрации загрязняющих веществ в 2 раза устойчивость падала в среднем на 15%.

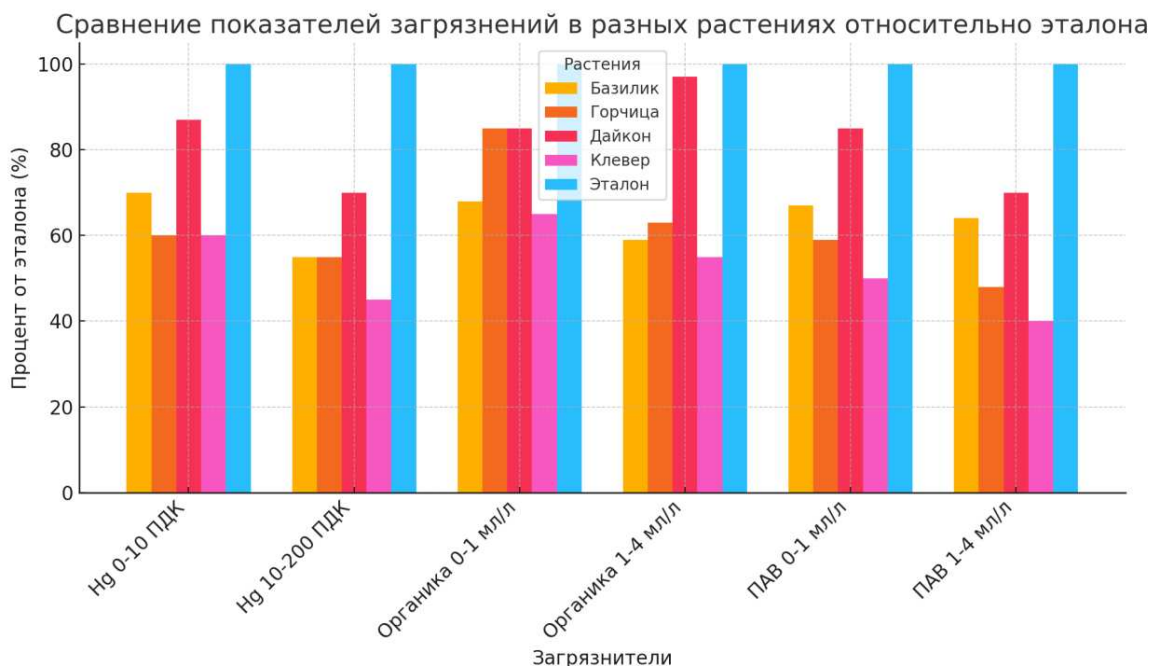


Рис. 4. График влияния различных загрязнителей на рост растений

График показывает влияние различных загрязнителей на рост и выживаемость растений, с отдельными панелями для каждого из веществ:

1. Соли ртути. Снижение роста и выживаемости растений достигает 37,5% при концентрации до 10 ПДК и 50% при концентрации 100–200 ПДК. Дайкон показал большую толерантность, достигая 70–87% от эталонной выживаемости, тогда как клевер испытал сильное негативное воздействие.

2. Органические загрязнители. При концентрации до 1 мл/л, снижение роста составило около 27,5%, а при 4 мл/л – 35%. Дайкон сохранил большую устойчивость, с показателями 90–95% от эталонной выживаемости, в то время как у клевера наблюдалось сильное снижение.

3. ПАВ. Воздействие увеличилось при концентрации до 1 мл/л на 50%, а при 4 мл/л – до 65%. Дайкон снова показал сравнительно высокую толерантность, сохраняя 65–85% от эталонной выживаемости, тогда как клевер показал серьезные потери.

Из проведенного исследования можно заключить, что дайкон более устойчив к различным видам загрязняющих веществ, чем клевер. Для опреде-



ления порогов выносливости различных растений к загрязняющим веществам требуется провести серию экспериментов. Использование гидропоники для этой цели является целесообразным, так как это быстрая технология, обеспечивающая чистоту эксперимента и точное определение максимальной концентрации, приводящей к гибели растения.

Для каждого вида растений имеется различный порог выносливости к концентрациям загрязняющих веществ. В современных справочниках и нормировании не указаны для различного перечня растений их выносливость к тем или иным видам загрязнений. Для этого необходимо провести серию экспериментов с разными растениями и различными концентрациями и выяснить лимитирующую концентрацию загрязняющих веществ, замедляющих рост растений и губящих ее. Исследование этого в естественных экосистемах нецелесообразно в связи с дороговизной процедуры, а также привязки ко времени года при проведении эксперимента в сезонном климате.

Для этого мы предлагаем использовать гидропонику в качестве площадки для исследования толерантности и устойчивости растений к пагубным воздействиям. Это целесообразно в связи с тем, что гидропонная среда – одна из самых быстрых технологий, имеющих нулевое влияние на чистоту эксперимента, чтобы отразить действительную максимальную концентрацию, после которой происходит гибель растения.

#### **Библиографический список**

1. Зеленые и бережливые технологии в инновационном развитии сельского хозяйства Омской области / И. А. Волкова, В. В. Леушкина, Е. А. Погребцова, В. В. Грицько. DOI: 10.18334/vines.12.3.116253 // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 3. С. 1787–1802.
2. Апарин Б. Ф. Проблемы оценки деградации почв мира // Вестник СПбГУ. 2006. Сер. 3. № 1. С. 70–80.
3. Выращивание растений без почвы / В. А. Чесноков, Е. Н. Базырина, Т. М. Бушуева, Н. Л. Ильинская. Л. : Ленинградский университет, 1960. 162 с.
4. Климентова Е. Г., Сатаров Г. А., Зудова Т. А. Приспособление и устойчивость растений : учебное пособие для студентов экологического факультета. Ульяновск : УлГУ, 2006. 53 с.
5. Пат. 2808836. РФ. Способ получения концентрата питательного состава для выращивания сельскохозяйственных культур в гидропонных системах : заявл. 03.07.2023 : опубл. 05.12.2023 / Пищаева К. В., Мурадян С. А., Булеева С. Л., Сапрошина А. А. 5 с.

## **КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ ЭКОТЕХНОПАРКА НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКОГО ИЕРАРХИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS) С УЧЕТОМ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ**

*А. И. Михрабов, С. А. Шлапак, И. О. Тихонова, А. Е. Хачатуров-Тавризян  
Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
mixrabovs@mail.ru*

В статье представлена актуальность создания экотехнопарков по утилизации промышленных отходов как вторичных материальных ресурсов. Показана необходимость применения метода аналитического иерархического процесса как инструмента критериальной оценки потенциала создания экотехнопарка в конкретном регионе.

Ключевые слова: экотехнопарк, экономика замкнутого цикла, промышленные отходы.

В настоящее время в Российской Федерации реализуется федеральный проект «Экономика замкнутого цикла», задачей которого является создание условий для максимального вовлечения вторичных ресурсов в промышленный оборот с минимальным образованием отходов, направляемых на захоронение. В связи с этим большой интерес вызывают перспективы создания экотехнопарков как центров по утилизации отходов с применением наилучших доступных технологий [1].

В 2023 г. было образовано рекордное количество отходов – 9,3 млрд т (рост на 3% по сравнению с 2022 г.), из которых 98% пришлось на отходы промышленных предприятий [2]. Тенденция ежегодного увеличения количества отходов прослеживается на протяжении последних лет, при этом преобладающее большинство составляют промышленные отходы, что говорит о необходимости создания центров по их утилизации.

На сегодняшний день разработан проект методических рекомендаций, которые должны соблюдаться при создании экотехнопарков [3] и которые включают следующее: наличие управляющей структуры и программ развития экотехнопарка; в общем объеме поступающего сырья содержание отходов / вторичных ресурсов должно составлять не менее 50%; использование наилучших доступных технологий.

Основной проблемой остается оценка необходимости и обоснованности создания экотехнопарка в конкретном регионе. Анализ существующей региональной ситуации в области обращения с отходами и перспектив ее развития позволяет определить основные источники образования отходов (главные отходообразователи – промышленные предприятия), виды и количество малотоннажных (I–II классы опасности) отходов, утилизацией которых занимается Федеральный экологический оператор, и крупнотоннажных (III–V классы опасности) отходов, а также существующие мощности по обработке, утилизации и

обезвреживанию отходов [4]. В случае необходимости создания новых объектов по обращению с отходами следует выполнить анализ функционального зонирования территории, маркетинговые исследования и прогнозирование востребованности вторичной продукции и услуг резидентов экотехнопарка [1].

При формировании концепции создания экотехнопарка предлагается использовать метод аналитического иерархического процесса (Analytic Hierarchy Process, АНР), применяемого при выборе технологий обращения с отходами. Метод АНР представляет собой метод ранжирования множества альтернатив, когда в процессе принятия решений присутствует несколько критериев и подкритериев, представленных в виде иерархической структуры, на каждом этапе (уровне) которой проводят попарные сравнения для расчета их веса [5].

Этапы применения метода АНР следующие:

1. Определение этапов и главных элементов иерархической структуры и её построение.
2. Выделение основных критериев оценки и подкритериев для каждого элемента.
3. Попарное сравнение каждого элемента на всех этапах для определения веса элементов.
4. Вычисление глобального веса каждого критерия в иерархической структуре на основе весов, полученных на этапах.
5. Определение альтернатив и их попарное сравнение на основе каждого критерия для нахождения весовых коэффициентов каждого критерия для каждой альтернативы.
6. Суммирование весов для каждой альтернативы, в том числе расчет процентного соотношения для каждого варианта (самый высокий процент – наиболее предпочтительный вариант).

Для оценки рациональности размещения экотехнопарка предлагается использовать следующие взаимосвязанные критерии, позволяющие всесторонне оценить его перспективы с учетом региональных особенностей:

1. Экономический критерий – инвестиционные / капитальные затраты и эксплуатационные расходы, логистика.
2. Экологический критерий – эмиссии и отходы.
3. Технологический критерий – наилучшие доступные технологии и ресурсная эффективность.
4. Социальный критерий – общественное мнение и количество рабочих мест.

В ходе попарного сравнения в диапазоне от 1 (равный) до 9 (принципиально лучше) определяют значимость каждого критерия (подкритерия) и соответствующий весовой коэффициент [6]. Полученные весовые коэффициенты демонстрируют иерархию значимости критериев, что позволяет выявить наиболее значимые аспекты, требующие большего внимания, и обоснованно оценить перспективы создания экотехнопарка в конкретном регионе.

Фактически это сходно с дофинансовой экспертной оценкой в системе «зеленого финансирования» [7], направленной на методическую поддержку

органов исполнительной власти, институциональных инвесторов и банковского сообщества, принимающих решение о финансировании проекта.

Потенциалом для создания экотехнопарка обладают техногенные территории с устоявшейся промышленной застройкой. Одним из перспективных районов считается Нижнекамский промышленный узел, включающий в себя ряд предприятий, образующих единую промышленную зону г. Нижнекамска [1]. Исследования по открытым данным статистической отчетности по форме 2-ТП (отходы) с использованием SWOT-анализа позволило разделить все образующиеся на территории Нижнекамского промышленного узла отходы на две группы: малотоннажные (менее 500 т/год) и крупнотоннажные (более 500 т/год), а также разработать программу стратегических действий для создания и развития экотехнопарка, в составе которого будут в первую очередь реализованы технологии по утилизации крупнотоннажных промышленных отходов – нефтесодержащих отходов, отходов резинотехнических изделий и шин, а также отходов отработанных масел, с получением новой продукции и энергии [1].

Для подтверждения полученных результатов анализа и более объемной оценки целесообразности создания экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле предлагается использовать метод АНР, позволяющий оценить региональные особенности в сфере обращения с отходами, существующие экономические перспективы, экологическую нагрузку и социальную значимость объекта.

#### **Библиографический список**

1. Оценка перспектив формирования экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле / И. О. Тихонова, Е. М. Данилова, В. А. Марьев, Е. М. Аверочкин. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-045-051 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 45–51.
2. Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления. Отчет по форме 2-ТП (отходы) [Электронный ресурс]. – URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 23.10.2024).
3. Создание экотехнопарков – рациональный путь к развитию отрасли комплексной переработки отходов и использования вторичных ресурсов / Д. О. Скобелев, В. А. Марьев, Г. Г. Потапов и др. // Экология промышленного производства. 2018. № 2 (102). С. 7–21.
4. Шубов Л. Я., Скобелев К. Д., Загорская Д. А. Формирование межрегионального экотехнопарка – показательный пилотный проект для достижения целей устойчивого развития экономики // Экономика устойчивого развития. 2020. № 3 (43). С. 116–122.
5. Эколого-экономическое обоснование принятия решений при выборе технологий термической утилизации отходов с учетом ранжирования критериев устойчивости / О. И. Сергиенко, А. И. Нечепуренко, Ю. А. Рахманов, В. Л. Василенок // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2023. № 2. С. 150–163.
6. Saaty T. L., Tran L. T. On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process. DOI: 10.1016/j.mcm.2007.03.022 // Mathematical and Computer Modelling. 2007. Vol. 46. No. 7–8. P. 962–975.

7. Волосатова А. А., Тихонова И. О. Система и критерии экспертной оценки проектов эколого-технологической модернизации промышленности // Глобальные вызовы и национальные экологические интересы: экономические и социальные аспекты : материалы XVII междунар. науч.-практ. конф. Российского общества экологической экономики (РОЭЭ/RSEE–2023). Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2023. С. 396–402.

## **ТЕХНОЛОГИИ РЕАБИЛИТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ВРЕДА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ С ПОЛУЧЕНИЕМ ПОТЕНЦИАЛЬНО ПЛОДОРОДНОГО ГРУНТА**

*Е. И. Тихомирова<sup>1</sup>, А. В. Кошелев<sup>2</sup>, О. В. Атаманова<sup>1</sup>, В. Ф. Головков<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю. А., [tichomirova\\_ei@mail.ru](mailto:tichomirova_ei@mail.ru),*

*<sup>2</sup>Государственный научно-исследовательский институт  
органической химии и технологии*

Представлен обзор современных технологий реабилитации объектов накопленного вреда окружающей среде, позволяющих получать потенциально плодородные грунты. Загрязненные крупнотоннажными отходами почвы и грунты после рекультивации в комплексе с различными технологическими методами: термического обезвреживания, выщелачивания, обработкой гуминовыми препаратами и природными адсорбентами, – переводятся в потенциально плодородные, а отходы – во вторичное сырье.

Ключевые слова: объект накопленного вреда окружающей среде, технологии обезвреживания, выщелачивание, рекультивация, реабилитация, гуминовые препараты, бентониты

Сложность проблемы реабилитации объектов накопленного вреда окружающей среде (ОНВОС) заключается в том, что в силу своей природы они требуют комплексного подхода к их ликвидации. Это связано, с одной стороны, с высоким разнообразием загрязненных элементов, составляющих ОНВОС (земельные участки, строения, коммуникации, дорожные покрытия, пруды-отстойники и т. п.). С другой стороны, в них могут присутствовать как органические (например, бенз-*a*-пирен, пестициды, нефть и нефтепродукты, совтол и т. п.), так и неорганические (тяжелые металлы, мышьяк) загрязнители одновременно.

Стратегия восстановления нарушенных экосистем (поврежденных или деградировавших) рассматривается как активный процесс управления [1, 2]. Последнее предполагает сознательное вмешательство в объекты окружающей среды на основе научного понимания происходящих процессов восстановления жизнеспособности и самодостаточности экосистем, а также поддержания устойчивых сред существования. Эти факторы и должны определять выбор методических и технологических решений для успешной реабилитации ОНВОС.

Степень опасности земель на ОНВОС определяется уровнем загрязнения и ранжируется как «чистая», «допустимая», «умеренно-опасная», «опасная», «чрезвычайно-опасная» [3, 4]. Рекомендовано вывозить на полигоны захоронения только земли последней категории опасности. Остальные загрязненные земли можно оставлять на месте, используя для планировочных работ. Земли степени «умеренно-опасная» и «опасная» необходимо перекрывать слоем чистого грунта на высоту не менее 20 см и 50 см, соответственно. Кроме того, при проведении рекультивационных работ, согласно нормативам [5], слой плодородного грунта под травянистые культуры должен быть не менее 20 см, под древесные – не менее 40 см. Таким образом, при реабилитации ОНВОС для рекультивации нарушенных и загрязненных земель необходимо завозить от 2 до 5 тысяч кубометров плодородных грунтов (почв) на 1 га площади.

В Российской Федерации существует нормативная база, определяющая требования к качеству земель и потенциально плодородным грунтам, которые могут быть использованы при рекультивации [6–7]. Однако, к настоящему времени недостаточно разработаны методы и способы очистки загрязненных компонентов ОНВОС, что вынуждает удалять значительные количества загрязненных земель и отходов на полигоны захоронения, а почвы для рекультивации завозить.

Поэтому в данной работе мы рассматриваем решение следующих задач:

– технологии комплексной очистки загрязненных отходов и земель методами термообезвреживания и выщелачивания;

– методология получения потенциально плодородных грунтов из отходов, находящихся на объектах накопленного вреда окружающей среде.

Очистка загрязненных субстратов ОНВОС термическим обезвреживанием и выщелачиванием по совмещенной технологии

С целью снижения стоимости рекультивационных работ предлагаются различные методы очистки почв без вывоза их на полигоны захоронения, которые можно условно разделить на две группы: физико-химические и химико-биологические [8].

К основным физико-химическим методам очистки почв относятся термические, электрохимические, сорбционные, экстракционные (выщелачивание, промывание), а к химико-биологическим – методы фиторемедиации, включающие в себя фитоэкстракцию, ризофилтрацию и фитостабилизацию. Термические и экстракционные методы являются наиболее производительными [9–10], поэтому ниже представлен предлагаемый нами способ комплексной очистки загрязненных отходов и грунтов методами термообезвреживания и выщелачивания на примере ликвидации модельного предприятия, представленного на рисунке 1, где используются следующие обозначения: 1 – загрязненные земли; 2 – производственные здания; 3 – оставшиеся в цехах сырье и реактивы; 4 – подземные коммуникации; 5 – склад с реактивами и нефтепродуктами; 6 – шламохранилище; 7 – хозяйственно-бытовые и строительные отходы. Стрелками показаны возможные пути миграции опасных химических веществ (ОХВ) в воздушную среду, воду и землю.

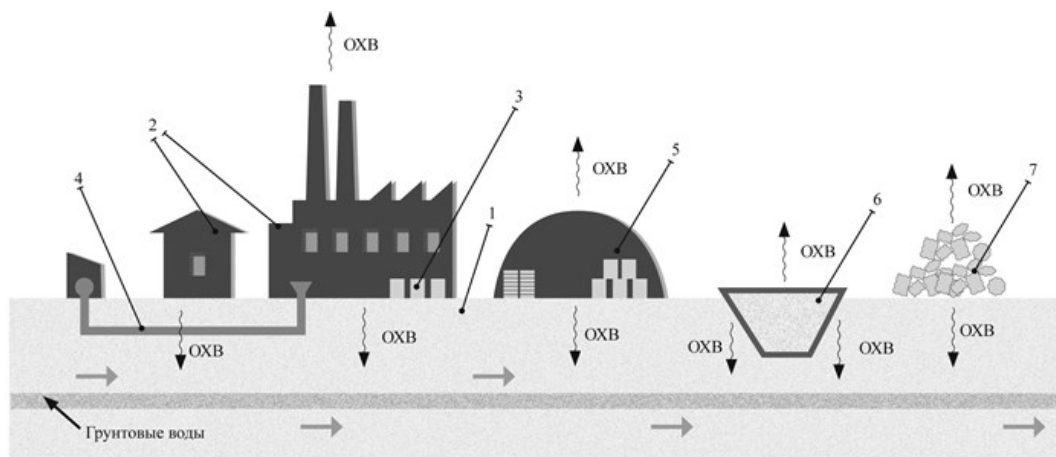


Рис. 1. Схема воздействия на окружающую среду предприятия, прекратившего производственную деятельность. Пояснения в тексте

На рисунке 2 показана схема ликвидируемого объекта с обезвреживанием отходов. Цифрами показаны: 1 – щебень из очищенных и измельченных вторичных стройматериалов, 2 – временный склад с отходами; 3 – установка термообезвреживания; 4 – очищенный грунт; 5 – полигон выщелачивания; 6 – станция водоочистки.

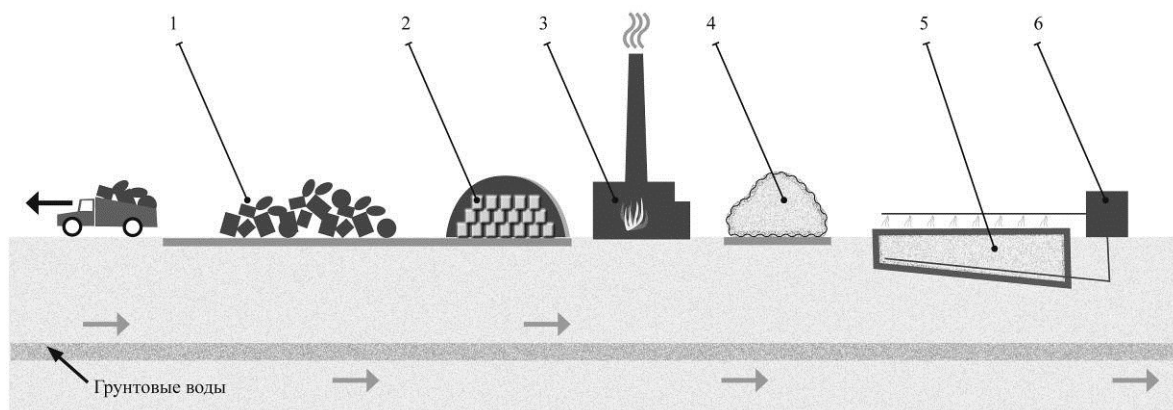


Рис. 2. Схема ОНВОС на стадии обезвреживания отходов методами термическим (печь 3) и выщелачивания (полигон 5 со станцией водоочистки 6). Пояснения в тексте

*Термообезвреживание.* Очистка грунтов, строительных материалов, металлоизделий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, пестицидами и другими органическими загрязнителями может быть осуществлена термообработкой в печи при температуре 600–800 °С с последующим сжиганием дымовых газов в камере дожигания (1200 °С) и их очисткой. Процесс термообезвреживания различных отходов подробно рассмотрен в нормативной и научно-технической литературе [11–12].

*Выщелачивание.* Способ защищен нашим патентом [13]. С целью очистки больших массивов загрязненных неорганическими веществами (соединения тяжелых металлов, мышьяка и т.п.) земель на рекультивируемой территории организуется производственная площадка (полигон), как показано на рисунке 3, в состав которой входят:

- гидроизолированный котлован с заданным наклоном дна в сторону приемника сточных (промывных) вод;
- приемник сточных вод (приемный колодец) с насосом;
- дренажная система со сбором сточных вод в приемном колодце;
- система орошения грунта;
- станция водоочистки (с емкостями, фильтрами и отстойником), в которой готовится раствор для выщелачивания, а также осуществляется очистка сточных вод.

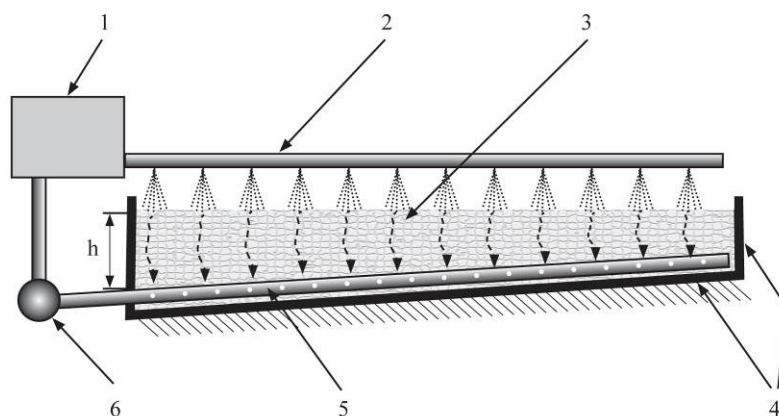


Рис. 3. Схема полигона санации грунта: 1 – станция водоочистки, 2 – система орошения, 3 – санируемый почвогрунт, 4 – гидроизоляция стен и дна котлована, 5 – дренажная система сбора сточных вод, 6 – насос для подачи сточных вод на станцию водоочистки

Загрязненный грунт послойно укладывается в гидроизолированный котлован, при этом высота слоя определяется его фильтрующими свойствами, зависящими от природы и гранулометрического состава. Собирается система орошения, которая должна обеспечивать равномерное увлажнение почвы. Станция водоочистки размещается рядом с котлованом во временном строении. Именно система водоочистки на полигоне позволяет объединить методы термообезвреживания и выщелачивания в единый технологический комплекс. Представленный подход позволяет решить проблемы очистки отходов с загрязнителем как органической, так и неорганической природы. Технология санации техногенного грунта методом выщелачивания полностью отвечает стандартам экологичности и энергоэффективности, принятым в Российской Федерации.

Обезвреженные строительные отходы и металлолом отправляются на вторичное использование, а очищенный грунт может быть возвращен на места изъятия. Однако такой грунт не может быть использован на биологическом этапе рекультивации. Его необходимо перевести в категорию потенциально плодородного грунта [11–12].

#### *Технологии получения потенциально плодородных грунтов*

Для восстановления плодородия рекультивируемых земель предусматривается внесение привозных плодородных почв. Однако эта операция достаточ-



но затратная, т.к. связана с изъятием и транспортировкой плодородной почвы с другой территории. Более перспективным способом восстановления плодородия таких земель является обработка субстрата гуминовыми препаратами, рассмотренная нами в работах [13–14] и рекомендованная в Справочнике НДТ [15].

Технология восстановления плодородия почв с использованием гуминовых препаратов отличается простотой, эффективностью и ее применение не связано с большими затратами [16–17]. Применение гуминовых препаратов позволяет уменьшить токсичность грунта за счет связывания тяжелых металлов, сорбции и обезвреживания органических экотоксикантов. Кроме того, гуминовые препараты способны стимулировать защитные свойства растений [17].

*Нормализация грунта по гранулометрическому составу и емкости катионного обмена*

Для перевода обезвреженного грунта до уровня потенциально плодородного предлагаются методические решения, основанные на использовании алюмосиликатных адсорбентов природного происхождения и гуминовых препаратов.

Природные адсорбенты – глауконит и монтмориллонит, а также гуминовые препараты, содержащие соли фульвовых и гуминовых кислот, выбраны по показателю емкости катионного обмена, гранулометрическому составу, минимальной стоимости. Бентонит и глауконит предлагаются нами для использования в качестве мелиорирующих добавок. Кроме того, алюмосиликатные адсорбенты могут быть использованы как для связывания загрязнителей на объектах накопленного вреда окружающей среде, так и для восстановления очищенных земель.

Использование алюмосиликатных сорбентов расширяет круг доступных методических и технических решений, позволяющих эффективно осуществлять реабилитацию ОНВОС и его отдельных элементов. Нами выполнены исследования по химическому составу усредненных образцов глауконитов и бентонитов различных месторождений [18].

Таким образом, предлагается комплексный технологический подход для снижения стоимости и повышения эффективности работ по реабилитации ОНВОС, включающий:

- обезвреживание и утилизацию нарушенных почв и грунта (загрязненных органическими и неорганическими поллютантами); отходов (твердые коммунальные отходы, буровые шламы, осадки бытовых сточных вод и др.) и сточных вод на территории ОНВОС;

- использование методов термообезвреживания и выщелачивания для очищения загрязненных органическими и неорганическими загрязнителями почв и грунта, а также отходов;

- отходы после обезвреживания классифицируются по критериям возможного применения их в качестве потенциально плодородного грунта либо мелиорантов для рекультивации ОНВОС;

- гуминовые препараты и алюмосиликатные адсорбенты используются для получения из отходов потенциально плодородных грунтов на самом объек-

те накопленного вреда окружающей среде, что позволяет получить существенный эколого-экономический эффект.

### Библиографический список

1. ГОСТ Р 54003-2010 Экологический менеджмент. Оценка прошлого накопленного в местах дислокации организаций экологического ущерба. Общие положения. М. : Стандартинформ, 2011. 24 с.
2. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды: [федер. закон: принят Гос. Думой 10 янв. 2002 г. : по состоянию на 27 дек. 2018 г. № 7]. М. : Собрание законодательства Российской Федерации, 2002. № 2. ст. 133.
3. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: [указ: утвержден Президентом РФ 19 апр. 2017 г. № 176]. М. : Собрание законодательства Российской Федерации, 2017. № 17. ст. 2546.
4. Пинаев В. Е., Чернышев Д. А. Анализ отечественной нормативно-правовой базы, регулирующей сферу экологического ущерба от прошлой хозяйственной деятельности // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 5 (24). [Электронный ресурс]. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/175EVN514.pdf>. (дата обращения: 19.12.2015).
5. Основы современной методологии и стратегии принятия решений по реабилитации объектов накопленного вреда окружающей среде / А. В. Кошелев, В. Ф. Головков, Ю. А. Елеев, Е. В. Кучинский // Химия и технология органических веществ. 2022. № 4 (24). С. 51–62.
6. ГОСТ Р 57446-2017. Наилучшие доступные технологии (НДТ). Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия. М. : Стандартинформ, 2017. 22 с.
7. Комплексный экологический аудит ГУП РК Сакский химический завод. Отчет. Т. 6. Рекомендации по приведению территории предприятия в безопасное состояние для последующего использования и вовлечения ее в хозяйственный оборот. Москва : ООО НПФ «Экоцентр МТЭА», 2016.
8. ГОСТ Р 59057-2020. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель. М. : Стандартинформ, 2020. 24 с.
9. Копчик Г. Н. Современные подходы к ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами (обзор литературы) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 851–868.
10. Исследование метода термического обезвреживания грунта и строительных конструкций, загрязненных хлорсодержащими соединениями и тяжелыми металлами / В. Ф. Головков, А. В. Кошелев, Ю. А. Елеев, В. В. Афанасьев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия: Технические науки. 2019. Т. 8. № 1 (45). С. 182–185.
11. Пат. № 2633397 РФ, МПК В09В/00 (2006.01). Способ рекультивации объектов, оказывающих негативное действие на окружающую среду : № 2017100824 : заявл. 10.01.2017 : опубл. 12.10.2017 / Кошелев А. В., Тихомирова Е. И., Иващенко Ю. Г., Косарев А. В., Заматырина В. А. 8 с.
12. Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов). М. : Бюро НДТ, 2015. 258 с.
13. Пат. № 2738420 РФ, МПК В09В 3/00 (2006.01), В09С 1/00 (2006.01). Способ ликвидации свалки твердых бытовых отходов : № 2020112292 : заявл. 26.03.2020 : опубл. 14.12.2020 / Кошелев А. В., Желтобрюхов В. Ф., Бойчевский П. Л. и др. 6 с.
14. Разработка технологических решений и способов получения гумино-минеральных композиций для задач рекультивации нефтезагрязненных территорий / Е. И. Тихомирова, А. В. Алексашин, А. В. Кошелев, О. В. Атаманова. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-203-209 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 203–209.
15. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)). М. : Бюро НДТ, 2016. 208 с.

16. Попов А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2004. 248 с.
17. Перминова И. В., Жилин Д. М. Гуминовые вещества в контексте зеленой химии // Зеленая химия в России. М. : МГУ, 2004. С. 146–162.
18. Исследование гуминовых препаратов, полученных из бурого угля / А. В. Кошелев, В. Ф. Головков, И. Д. Деревягина и др. // Химия и технология органических веществ. 2019. № 3 (11). С. 28–40.
19. Применение солей гуминовых кислот при рекультивации загрязненных территорий / В. Ф. Головков, А. В. Кошелев, В. В. Афанасьев и др. // Химия и технология органических веществ. 2017. № 2. С. 64–69.

## **ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ В ОБРАЩЕНИИ С ОТХОДАМИ I–II КЛАССОВ ОПАСНОСТИ**

*А. А. Морозов*

*Северо-Западный филиал*

*ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия»,  
9126543@mail.ru*

В статье рассматриваются вопросы применения современных экологических технологий и методов в обращении с отходами I–II классов опасности. Рассмотрены положения законодательства об отходах производства и потребления, статистические показатели Росприроднадзора по обращению с отходами. Эффективное применение экологических трендов по обращению с отходами I–II классов опасности имеет большой потенциал для снижения количества отходов и защиты окружающей среды.

Ключевые слова: охрана окружающей среды, экологическая безопасность, отходы I–II классов опасности, экологический учёт и контроль, причиненный вред экологии.

Благоприятная для общества окружающая среда основывается на поддержании экологической безопасности, сохранении и воспроизводстве природных ресурсов при природопользовании, которые прямым образом зависят от принимаемых мер по охране окружающей среды и природопользованию, фактического поведения субъектов экологических отношений согласно всем требованиям установленного законодательства [1]. Сложившая в последнее время ситуация в сфере обращения с отходами несёт реальную угрозу для состояния экологии и здоровья населения [2]. В рамках национального проекта «Экология» 2019–2024 гг. проводятся мероприятия, направленные на сохранение объектов природопользования по отдельным экологическим областям. В частности, задачей проекта является создание единой системы управления и контроля сферы обращения с отходами I–II классов опасности, а также безопасного их использования.

Механизм обращения с отходами имеет нормативно-правовое и методическое регулирование. В настоящее время, классы опасности отходов установ-

лены Федеральным законом № 899 «Об отходах производства и потребления». Например, отходы первого класса являются наиболее токсичной группой, так как могут нанести серьезный вред окружающей среде без последующего её восстановления. К ним относятся промышленные отходы, химические вещества, образованные в результате производственных работ; в бытовых условиях – это термометры, люминесцентные лампы и другие элементы. Вторая группа опасности отходов также имеет высокий риск причинения вреда экологии, после чего процесс нормализации окружающей среды проходит в течение 30 лет.

Кроме того, Приказом Минприроды России от 22.05.2017 № 242 установлена единая система классификационного каталога отходов, определяющая уровень и класс опасности образуемых отходов, систематизированных по совокупности классификационных признаков: происхождению, условиям образования на производствах, физической форме, агрегатному состоянию, а также химическому и компонентному составу. На основе данных признаков уполномоченные органы Росприроднадзора обобщают и систематизируют поступившую информацию об отходах производства с последующим включением её в каталог отходов. Определенно, утилизация и обезвреживание образующихся отходов, как на производствах, так и в бытовых условиях важно для создания благоприятных природных условий [4].

Так, согласно статистическим данным Росприроднадзора по обращению с отходами, на период 2024 г. 52,7% отходов направляется на сортировку, что, в сравнении с уровнем сортировки отходов в 2019 г. (14%), имеет высокие показатели работы инфраструктуры по переработке отходов определенного класса опасности и мощности от её реализации [5]. Однако основная часть отходов подлежит захоронению на специальных полигонах (80,5% отходов), что негативным образом влияет на состояние природной среды. У большинства предприятий отсутствует система разработки и безопасной утилизации отходов в зависимости от их деятельности, в результате чего происходит загрязнение почв, атмосферного воздуха, водоемов, которые находятся вблизи жилых комплексов. Юридические лица зачастую самостоятельно не контролируют систему утилизации отходов I и II классов опасности, что приводит к серьезным последствиям для безопасности окружающей среды и здоровья населения. Например, жители Ленинградской области столкнулись с загрязнением атмосферного воздуха в результате превышения предельно допустимой концентрации вредных веществ. В связи с чем состояние населения, проживающего вблизи предприятия, ухудшилось, проявились признаки отравления. При проведении контрольных мероприятий были выявлены нарушения по утилизации отходов производства, отсутствие надлежащей очистки сточных вод [6]. К сожалению, в настоящее время, вблизи жилых домов и детских учреждений функционирует большое количество промышленных предприятий, деятельность которых отражается в виде токсичного и отрицательного воздействия. Определенно, институт утилизации отходов требует внедрения современных технологий, оптимально-обоснованной системы управления для решения глобальных экологических задач, связанных как с отходами производств, так и с отходами повышенного класса опасности в бытовых условиях.

В настоящее время главным экологическим трендом, создающим условия для совершенствования механизма переработки и утилизации отходов высокой категории опасности, является разработка производственно-технических комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию таким отходам, так называемых экотехнопарков, созданных на базе бывших предприятий по уничтожению химического оружия. Такие объекты химически опасны в связи с ежегодным поступлением на их территорию 50 тыс. т отходов, содержащих вредные химические вещества. С целью снижения их негативного влияния предложено размещать данные объекты в местах, отдаленных от постоянно-проживающего населения. Несмотря на наличие специальных программ проведения экологического контроля (надзора), уровень негативного влияния на природную среду продолжает оставаться на высоком уровне.

Кроме того, 1 марта 2022 г. была введена информационная система учёта и контроля за обращением с отходами I и II классов опасности, которая обеспечила прозрачность процесса работы с отходами, начиная с момента образования опасных отходов до их последующей утилизации. Данный экологический тренд разработан, в первую очередь, для эффективной переработки отходов на производствах и направлен на решение проблемы обеспечения качественного учёта и контроля образуемых опасных отходов, их эффективную переработку и снижение уровня накопления. С опасными отходами население сталкивается и в бытовых условиях. Различные батарейки, ртутные термометры, лекарственные препараты с истекшим сроком годности относятся к отходам I и II классов опасности, системный сбор которых на сегодняшний день отсутствует.

Раздельный сбор некоторых видов опасных отходов, в основном батареек, осуществляется, как правило, конкретными организациями. Так, например, на территории Санкт-Петербурга существуют экологические пункты по приему опасных отходов от населения. Различные экологические инициативы, связанные с пунктами приема отходов для последующей переработки направлены на содействие ответственному потреблению и использованию ресурсов, а также на минимизацию ущерба, причиненного окружающей среде. Однако на практике реализация данной процедуры имеет затруднения. Развитие информационной среды, освещающей экологические проблемы регионов, рациональные способы сортировки отходов производства и потребления, способствует активному привлечению граждан к достижению целевой экологической программы и защите прав каждого гражданина на благоприятную окружающую среду.

Осознание гражданами своей значимости и возможности влиять на процессы по улучшению экологической обстановки безусловно способствует снижению уровня правового нигилизма и повышению правовой грамотности населения.

Следовательно, поэтапная выработка эффективного механизма по обработке и утилизации отходов I и II классов опасности, как на производстве, так и отходам, образующих у населения, позволит снизить уровень негативного воздействия и предотвратить причиненный вред окружающей природной среде.

### Библиографический список

1. Морозов А. А. Основания принудительного прекращения права пользования водным объектом в Российской Федерации // Эколого-правовой режим водопользования в Российской Федерации и зарубежных странах: теория и практика : сб. материалов междунар. круглого стола. (Санкт-Петербург, 10 июня 2021 г.). СПб. : Центр научно-производственных технологий «Астерион», 2021. С. 68–72.
2. Зиновьева О. А. Реализация Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года // Вестник Университета имени О. Е. Кутафина. 2023. № 3. С. 139–146.
3. Национальный проект «Экология» [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.mnr.gov.ru/activity/np\\_ecology/?ysclid=lu1osmpl6e349776599](https://www.mnr.gov.ru/activity/np_ecology/?ysclid=lu1osmpl6e349776599) (дата обращения: 20.10.2024).
4. Морозов А. А. Право собственности на природные ресурсы // Частное и публичное в вещном праве : сб. статей по материалам междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 02 июня 2016 г.). СПб. : ИД «Петрополис», 2016. С. 108–112.
5. Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления [Электронный ресурс]. – URL: <https://https.rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 20.10.2024).
6. Морозов А. А. Защита экологических прав // Защита гражданских прав в условиях реформирования гражданского и гражданского процессуального законодательства : сб. статей по материалам междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 22 мая 2015 г.). СПб. : Издательский дом «Петрополис», 2015. С. 182–185.

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ОТХОДОВ

*С. А. Шлапак, А. И. Михрабов, И. О. Тихонова*

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,  
s.shlapak2809@yandex.ru*

В статье представлен анализ выбросов парниковых газов (ПГ) от сектора экономики «Отходы». Рассмотрена основная классификация отходов как источников выбросов ПГ. Идентифицированы основные биоразлагаемые отходы, являющиеся потенциальными источниками ПГ, и рассмотрены основные способы их утилизации с точки зрения минимизации выбросов ПГ.

Ключевые слова: парниковые газы, биоразлагаемые отходы, вторичные материальные ресурсы, вторичные энергетические ресурсы

Российская Федерация участвует во всех глобальных международных соглашениях по климату, заключенных под эгидой ООН. В развитие этого международного сотрудничества в 2020 г. был издан указ Президента Российской Федерации № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» [1], одной из основных задач которого является обеспечить к 2030 году сокращение выбросов парниковых газов до 70 процентов относительно уровня 1990 года.

Для мониторинга и разработки мер по снижению негативного воздействия от выбросов парниковых газов основные источники выбросов были

сгруппированы в 5 секторов: энергетика, промышленные процессы и использование продукции, сельское хозяйство, ЗИЗХЛ (землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство) и отходы. По данным национального доклада о кадастре антропогенных выбросов [2], сектор «Отходы» занимает последнее место по объему выбросов ПГ и составляет порядка 4 %, тем не менее за последние 30 лет выбросы от данного сектора выросли в 1,8 раза.

Отходы как источники выбросов ПГ можно разделить на три группы:

- 1) отходы, содержащие углерод, способный к биологическому разложению (526 видов);
- 2) отходы, содержащие ископаемый углерод (1726 видов);
- 3) отходы оборудования и материалов, содержащих фторированные газы – гидрофторуглероды (ГФУ), перфторуглероды (ПФУ), гексафторид серы, трифторид азота (15 видов).

В данной работе рассмотрены выбросы ПГ от отходов, способных к биологическому разложению. Подгруппа «биоразлагаемые отходы» включает в себя следующие виды отходов: отходы растениеводства; отходы при лесоводстве и лесозаготовках; отходы обработки древесины и производства изделий из дерева; отходы животноводства; осадки (илы) биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовой и смешанной канализации; отходы производства пищевых продуктов, напитков, табачных изделий; отходы кухонь и предприятий общественного питания; твердые коммунальные отходы (ТКО).

На основании анализа открытых данных [3] идентифицированы основные (по массе) биоразлагаемые отходы, являющиеся потенциальными источниками ПГ. На рисунке представлены основные направления обращения с группами производственных биоразлагаемых отходов – без ТКО.

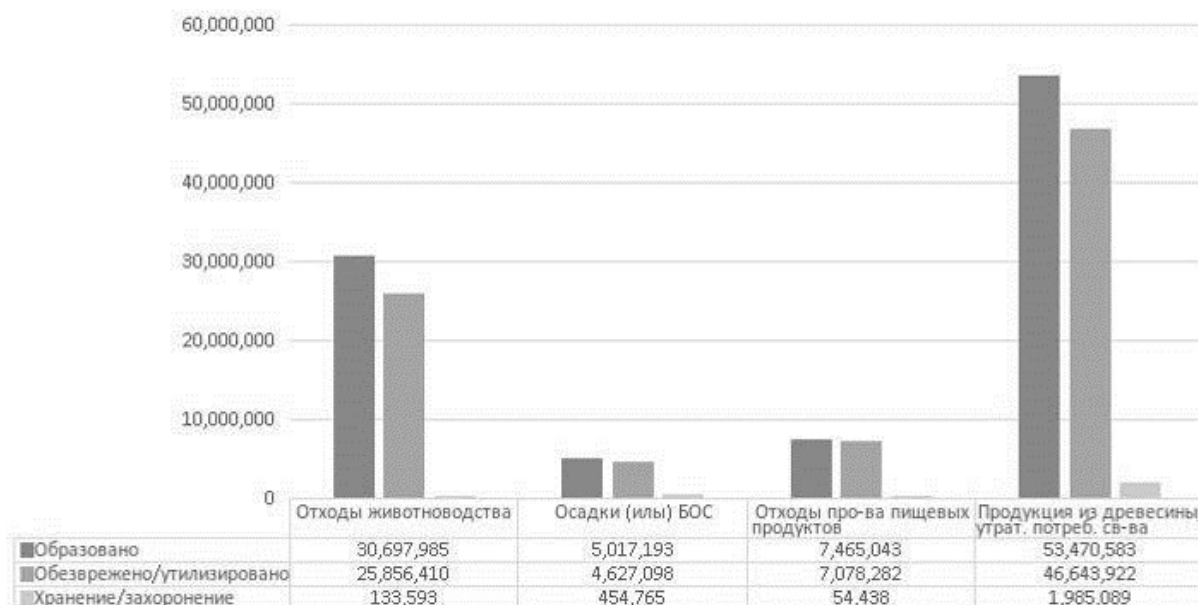


Рис. Основные направления обращения с группами биоразлагаемых отходов, т за 2022 г.

Согласно представленным данным, приоритетными по массе образования являются следующие группы отходов:

- 1) продукция из древесины, утратившая потребительские свойства (кроме изделий, загрязненных специфическими веществами);
- 2) отходы животноводства (включая деятельность по содержанию животных).

На рисунке показаны основные направления обращения с максимальными по массе образования группами биоразлагаемых отходов – на захоронение поступает лишь небольшая доля образовавшихся отходов – от 0,44% для отходов животноводства до 8 % для осадков (илов) биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовой и смешанной канализации, а основная часть отходов направляется на обезвреживание/утилизацию.

Все известные методы утилизации биоразлагаемых отходов можно разделить на 2 группы – утилизация с получением вторичных материальных ресурсов (ВМР) и термическая утилизация отходов как вторичных энергетических ресурсов (ВЭР).

Основные способы обращения с биоразлагаемыми отходами рассмотрены на примере продукции из древесины, утратившей потребительские свойства и отходов животноводства.

В качестве ВМР можно использовать крупные отходы лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий, такие как горбыль, хвосты горбылей и подгорбыльных досок. Данные виды отходов используются в шахтах и в качестве топлива; для производства щитов, паркета, ящичной тары, бочек. Прочие древесные отходы используют: в мебельном производстве для изготовления комплектующих деталей; в строительстве (изготовление кровельных и теплоизоляционных материалов); в производстве ДСП и ДВП, прессованных столлярно-строительных изделий; для получения технологических продуктов в химической и целлюлозно-бумажной промышленности. Кора является ценным сырьем для производства дубильных экстрактов и наполнителей при получении изоляционных плит, ДСП, древесных пластиков, в гидролизном производстве – для получения этилового спирта [4].

При термической утилизации отходов как ВЭР древесные отходы могут служить источником для получения тепловой и электрической энергии (простое сжигание, пиролиз, получение газогенераторного газа). В целлюлозно-бумажной промышленности отходы обработки древесины утилизируют в корневых котлах или же в качестве компонента топливных смесей [5].

При анаэробной и аэробной утилизации (экспресс-компостирование, вермикюльтивирование, анаэробное сбраживание, термофильная аэробная стабилизация и др.) отходов животноводства можно получать такие ВМР как органические удобрения (биогумус, компост), биогаз и твердое топливо. Также существуют различные способы получения удобрения из отходов животноводства. Например, предлагается система обработки навоза, основанная на сочетании механического разделения и биологической обработки с последующим выделением азота при удалении аммиака [6].



Навоз, помимо использования в качестве удобрения (ВМР), является альтернативным источником энергии (ВЭР). При анаэробном сбраживании образуется биогаз. В связи с ростом потребления энергии использование биологического сырья и отходов (биомассы) для получения топлива очень перспективно. Биогаз используется в качестве топлива для выработки электроэнергии, тепла, пара, а также автомобильного топлива (биометан) [6].

#### Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов».
2. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2020 гг. / А. А. Романовская, А. И. Нахутин, В. А. Гинзбург и др. М. : Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля, 2023. Ч. 1. 479 с.
3. Сведения об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления по форме 2-ТП (отходы) за 2022 год. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 25.09.2024).
4. Мохирев А. П., Безруких Ю. А., Медведев С. О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона. 2015. Т. 36. №. 2-2. С. 81.
5. Целлюлозно-бумажное производство. М. : Бюро НДТ, 2023. 459 с.
6. ИТС НДТ 41-2023 Интенсивное разведение свиней. [Электронный ресурс]. – URL: [https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=2094&etkstructure\\_id=1872&ysclid=m2zv2zpxbj171315303](https://burondt.ru/NDT/NDTDocsDetail.php?UrlId=2094&etkstructure_id=1872&ysclid=m2zv2zpxbj171315303) (дата обращения: 08.09.2024).

## ОТНОШЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ г. КИРОВА К ПРОБЛЕМЕ РАЗДЕЛЬНОГО СБОРА КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

*С. А. Кропачева<sup>1</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>2,3</sup>, В. В. Рутман<sup>2</sup>*  
<sup>1</sup> МБОУ СОШ № 14 г. Кирова, [kropacheva.maria@gmail.com](mailto:kropacheva.maria@gmail.com),  
<sup>2</sup> Вятский государственный университет, [rutman.slavik@yandex.ru](mailto:rutman.slavik@yandex.ru),  
<sup>3</sup> ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, [ecolab2@gmail.com](mailto:ecolab2@gmail.com)

В статье представлены результаты опроса населения г. Кирова, характеризующие их отношение к проблеме раздельного сбора отходов потребления. 83,8% опрошенных считают, что строительство мусоросортировочного завода в Кировской области принесет пользу жителям и окружающей среде, сортировать образующиеся в хозяйстве ТКО согласны 80,8% опрошенных.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, отходы потребления, раздельный сбор отходов, сортировка отходов, вторичные сырьевые ресурсы.

Глобальные экологические проблемы, обусловленные стремительным ростом количества поступающих в окружающую среду (ОС) отходов, свидетельствуют о том, что человечеству необходимо кардинально изменить сложившиеся модели производства и потребления в направлении более рационального и

бережного использования природных ресурсов, максимального вовлечения образующихся отходов в повторную переработку, сокращения доли отходов, складированных на свалках и полигонах [1, 2]. Мир должен выйти за рамки эры отходов и превратить мусор в ресурс [3, 4]. В настоящее время во всем мире активно развивается вторичная переработка отходов производства и потребления (ОПП). Определенные усилия по освоению технологий рециклинга предпринимаются и на территории РФ [5, 6].

Важным и необходимым условием успешной реализации комплекса мер, направленных на обработку, утилизацию, обезвреживание и захоронение ОПП, является создание развитой современной инфраструктуры, включающей специализированные предприятия и объекты по обращению с отходами. Расширение сети и повышение технологических возможностей таких предприятий входит в число приоритетных задач экономического развития всех регионов РФ [7].

Среди отходов ОПП в отдельную группу выделяют твердые коммунальные отходы (ТКО), включающие твердые бытовые отходы (ТБО) домашних хозяйств и отходы потребления, идентичные бытовым, которые образуются в производственной сфере. Доля ТКО обычно не превышает 1–2% от общего количества ОПП, однако переработка этих отходов представляет серьезную проблему [7, 8]. По имеющимся оценкам, в настоящее время до 90–95% ТКО отправляется на захоронение или несанкционированно складировается, около 4–9% подвергается рециклингу и 1–2% сжигается [9, 10]. Существующие полигоны ТКО наносят значительный вред ОС и требуют существенных финансовых затрат на рекультивацию [11]. Основной причиной слабого вовлечения ТКО во вторичную переработку является отсутствие надежной системы выделения из их состава ценных компонентов (металлов, стекла, пластмасс, текстиля, бумаги и др.). Пока Россия существенно отстает от развитых стран по уровню сортировки и вторичной переработки отходов, однако в последние годы сложившаяся ситуация начинает изменяться в положительную сторону. Принятый в стране «Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года» предполагает развитие инфраструктуры и мощностей по обработке ТКО, применение стимулов для снижения количества образования отходов, совершенствование социальных, правовых и экономических условий развития отрасли переработки ТКО, сокращение объемов захоронения и внедрение системы отдельного накопления отходов. Особое внимание в Плане уделяется вовлечению населения в отдельный сбор отходов и осознанное потребление [12]. Исследования в данном направлении являются актуальными и практически значимыми.

Цель работы – выявить отношение населения г. Кирова к отдельному сбору твердых коммунальных отходов, определить наиболее важные направления работы с населением для повышения его готовности сортировать образующиеся в хозяйствах ТКО.

С октября 2023 года за счет инфраструктурного бюджетного кредита в размере 971,0 млн рублей в Слободском районе Кировской области ведется строительство комплексного объекта по обращению с твердыми коммунальными отходами КПО «Центральный». В состав объекта войдет мусоросортиро-

вочный комплекс годовой мощностью 200000 т; участок компостирования – не менее 60000 т/год; участок обработки крупногабаритных отходов – не менее 20000 т/год, а также вспомогательные здания и сооружения. Ввод в эксплуатацию КПО «Центральный» является важным шагом по внедрению в регионе практики раздельного сбора отходов. Успешность работы соответствующего объекта во многом зависит от того, насколько эффективно будет организован раздельный сбор ТКО.

Для изучения готовности населения г. Кирова применять технологию сортировки и раздельной сдачи отходов потребления использовали метод анкетирования. Анкету размещали на сервисе Yandex Forms и рассылали респондентам с помощью мессенджеров WhatsApp и Telegram. При работе с анкетами респонденты должны были выбрать подходящие варианты ответов из готового списка (закрытые вопросы) или самостоятельно сформулировать развернутый ответ (открытые вопросы). Количество выборов не ограничивалось, т. е. на каждый вопрос анкеты респондент мог выбрать несколько ответов. В опросе приняли участие 392 человека (женщины – 75,3%, мужчины – 24,7%) в возрасте от 13 до 80 лет.

На вопрос «Устраивает ли Вас практика сбора коммунальных отходов (бытового мусора) в нашем городе» более половины опрошенных (55,3%) ответили отрицательно, каждого четвертого (25,1%) сбор мусора устраивал полностью, остальные затруднились ответить.

Наибольшее раздражение население вызывали такие факторы, как грязь на площадках для мусорных контейнеров (56,3%); неприятный запах (51%); животные (вороны, голуби, крысы), которые растаскивают мусор (48%).

Вину за то, что на улицах города валяется мусор 90,0%, респондентов возложили на невоспитанных жителей; 48,9% – на недостаточное количество урн; 24,2% – на администрацию города; 24,2% – на животных и птиц, которые растаскивают мусор; 13,2% – на полицию, которая не наказывает нарушителей чистоты; и только 6,8% – не дворников, которые плохо работают.

Большинство опрошенных (83,8%) считают, что строительство мусоросортировочного завода в Кировской области принесет пользу жителям и окружающей среде; 2,6% ответили, что строительство такого завода нанесет вред экологии; 2,1% полагают, что соответствующий объект для области бесполезен. 29,8% респондентов выразили готовность работать на мусоросортировочном заводе сортировщиком мусора при зарплате 52 тыс. рублей в месяц (планируемый уровень зарплаты на заводе); 21,4% готовы на такую работу при увеличении зарплаты вдвое; 58,9% не готовы к работе на соответствующем предприятии.

Сортировать образующиеся в хозяйстве ТКО согласны более половины опрошенных (57,1%); 23,7% готовы включиться в эту работу при условии, что и все остальные жители будут собирать мусор раздельно; 19,2% респондентов не согласны сортировать ТКО, так как у них для этого нет условий (12,2%), они не видят в этом смысла (3,5%) или им лень (3,5%). Соответствующие цифры свидетельствуют о том, что подавляющее большинство жителей города характеризуется высокой социальной ответственностью и стремлением внести опреде-

ленный вклад в улучшение экологии городской среды. Вместе с тем, анализ ответов на вопрос «Как вы считаете, готово ли население нашего города к разделному сбору мусора?» показал, что основная часть респондентов относится весьма скептически к перспективе активного участия других кировчан в реализации мусорной реформы: только 19,2% опрошенных полагают, что большинство жителей готово сортировать ТКО; 68,9% считают, что большинство жителей к этому не готово; 11,9% сомневаются, что хоть кто-то поддержит это начинание.

На вопрос «Почему многие люди относятся к проблеме сбора и переработки мусора безответственно?» 60,0% респондентов ответило, что это обусловлено отсутствием условий для рационального сбора и переработки ТКО; 37,4% считают, что проблема кроется в недостаточном воспитании; 24% полагают, что причина связана с отсутствием платы за соответствующую деятельность; 11,6% увидели причину в недостаточном наказании; 12,1% затруднились ответить. Ответственность за воспитание у жителей города надлежащего отношения к сбору и утилизации коммунальных отходов 68,9% опрошенных возложили на семью; 56,8% – на средства массовой информации; 44,2% – на школу; 23,7% – на коммунальные службы; 9,5% – на руководство предприятий; 8,3% – на полицию; 39,5% сочли, что взрослые люди должны сами отвечать за свои поступки.

В число основных компонентов, которые следует выделять из ТКО, респонденты включили пластик (76,2%); стекло (61,0%); металл (46,3%); бумагу (36,8%); пищевые отходы (31,6%). Проблема защиты окружающей среды от пластиковых отходов волнует жителей города настолько сильно, что 65,3% опрошенных выразили готовность отказаться от таких предметов как одноразовые пакеты и одноразовая посуда и заменить их на предметы длительного пользования.

Следует отметить, что в настоящее время в городе работают пункты приема некоторых видов вторичного сырья (макулатуры, металлического лома, пластика, стекла и др.), однако, как показал опрос, об этом знает только 39,3% респондентов; 12,2% сдают в пункты сбора некоторые отходы; 41,8% о существовании таких пунктов не знает; 6,6% уверены, что пунктов сбора вторсырья в городе нет. Соответствующие цифры свидетельствуют о том, что население города недостаточно информировано о возможностях реализации образующегося в хозяйствах вторичного сырья и имеет слабую мотивацию к сбору и сдаче соответствующего сырья в переработку. Вместе с тем в некоторых анкетах были приведены примеры успешного использования технологий раздельного сбора ТКО, например, «всем домом сортируем ТКО уже 3 года и сдаём, вырученные деньги используем на нужды дома». Подобные примеры свидетельствуют о том, что проблема раздельного сбора мусора в нашем городе может быть решена вполне успешно.

Для улучшения ситуации со сбором и переработкой коммунальных отходов 82,1% респондентов предлагают оборудовать площадки для раздельного сбора мусора; 45,8% – активизировать разъяснительную работу с населением; 38,4% – ужесточить наказания и ввести штрафы за нарушение правил сбора му-

сора; 14,7% – повысить зарплату дворникам за счёт налогов с населения; 10,0% сочли, что решить эту проблему ничто не поможет, так как у нашего населения слишком низкая культура и уровень ответственности. Только 1,6% опрошенных отметили, что мусорная проблема их совершенно не интересует.

Вопрос «Какой вклад готовы внести лично Вы в проблему рациональной утилизации отходов?» вызвал наибольшее количество затруднений. На этот вопрос ответили только 24,2% респондентов. Большинство участников опроса выразили готовность сортировать свой мусор, вести разъяснительную работу с населением, поддерживать инициативы, направленные на очистку города и прилегающих к городу территорий от мусора.

Результаты опроса свидетельствуют о том, что большинство жителей г. Кирова поддерживает строительство мусоросортировочного завода и готово активно включиться в работу по раздельному сбору ТКО. К основным факторам, сдерживающим успешное решение данной проблемы, следует отнести отсутствие достаточного количества пунктов сбора вторичного сырья и специализированных контейнеров для раздельного сбора отходов, а также слабую мотивацию населения к внедрению технологий раздельного сбора мусора.

Внедрению практики раздельного сбора ТКО может способствовать интенсификация социальной рекламы, направленной на разъяснение экологической значимости переработки бытовых отходов; размещение пунктов сбора вторичного сырья вблизи торговых центров; регулярное проведение массовых мероприятий, предполагающих сбор отдельных видов вторичного сырья (пластиковой упаковки, стекла, текстиля и т. п.).

Для повышения эффективности работы с населением необходимо проведение специальных исследований, направленных на выявление основных детерминант поведения в области сбора и переработки отходов.

#### **Библиографический список**

1. Хвосты обогащения фосфоритов Вятско-Камского месторождения как вторичные материальные ресурсы для производства натуральных удобрений / Н. В. Сырчина, Н. Н. Богатырёва, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-2-107-114 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 107–114.
2. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха / Е. П. Колеватых, Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина и др. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-4-159-165 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 159–165.
3. Global Waste Management Outlook 2024 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.unep.org/resources/global-waste-management-outlook-2024> (дата обращения: 2.10.2024).
4. Рациональная утилизация отработанной серной кислоты, образующейся при производстве хлора / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-143-148 // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 143–148.
5. Комплексная переработка природных фосфоритов с использованием щелочных отходов нефтехимического синтеза и газовой серы / Р. Х. Хузиахметов, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Иванова. DOI 10.25750/1995-4301-2022-1-102-108 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 102–108.

6. Сырчина Н. В., Скугорева С. Г., Кутявина Т. И. Рациональная утилизация серосодержащих отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-4-151-156 // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 151–156.

7. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М. : Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2023. 686 с.

8. Кропачева С. А., Сырчина Н. В. Отходы школьного питания // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. (Киров, 14–15 ноября 2023 года). Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 202–206.

9. Сырчина, Н. В., Пилип Л. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свинокомплексов. DOI: 10.24412/1728-323X-2021-4-102-106 // Проблемы региональной экологии. 2021. № 4. С. 102–106.

10. Гильмундинов В. М., Тагаева Т. О., Бокслер А. И. Анализ и прогнозирование процессов обращения с отходами в РФ // Проблемы прогнозирования. 2020. № 1 (178). С. 126–134.

11. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-198-204 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204.

12. Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/file/ffccd6ed40dbd803eedd11bc8c9f7571/Plan\\_po\\_dostizheniyu\\_nacionalnyh\\_celey\\_razvitiya\\_do\\_2024g.pdf](https://www.economy.gov.ru/material/file/ffccd6ed40dbd803eedd11bc8c9f7571/Plan_po_dostizheniyu_nacionalnyh_celey_razvitiya_do_2024g.pdf) (дата обращения: 2.10.2024).

## **ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ В ОБРАЩЕНИИ С ОТХОДАМИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

*Т. Р. Щитковская<sup>1</sup>, Д. Р. Муртазина<sup>1</sup>, Л. А. Гайсина<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Колледж Казанского института (филиала) ВГУЮ (РПА Минюста России),  
*gtr110285@rambler.ru,*

<sup>2</sup> Казанский кооперативный институт

Обращение с отходами – это важная часть экологической политики и управления ресурсами в современном обществе. Эффективное обращение с отходами требует интеграции организационно-правовых и социальных аспектов, что способствует созданию устойчивого и экологически безопасного общества.

Ключевые слова: отходы, экологическая политика, окружающая среда, здоровье человека, Федеральный закон.

Обращение с отходами – это важная часть экологической политики и управления ресурсами в современном обществе [1]. Организационно-правовые и социальные аспекты этой сферы играют ключевую роль в обеспечении эффективного управления отходами и минимизации их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

В каждой стране существуют законы и нормативные акты, регулирующие обращение с отходами. Оно включает в себя законы о сборе, транспортировке, переработке и утилизации отходов. Важно, чтобы эти законы были четкими,

актуальными и соблюдались. В России таки законом является Федеральный закон от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [2]. Он определяет правовые основы обращения с отходами производства и потребления в целях предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую среду, а также вовлечения таких отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

Компании, занимающиеся обращением с отходами, зачастую обязаны получать лицензии на свою деятельность. Система сертификации таких организаций помогает обеспечить их соответствие стандартам. В настоящее время деятельность по сбору, транспортировке, обработке, утилизации, обезвреживанию и размещению отходов подлежит лицензированию в соответствии со ст. 12 Федерального закона от 04 мая 2011 года № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности» [3].

Эффективное обращение с отходами требует комплексного планирования на местном, региональном и национальном уровнях. Это включает разработку программ и стратегий по управлению отходами, которые могут включать в себя сортировку, переработку и минимизацию отходов. На органы государственной власти субъекта РФ возложены полномочия по организации и осуществлению межмуниципальных программ и проектов в области охраны окружающей среды и экологической безопасности, в том числе и при осуществлении обращения с опасными отходами (ст. 6 Федерального закона от 10 января 2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды») [4]. Законодательная база субъектов РФ различна и достаточно обширна для некоторых регионов. Так, количество нормативных актов, действующих в области обращения с отходами, принятых на уровне субъекта РФ, напрямую зависит от статуса и экономической развитости региона.

Для осуществления этой деятельности, необходима финансовая поддержка и экономические механизмы, такие как сборы за утилизацию, налоги на вредные отходы и субсидии на переработку, могут способствовать более эффективному управлению отходами.

Важным аспектом является необходимость постоянного мониторинга и контроля за обращением с отходами, чтобы выявлять нарушения и обеспечивать соблюдение законодательства.

Образование населения по вопросам обращения с отходами, утилизации и переработки отходов способствует формированию экологической культуры. Программы по повышению осведомленности могут включать в себя семинары, акции и информационные кампании. Они могут способствовать более ответственному поведению граждан.

Вовлечение сообщества в процессы по управлению отходами, таких как сортировка и утилизация отходов, может повысить эффективность этих процессов. Местные инициативы и программы волонтерства способствуют активному участию граждан.

Необходимо учитывать интересы различных групп населения и избегать диспропорционального воздействия на менее защищенные слои общества, осо-

бенно в вопросах размещения мусорных полигонов и объектов по утилизации отходов.

Социальные предприниматели могут играть значительную роль в разработке решений для обращения с отходами, таких как стартапы по переработке и повторному использованию отходов.

Налаживание сотрудничества между государственными учреждениями, частным сектором и некоммерческими организациями может привести к более эффективным решениям в области обращения с отходами.

Однако стоит отметить, что на современном этапе развития общества все более остро встает вопрос о состоянии среды обитания человека, поскольку постепенная деградация окружающей среды становится серьезной угрозой для существования человечества. К этой проблеме можно отнести несколько аспектов, а именно: отсутствие налаженной просветительской работы с детьми и молодежью по вопросам экологии, отдельного сбора и сортировки мусора; отношение населения к работникам сферы обращения с отходами как к людям с низким социальным статусом; значительная территория страны при малой заселенности (это требует значительных финансовых затрат для создания инфраструктуры «правильного» потребления, переработки, утилизации отходов) и др.

В связи с этим, требуется улучшить информированность населения о правильном обращении с отходами, что требует комплексного подхода, включающего образовательные программы, активное вовлечение общественности и использование современных информационных технологий.

Рассмотрим несколько ключевых стратегий.

**Образовательные программы.** Разработка и внедрение образовательных курсов и семинаров для разных возрастных групп. Это могут быть программы в школах, колледжах и университетах, а также специализированные курсы для взрослых. Важно включить темы по отдельному коллекционированию, переработке и минимизации отходов.

**Информационные кампании.** Проведение регулярных информационных кампаний через различные каналы, такие как СМИ, социальные сети и уличные акции. Эти кампании должны быть направлены на повышение осведомленности о проблемах, связанных с отходами, и о том, как население может внести свой вклад в решение этой проблемы.

**Визуальные материалы.** Разработка доступных и понятных визуальных пособий, таких как буклеты, плакаты и инфографика, которые можно разместить в общественных местах, учебных заведениях и на предприятиях. Эти материалы могут содержать инструкции по правильной сортировке отходов и информации о ближайших пунктах сбора.

**Вовлечение местных сообществ.** Организация мероприятий, таких как «дни чистоты», субботники и конкурсы на наилучшие инициативы по обращению с отходами. Это создаёт совместную зону ответственности и показывает важность коллективных усилий в решении экологических задач.

**Использование технологий.** Разработка мобильных приложений и онлайн-платформ, которые помогут населению узнавать о правильном обращении с отходами, находить ближайшие пункты сбора и участвовать в акциях по



утилизации. Также можно использовать QR-коды на упаковках, чтобы предоставить пользователям информацию по сортировке конкретных материалов.

Обратная связь и оценка. Создание механизмов для сбора обратной связи от населения и оценки эффективности проведённых мероприятий. Это позволит корректировать стратегии и повышать уровень вовлечённости.

Применяя все эти подходы, можно добиться значительного повышения уровня информированности населения о правильном обращении с отходами и, как следствие, улучшить экологическую ситуацию в обществе.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что эффективное обращение с отходами требует интеграции организационно-правовых и социальных аспектов, что способствует созданию устойчивого и экологически безопасного общества. К сожалению, в современном мире существуют пробелы как в законодательстве, так и в уровне образованности общества в данной сфере. Однако эту проблему можно решить, используя различные стратегии по улучшению информированности населения о правильном обращении с отходами. Это позволит создать более чистую и безопасную среду для текущих и будущих поколений.

#### **Библиографический список**

1. Адюкова О. А., Орешкина Т. А. Социальные факторы в сфере обращения с отходами: проблемы взаимодействия // XXI Уральские социологические чтения. Социальное пространство и время региона: проблемы устойчивого развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 15–16 марта 2018 года). Екатеринбург : Гуманитарный университет, 2018. С. 554–559.

2. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления: Федеральный закон от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ. М. : Центрмаг, 2024. 120 с.

3. Российская Федерация. Законы. О лицензировании отдельных видов деятельности: Федерального закона от 04 мая 2011 года № 99-ФЗ. М. : Центрмаг, 2024. 80 с.

4. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды: Федерального закона от 10 января 2002 № 7-ФЗ. М. : Омега-Л, 2023. 104 с.

## **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ**

*Т. Р. Щитковская<sup>1</sup>, Э. Р. Мубаракова<sup>1</sup>, Л. А. Гайсина<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Колледж Казанского института (филиала) ВГУЮ (РПА Минюста России),  
gtr110285@rambler.ru,*

*<sup>2</sup> Казанский кооперативный институт*

Концепция осознанного потребления основывается на разумном использовании товаров массового спроса, природных и нематериальных ресурсов. За счет такого осознанного отношения каждого человека к своему персональному потреблению сокращается негативное воздействие на окружающую среду, уменьшается количество вредных отходов.

Ключевые слова: природные ресурсы, экологическая осознанность, раздельный сбор мусора, переработки пластика, экопросвещение.

Экологический след зависит от затрат природных ресурсов на производство и логистику, а еще от возможности повторного использования и переработки различных материалов. Отказаться от одноразовых вещей в быту, не использовать много упаковки рекомендует нам правило 4R: refuse (отказываться), reduce (уменьшать), reuse (повторно использовать), recycle (перерабатывать). Поэтому лучший способ донести продукты домой – положить их, например, в свой рюкзак. Но что если это невозможно? Тогда выбираем пакет с меньшим экологическим следом. Сравнение жизненных циклов пакетов из разных материалов показал, что самые экологичные – полиэтиленовые.

Концепция осознанного потребления основывается на разумном использовании товаров массового спроса, природных и нематериальных ресурсов. За счет такого осознанного отношения каждого человека к своему персональному потреблению сокращается негативное воздействие на окружающую среду, уменьшается количество вредных отходов.

Смысл состоит в том, что это концепция, созданная вокруг убежденности в важной роли окружающей среды для жизни общества.

Способы как не наследить связаны с осознанностью – пониманием, что ресурсы и товары нужно потреблять в разумных пределах, а после окончания сдавать их на переработку.

Процесс экологической осознанности, как важный момент охраны окружающей среды, необходимо начинать с самого раннего возраста. Дети с радостью впитывают знания, поэтому с легкостью принимают принципы взаимодействия с окружающим миром и учатся понимать важность бережного отношения к природе.

Прежде всего, задача воспитания лежит на плечах родителей. На воспитателях дошкольных учреждений — не меньшая ответственность, поскольку именно там ребенок адаптируется к социуму и познаёт мир.

Сегодня и государство, и бизнес предпринимают усилия не только для развития переработки отходов, популяризации ответственного подхода к потреблению, но и по охране окружающей среды. Для достижения успеха важно, чтобы такой подход стал общепринятым на уровне всего общества [1].

Чтобы приблизиться к этому, например, крупнейшая в России нефтехимическая компания ПАО «СИБУР холдинг» содействует экопросвещению, развитию отдельного сбора и переработки пластика. Компания содействует вовлечению в переработку полимерных отходов, инвестирует в технологии, которые позволяют многократно использовать синтетические материалы.

Стратегические инициативы, которые реализовывает ПАО «СИБУР холдинг» направлены на то, чтобы компенсировать наше воздействие на окружающую среду. Речь идёт не только о высадке деревьев (на текущий момент высажено пять миллионов), но и о совместной работе с научными организациями по выращиванию именно тех растений, которые обладают повышенной способностью поглощения парниковых газов. И, главное, таких растений, которые смогут произрастать в данных регионах.

Привлекая лучших партнеров и сотрудников, создаются современные решения, которые сохраняют природу и развивают российскую экономику.

Осознавая свой вклад в глобальные процессы, ПАО «СИБУР холдинг» последовательно снижает воздействие на природу и минимизирует экологические риски [2].

В частности, запуск бренда пластика с добавлением вторичного сырья Vivilen, это экоупаковка – бутылки для воды, молока и сока, упаковка для красок, флаконы для косметики, ящики для хранения вещей.

Многоразовая полимерная тара – система аренды и использования ящиков, контейнеров и паллет, которые удешевляют логистику и обеспечивают лучшую сохранность товара [3].

Новый проект в области экологического просвещения – экодом в г. Тюмени. Экодом – это пункт приема вторсырья и образовательно-просветительская площадка по экологическим вопросам для жителей. В нём проходят бесплатные мастер-классы, лекции и семинары, посвященные переработке и эффективному обращению с пластиком, перспективам экономики замкнутого цикла и другим актуальным экологическим вопросам.

Не менее важный проект в экпросвещении – создание экотроп в городах России (Тобольск, Казань). Прогулка по лесу – отличный способ отдохнуть, но еще лучше, прогуливаясь, узнавать больше и об обитателях леса и о защите природы. Для этого нефтехимической компанией создаются экотропы, маршрут содержит остановки с интерактивными экспонатами и информационными стендами.

«Дом полимеров» на ВДНХ построен для каждого, чтобы показать технологичность, безопасность и эффективность современной химии. Проводятся мастер-классы, экскурсии, лекции, форумы, в том числе и недели вторичной переработки. «Дом полимеров» открыл экологическую фотовыставку «От первого лица», где 40 фотоисторий из Нижнекамска, Тобольска, и Казани раскрывают тему гармоничного соседства цивилизации, высокотехнологичного производства и природы. Главная идея выставки – показать, что заводы, город, его жители и природа могут сосуществовать и заботиться друг о друге.

Данный воспитательный процесс помогает осознать следующее:

- понимание важности природы и стремление беречь ее от негативного воздействия;
- получение базы знаний об окружающих процессах, что развивает интеллект и логику;
- формирование понятий и представлений о красоте природы;
- пробуждение интереса к наблюдению за растениями и животными;
- практические навыки ухода позволяют выработать ответственность, аккуратность и отзывчивость;
- грамотный подход к осознанному потреблению.

Важно не только участвовать или организовывать экопроекты, но и учить экологической жизни и экологичному потреблению.

Активизацию интереса к экпросвещению можно добиться различными способами, в том числе и использованием художественных приемов на экоуроках. Художественная составляющая может сделать привлекательной любой предмет для изучения.

Для воспитания бережного отношения к природе полезно и изучение природоохранных мест собственного края. Любовь к Родине начинается с любви к тому месту, где родился и вырос человек.

Человек, с детства влюбленный в природу и её многообразие не загрязняет её. Он чувствует с ней единение и одновременно огромную ответственность за её сохранение. Одной из главных задач взрослых людей – прививать это чувство новому поколению с раннего возраста и воспитывать в детях осознанное потребление.

Таким образом, концепция осознанного потребления основывается на разумном потреблении товаров, что снижает негативное воздействие на окружающую среду и необходимости с детства это прививать подрастающему поколению.

#### **Библиографический список**

1. Быков Д. Е. Комплексная многоуровневая система исследования и переработки промышленных отходов. Самара : Самар. гос. техн. ун-т., 2003. 107 с.
2. Зелёный город. Приоритеты СИБУРа – снижение воздействия на окружающую среду и экологическая безопасность. [Электронный ресурс]. – URL: <https://greencity-sibur.ru/> (дата обращения: 30.09.2024).
3. Петров В. Г., Чечина А. А. Линии сортировки мусора. Перспективы применения. Ижевск : Изд-во Института прикладной механики УрО РАН, 2005.

Научное издание

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ  
С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Материалы

VI Всероссийской научно-практической конференции

18–19 ноября 2024 г.

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова

Дизайн обложки: Ю. Д. Иванова

Вятский государственный университет,

610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

Подписано к печати 25.12.2024. Формат 60 x 84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 11,27. Тираж 30 экз. Заказ № 97.

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](mailto:raduga-press@list.ru)