



IV Всероссийская научно-практическая конференция
с международным участием

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

IV Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием

г. Киров, 30 ноября 2022 г.

Киров 2022

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 ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного университета

Редакционная коллегия:

Л. И. Домрачева, профессор, д-р биол. наук; **Л. В. Кондакова**, профессор, д-р биол. наук; **А. С. Олькова**, с. н. с., д-р биол. наук; **И. Г. Широких**, в. н. с., д-р биол. наук; **Т. А. Адамович**, доцент, канд. геогр. наук; **Г. И. Березин**, доцент, канд. биол. наук; **Е. В. Береснева**, профессор, канд. пед. наук; **Е. В. Дабах**, доцент, канд. биол. наук; **Г. Я. Кантор**, с. н. с., канд. техн. наук; **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук; **С. Ю. Огородникова**, доцент, канд. биол. наук; **В. В. Рутман**, м. н. с.; **Е. В. Рябова**, доцент, канд. биол. наук; **С. Г. Скугорева**, доцент, канд. биол. наук; **Н. В. Сырчина**, доцент, канд. хим. наук; **Е. В. Товстик**, доцент, канд. биол. наук; **А. И. Фокина**, доцент, канд. биол. наук; **С. В. Шабалкина**, доцент, канд. биол. наук.

Т 384 Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Киров, 30 ноября 2022 г. – Киров : Вятский государственный университет, 2022. – 274 с. – ISBN 978-5-98228-257-6

В книгу вошли материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Технологии переработки отходов с получением новой продукции». Рассмотрены технологии переработки и рециклинга неорганических и органических отходов, биотехнологические методы утилизации и обезвреживания отходов производства и потребления. Представлены методы и подходы экологического мониторинга техногенных территорий. 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.

Конференция проводится в рамках Программы развития ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» и Программы развития ФГУП «ФЭО».

УДК 628.477(03)
ББК 38.931(03)

ISBN 978-5-98228-257-6

© Вятский государственный университет
(ВятГУ), 2022

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

<i>Ашихмина Т. Я., Никулин С. В.</i> Современные методы и подходы подготовки кадров в вузах для новой отрасли «Обращение с отходами»	8
<i>Сучков Д. В., Виноградова К. И., Дмитриева Д. В., Курганова С. М., Русских Е. А.</i> Утилизация отходов водоотведения объектов железнодорожной инфраструктуры с получением новых строительных материалов	14
<i>Зибарев Н. В., Политаева Н. А., Молодкина Л. М.</i> Метод переработки отходов молочной промышленности с помощью микроводорослей с целью получения новой продукции	19
<i>Мисин В. М., Волков В. А., Воронков М. В., Антипов Е. М., Квасников М. Ю., Маслаков К. И.</i> Разработка основ технологии получения пигментов из регенератов поверхностных сточных вод	23
<i>Борисова Е. А., Джейранова А. Ф.</i> Разработка метода получения изоляционного и рекультивационного материала	28
<i>Зо Е Наинг, Нистратов А. В., Клушин В. Н.</i> Оценка выхода и состава побочных продуктов получения активных углей из ископаемого угля	33
<i>Мухамедшина Д. Ш., Ерофеева Е. Н.</i> Усовершенствование методов утилизации отходов на предприятии «Эковолга»	37
<i>Колесников А. В., Абакумов М. В., Бродский В. А., Чеботов А. Ю., Селиваненко О. И.</i> Разработка современной электрохимической технологии получения концентрированного пероксида водорода высокой чистоты	40
<i>Журавлева А. Н.</i> Анализ особенностей обращения с отходами отработанных растворов реагентов в лаборатории химического анализа	45
<i>Косолапова С. М., Завадская М. С., Качина Ю. М.</i> Оптимизация процесса очистки эфиров жирных кислот углекислым газом	49
<i>Арасланов М. И., Козлов А. Н.</i> Снижение негативного воздействия дизелей на окружающую среду путем применения альтернативных топлив	52
<i>Дробков М. В., Фокина А. И., Ёлкина А. В.</i> Исследование эффективности водной экстракции полифенолов и антиоксидантов из прополиса	56
<i>Мусихина Т. А., Пугач В. Н., Костицын Р. М., Сергеева У. С.</i> Вопросы управления отходами производства и потребления в Российской Федерации	59

СЕКЦИЯ 2
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И РЕЦИКЛИНГ
НЕОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

<i>Терентьев Ю. Н., Сырчина Н. В.</i> Аппаратурная технологическая схема получения бесхлорных калийных удобрений на основе конверсии фосфогипса и хлорида калия в аммиачном растворе	67
<i>Сырчина Н. В., Иванова Н. Н., Скугорова С. Г.</i> Влияние продуктов переработки фосфоритов Вятско-Камского месторождения на содержание в почве водорастворимого калия	72
<i>Суксин Н. Е., Шумилова М. А.</i> Рециклинг отработанных растворов химического никелирования	76
<i>Бродский В. А., Сахаров Д. А., Колесников А. В., Кисиленко П. Н., Яворский А. Р.</i> Реализация работ по разработке участка физико-химической переработки отходов производственно-технических комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности «Горный», «Марадыковский», «Щучье», «Камбарка»	79
<i>Мухамедиев М. Г., Бекчанов Д. Ж., Ботиров С. Х., Кутлимуратов Н. М., Бобожонова Г. К.</i> К вопросу об очистке сточных вод гальванических цехов от дихромат-ионов сорбентом на основе поливинилхлорида	85
<i>Хранилов Ю. П., Лихачёв В. А., Лобанова Л. Л., Мамаев В. И., Еремеева Т. В., Михайлова И. Ю.</i> Работы кафедры технологии электрохимических производств Вятского государственного университета в области прикладной экологии	87
<i>Лопарев А. А., Комаровских А. А., Новосад Н. А., Чухланцев К. В., Камалов К. О., Земцова Е. А.</i> Исследование возможности применения металлургических шламов в строительстве.....	91
<i>Фоминых А. М., Кушков А. А., Камалов К. О.</i> Исследование возможности переработки металлургических шламов.....	94
<i>Хузиахметов Р. Х., Харенко А. О., Быстров М. А., Фазуллин Р. Х.</i> Переработка кислотных отходов производства нитратов целлюлозы на азотно-калийные удобрения.....	99
<i>Кобликов Е. С., Хитрин С. В., Юдинцева А. А.</i> Очистка водных потоков от ионов никеля (II) с помощью диметилглиоксима и адсорбентов на основе отходов гидролизного лигнина.....	104

СЕКЦИЯ 3
ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И РЕЦИКЛИНГ
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

<i>Кудинова А. А., Полторацкая М. Е.</i> Получение высокопористого углеродного материала из высокосернистого нефтяного кокса	110
<i>Жакининова А. Т., Середина В. П.</i> Использование термического метода утилизации нефтесодержащих отходов путем сжигания с получением вторичной продукции в условиях Западной Сибири	113
<i>Рак К. А., Сердюкова Е. Ю.</i> Возможность вовлечения сырья растительного происхождения в технологическую цепочку нефтеперерабатывающего завода	117
<i>Марьев В. А., Тихонова И. О.</i> Изношенные шины – важный сырьевой ресурс для производства дорожных строительных материалов.....	121
<i>Хороших Е. А., Толмачева Н. А.</i> Использование технологии гидрокрекинга в переработке пластиковых отходов	124
<i>Ярусова С. Б., Охлопкова А. А., Гермогенова Н. В., Данилова С. Н., Гордиенко П. С.</i> Разработка триботехнических материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, наполненного волластонитом из отходов борного производства	129
<i>Верхозина В. А., Пуртова К. Б.</i> Утилизация древесных отходов	132
<i>Чемерис О. В.</i> Целлюлозолитическая активность базидиомицета <i>Irpex lacteus</i> (Fr.) Fr. при твердофазной ферментации на древесных опилках	137
<i>Айвазян А. А., Бозова А. П., Нагаева К. А., Иванцов И. В., Деятерикова С. В.</i> Влияние способов получения и размеров частиц сырья на выход и чистоту бетулина.....	141
<i>Барбарош М.-М. А., Некрылова Л. К.</i> Решение проблемы использования и переработки молочной сыворотки	144
<i>Кручиреску Д. Г.</i> Рациональное использование незрелых яблок в контексте устойчивого развития	149
<i>Барбарош М.-М. А., Некрылова Л. К.</i> Перспективы переработки вторичного сырья пищевого происхождения для получения инновационной молочной продукции	152
<i>Галкина А. Н.</i> Исследование возможности использования «зеленых» ингибиторов коррозии для нефтегазодобывающей промышленности	156
<i>Со Вин Мьинт, Нистратов А. В., Клушин В. Н.</i> Активный уголь из кожуры плодов тамаринда – отхода пищевых производств Мьянмы.....	159
<i>Новосёлова М. М., Земцова Е. А.</i> Исследование сорбционных свойств растительных материалов	163

СЕКЦИЯ 4
БИОТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ
ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

<i>Беловежец Л. А., Малков Ю. А., Белоусов Д. С.</i> Микробиологическая переработка отходов лесопиления с получением комплексного органо-минерального удобрения: теоретические и практические аспекты	167
<i>Чепрасова А. С., Севастьянов М. А., Дроганова Т. С., Новикова Н. Г., Колкова А. А.</i> Исследование продуктов переработки органических отходов – искусственных почвогрунтов	171
<i>Пилип Л. В., Сырчина Н. В., Бякова О. В.</i> Рециклинг отходов отрасли животноводства	174
<i>Лукьянов В. А., Грибовская И. В.</i> Рециклинг органических отходов сельского хозяйства с помощью альгобактериального консорциума.....	179
<i>Вельможина К. А., Шинкевич П. С.</i> Применение микроводорослей <i>Chlorella kessleri</i> для интенсификации анаэробного сбраживания пищевых отходов	183
<i>Чаленко М. А., Епишкина Ю. М., Хромова Н. Ю., Кареткин Б. А., Шакир И. В., Панфилов В. И.</i> Оценка потенциала ржаных отрубей как источника питательных веществ для культивирования лактобактерий и продукции бактериоцинов	185
<i>Переломов Л. В., Сизова О. И., Мухторов Л. Г., Третьякова А. В., Атрощенко Ю. М.</i> Металлотолерантные бактерии очистных сооружений г. Тулы.....	189
<i>Ольшанская Л. Н., Халиева А. С., Антониу Д. Ф. М.</i> Биоремедиация нефтезагрязненных почв	192
<i>Кушу А. Ю., Пищаева К. В., Макарова А. С.</i> Фитоэкстракция загрязненных ртутью почв.....	197
<i>Злобина В. М., Фокина А. И.</i> Изучение физико-химических свойств композиций с бетулином	202

СЕКЦИЯ 5
ПОИСК И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

<i>Рутман В. В., Хето М. Х., Ашихмина Т. Я.</i> Применение ГИС-технологий для оценки состояния атмосферного воздуха городской среды.....	206
<i>Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М.</i> О некоторых результатах использования микростанций на платформе CityAir для мониторинга атмосферного воздуха	211
<i>Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Колеватых Е. П.</i> Регулирование эмиссии запахообразующих веществ из навозных стоков	215

Трусова В. В., Качор О. Л., Паршин А. В., Матюхин И. А., Икрамов З. Л. Оценка состояния качества атмосферного воздуха города Усть-Кут Иркутской области на основании снегохимической съемки	218
Ефремова О. С., Фалова О. Е. Результаты исследования загрязнения атмосферы от автомобильного транспорта на наиболее оживленном участке промышленного города.....	222
Гвоздев Е. Н., Демакова А. В. Исследование влияния автомобильного транспорта на экологическое состояние микрорайона Колледжа промышленности и автомобильного сервиса	225
Кузнецова У. Ю., Новиков А. В., Сумарукова О. В. Загрязнение окружающей природной среды огнетушащими веществами и экологические последствия их воздействия	230
Харыбина А. С., Зеновская А. И. История и перспективы применения наноявлений для целей охраны окружающей среды	233
Жилина В. В., Ашихмина Т. Я., Азопков С. В. Изучение гидрохимических показателей проб воды из внутреннего кольцевого и магистрального каналов полигона «Красный Бор»	238
Никитин О. В., Латыпова В. З., Ашихмина Т. Я., Кузьмин Р. С., Харипов И. И., Насырова Э. И. Оценка содержания частиц микропластика в донных отложениях водных объектов города Казани	243
Качор О. Л., Паршин А. В., Трусова В. В., Курина А. В. Установление масштабов негативного влияния промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент» на объекты окружающей среды	247
Ефимова Т. Н., Шведова Т. Е. Оценочные критерии экологического риска при анализе техногенной нагрузки ТЭЦ-1 г. Йошкар-Олы.....	250
Измайлова Е. О. Воздействие на окружающую среду предприятий по добыче нерудного индустриального сырья	255
Бондаренко Ю. В., Домрачева В. А. Экологическая безопасность и экономическая оценка выбора трассы газотранспортной системы «Сила Сибири» в районе озера Байкал.....	258
Ланько А. В., Паршин А. В., Икрамов З. Л., Матюхин И. А. Оценка фоновых параметров среды при геоэкологических исследованиях природно-антропогенных комплексов Прибайкалья.....	264
Хагдаева Д. А., Фомина Е. Ю. Анализ природоохранной деятельности АО «Золотодобывающая компания «Лензолото» и разработка мероприятий по ее усовершенствованию	270

СЕКЦИЯ 1

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ВУЗАХ ДЛЯ НОВОЙ ОТРАСЛИ «ОБРАЩЕНИЕ С ОТХОДАМИ»

Т. Я. Ашихмина^{1,2}, С. В. Никулин¹

¹ *Вятский государственный университет,*

² *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук, ecolab2@gmail.com*

Материал статьи включает состояние вопроса по решению проблемы подготовки кадров для создаваемой новой отрасли «Обращение с отходами» на базе высших учебных заведений при совместном сотрудничестве школы, вуза, производства, бизнеса и власти. Отмечается, что подходы, методы и мероприятия по работе с абитуриентами, направления подготовки специалистов, производственная практика обучающихся для данной отрасли должны существенно отличаться, быть нацеленными на приобретение знаний, умений и компетенций по организации данного производства, управлению всем технологическим процессом. Вузы готовы включиться и уже в некоторых из них начался процесс подготовки и переподготовки профессиональных кадров для данной отрасли и создаваемых с этой целью в нашей стране Экотехнопарков.

Ключевые слова: переработка отходов, подготовка кадров, партнёрство «школа-вуз-предприятия-бизнес-власть».

В нашей стране развивается реформа новой отрасли «Обращение с отходами», которая ориентирована на эффективное ресурсосбережение, максимальное использование исходного сырья и материалов, предотвращение и сокращение образования отходов, снижение класса опасности отходов. Одной из первоочередных задач в решении данной проблемы является утилизация старых накопленных отходов производства и потребления.

На территории Кировской области объём накопившихся отходов составляет более 81 млн т, из них свыше 14 млн т (17,5%) составляют твёрдые бытовые отходы. Кроме того, на объектах временного и длительного хранения (золошлакоотвалы, шламохранилища, накопители, открытые и закрытые площадки временного хранения, в том числе расположенные в охранной санитарной зоне водозабора) размещено более 41 млн т отходов производства и потребления [1].

Одним из важнейших направлений, созданного на базе РХТУ имени Д. И. Менделеева Консорциума «Передовые ЭкоТехнологии», с участием – Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю. А., Удмуртского государственного университета, Вятского государственного университета, Иркутского национального исследовательского университета, Удмуртского федерального исследовательского Центра УрО РАН является участие в подготовке востребованных профессиональных кадров для новой отрасли «Обращение с отходами» [2]. Поэтому целью данной работы явился анализ состояния данной проблемы, методов и подходов к её реализации.

На сегодня многие вузы готовы включиться и уже в некоторых из них начался процесс подготовки и переподготовки профессиональных кадров для создаваемых экотехнопарков. К примеру, Вятский государственный университет обеспечивает профессиональную подготовку кадров по 106 направлениям бакалавриата, 10 – специалитета, 69 – магистратуры и 52 направлений аспирантуры. Всего по 237 направлениям подготовки. Кроме того, обеспечивается профессиональная переподготовка кадров по 45 программам. Для создаваемого «Экотехнопарка «Мирный» уже на сегодня могут быть востребованы многие специальности бакалавриата, специалитета, магистратуры и аспирантуры, по которым ведётся подготовка кадров на базе ВятГУ.

Нами по материалам проектной документации сделан анализ кадров для создаваемого «Экотехнопарка «Мирный» в Кировской области, полученные данные свидетельствуют о том, что штатный состав работников на предприятии планируется в количестве 450–500 сотрудников. Из них, треть порядка 150 человек, будет составлять инженерный состав, а также специалисты химической лаборатории. Кроме того, достаточно в большом количестве около 150 человек потребуется принять на должности механиков; машинистов компрессорных установок, холодильных установок, насосов; операторов; аккумуляторщиков; электрогазосварщиков; электромонтеров; слесарей [3]. Подготовка которых может проводиться на базе, как вузов, так и средних специальных учебных заведений (техникумов и училищ). Важная роль в этом принадлежит развитию взаимодействия системы: «школа-учебное заведение-вуз-предприятие». Совместными усилиями предстоит организовать системную, продуманную работу по ориентации молодёжи на получение профессий инженеров и специалистов данного профиля.

Подходы, методы и мероприятия по работе с абитуриентами, направления подготовки специалистов, производственная практика обучающихся для данной отрасли должны существенно отличаться, быть нацеленными на приобретение знаний и умений по организации данного производства, управлению всем технологическим процессом. Специалист в отрасли переработки отходов должен обладать рядом компетенций в области законодательных и правовых основ обеспечения экологической безопасности; иметь широкий спектр знаний по новейшим достижениям современной химической технологии, уметь просчитать баланс технологических процессов на входе и выходе,

обеспечивать организацию и проведение экологического контроля и мониторинга, знать правила и меры предосторожности при работе с опасными химическими веществами.

В связи с этим при подготовке и закреплении кадров в данной отрасли целесообразно применять нестандартные подходы, технологии и методы:

1. Профориентационные мероприятия, направленные на поступление выпускников школ в вузы, техникумы и училища по специальности химик-инженер, эколог, технолог производства обращения с отходами; совершенствование сотрудничества со школами по созданию менделеевских классов, организация проектной деятельности с учащимися.

2. Курсы повышения квалификации (в рамках Консорциума «Передовые ЭкоТехнологии». В вузах разработаны новые программы. Необходимо определиться в каком вузе, по каким направлениям и программам будет проводиться повышение квалификации).

3. Сетевая форма подготовки специалистов через магистратуры РХТУ-ВятГУ-СГТУ-УдГУ (каждый вуз обеспечивает обучение по соответствующему блоку программы подготовки магистра).

4. Целевое обучение за счёт средств отрасли, предприятия, что особенно важно для малообеспеченных слоёв сельского населения (меры социальной поддержки материального характера, такие как стипендии, оплата питания в период практики, оплата проезда к месту практики и т. п.). Предоставление «целевику» места для прохождения производственной практики, трудоустройство по окончании обучения со сроком отработки «целевика» в течение не менее 3-х лет, оказание наставнического содействия на первых этапах при адаптации в профессии.

5. Научно-техническая поддержка молодых специалистов: повышение имиджа специалиста данной отрасли. Создание на предприятиях при поддержке вузов «Школ молодых новаторов, рационализаторов». Привлечение молодых специалистов к участию в конкурсах профессионального мастерства, к участию в областных фестивалях, форумах, конференциях, семинарах и др.

В вузах уже реализуются мероприятия по подготовке кадров. Одним из приоритетных направлений научных исследований студентов на кафедрах Института химии и экологии ВятГУ принята крайне актуальная на сегодня тематика «Разработка технологий, методов и подходов по переработке промышленных и бытовых отходов». У каждой кафедры в этом направлении есть определённый задел, который предстоит развивать под конкретные задачи и проекты. В проектной деятельности участвуют студенты, но, безусловно, ведущая роль в реализации данного направления возлагается и на молодые кадры – магистрантов и аспирантов.

Одновременно на базе опорного вуза проводится профессиональная переподготовка кадров по направлениям: «Экологическая безопасность, контроль и мониторинг», «Нормативно-правовая база по отходам», «Современные методы и технологии в оценке качества природных сред и объектов», «ГИС-технологии в экологии», «Применение геоинформационных систем и

методов дистанционного зондирования Земли в практической деятельности предприятий (практические занятия по дешифрированию, картографированию)», программа «Отходы», «Безопасное обращение с медицинскими отходами», «Современные физико-химические экспресс-методы анализа (внутрилабораторный контроль и биотестирование»).

В университете созданы и действуют научные школы, центры, лаборатории. В течение многих лет на базе ВятГУ действует совместная с Институтом биологии Коми НЦ УрО РАН научно-исследовательская лаборатория биомониторинга, которая занимается проектной и изыскательской деятельностью по обеспечению экологической безопасности региона, организацией мониторинга техногенных территорий. Создание совместной лаборатории позволяет объединять усилия в подготовке высококвалифицированных специалистов, в проектной деятельности, использовать приборное оборудование Института биологии, аттестаты аккредитации и лицензии на право выполнения проектных и инженерно-изыскательских работ по направлениям: обращение с радиоактивными отходами, радиационный контроль, инженерно-геологические и гидрологические изыскания, по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, разработка разделов «Охрана окружающей среды», ОВОС, санитарно-эпидемиологическое заключение. Научный коллектив лаборатории обеспечивает на своей базе для студентов, магистрантов и аспирантов научную и научно-технологическую практику, привлекает к участию в проектной деятельности. Кроме того, для обеспечения проектной, хозяйственной деятельности, выполнения диссертационных исследований, прохождения научно-производственной практики на базе ВятГУ создана и действует оснащённая современным оборудованием для количественного химического и токсикологического анализа Экоаналитическая лаборатория, которая прошла аккредитацию с 2010 г. и аккредитована на 256 показателей: промышленные выбросы – 83; – атмосферный воздух – 51; вода природная, питьевая и сточная, снежный покров – 95; почва и грунты – 51; донные отложения, ил, осадки сточных вод, шламы – 27; отходы производства и потребления – 22.

ВятГУ готов к участию в решении проблем обращения с отходами, в том числе по решению вопроса подготовки кадров. Для этого есть база, кадры, созданы научные направления, реализуется проектная деятельность с привлечением обучающихся. Однако, нацеленная на новую, пока не совсем привлекательную для молодёжи отрасль «Обращение с отходами», данная деятельность требует серьёзного и надёжного партнёрства органов власти, производства, науки, бизнеса, вузов по следующим направлениям и формам взаимодействия:

1. Меры государственной политики в области обращения с отходами производства и потребления необходимо считать в качестве одного из приоритетов в области научных исследований, проектной деятельности, подготовки профессиональных востребованных кадров.

2. Продолжить сотрудничество: власть-производство-наука-образование-бизнес в решении проблемы не только настоящего, но и будущего обращения с отходами.

3. Партнёрство «производство-бизнес-наука» необходимо направить на повышение качества обращения с отходами производства и потребления, совместными усилиями добиваться грантовой поддержки науки по реализации проектной деятельности.

4. Создавать и реализовывать модели межотраслевого и межрегионального взаимодействия в контексте обращения с отходами. Обеспечивать поддержку по разработке проектов в сфере правового регулирования работы с отходами на предприятиях данной отрасли

5. Участвовать в разработке программ и создании систем экологического мониторинга природных сред и объектов в районе деятельности Экотехнопарка, а также в местах размещения полигонов и свалок промышленных отходов.

6. Обеспечивать профессиональную подготовку и переподготовку кадров для новой отрасли «Обращение с отходами», выполнение проектных исследований по совершенствованию и внедрению новых технологий обращения с отходами производства и потребления. Продумать возможности организации конкурсов на лучшего изобретателя, рационализатора в области обращения с отходами.

7. Способствовать созданию менделеевских классов в школах, организации проектной работы с учащимися и ориентации их на поступление в вузы, соответствующие данной отрасли.

8. Обеспечивать информационную работу и проектную деятельность со студентами по формированию знаний и компетенций комплексного обращения с отходами, способов и технологий реализации оптимального рецепта управления отходами, а именно: переработать всё, что можно; сжечь, то, что нельзя переработать, но можно безопасно сжечь; достичь нулевого уровня захоронения отходов в промышленности. С такими принципами и компетенциями молодой специалист должен приходиться на производство и участвовать в совершенствовании технологий.

В заключение следует отметить, что создание Консорциума «Передовые ЭкоТехнологии» на базе Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева, безусловно, укрепляет взаимодействие вузов, участников Консорциума, как по развитию научного сотрудничества, так и в решении проблемы подготовки кадров, а также в профориентационной работе с учащимися менделеевских классов, проведении тематических менделеевских экспедиций.

Крайне успешным проектом в 2021–2022 гг., не просто ярким и запоминающимся, но глубоким, по своему содержанию, явилась организованная по инициативе Федерального экологического оператора (предприятие Госкорпорации Росатом), организационной поддержке сети Информационных центров по атомной энергии, участия научно-образовательного Консорциума

«Передовые ЭкоТехнологии» Менделеевская экологическая экспедиция на Байкал (2021 г) и на Финский залив (2022 г.) [4–5]. В ходе экспедиций учащиеся увидели не только красоту и достопримечательности Байкала и Финского залива, но и посетили территорию БЦБК и полигона «Красный бор» крупнейших объектов накопленного экологического вреда на данных территориях. Отобрали пробы сточной воды в районе БЦБК и полигона «Красный бор», провели их анализ и сравнили полученные данные с результатами байкальской воды и воды реки Нева. Это был настоящий УРОК ОСОЗНАНИЯ для молодых исследователей, увидевших объекты накопленного экологического вреда такого масштаба, что значит быть «властелином» природы и не проявлять своевременной должной заботы об её сохранении.

Совершенствуется партнёрство между вузами участниками Консорциума «Передовые ЭкоТехнологии»: разработана комплексная научно-техническая программа «Обработка, утилизация и обезвреживание техногенных отходов I и II классов опасности»; совместно с ИЦАЭ проводятся экологические форумы, форсайты, конференции, телемосты, мастер классы, тренинги, интерактивные интеллектуальные занятия, хакатоны [6–9]. Всё это позволяет студентам молодым участникам мероприятий, более предметно, овладевать знаниями, умениями и компетенциями будущей профессии для новой отрасли «Обращение с отходами».

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», ЕГИСУ № 1220401000325.

Библиографический список

1. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2018 году (Региональный доклад). 2019. 208 с.
2. Подготовка кадров для решения проблемы обезвреживания техногенных отходов I и II классов опасности / А. Г. Мажуга, В. А. Колесников, Д. О. Лемешев, Т. В. Конькова, М. В. Корольков, А. В. Колесников // Теоретическая и прикладная экология» 2020. № 4. С. 231–236. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-231-236
3. Проектная документация «Производственно-технический комплекс по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности «Марадьковский». 2020.
4. Занько С. В. Первая «Менделеевская экологическая экспедиция» на Байкал // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 237–238.
5. В Петербурге стартовала «Менделеевская экологическая экспедиция» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/09/13/128152>(дата обращения: 01.11.2022).
6. Тихомирова Е. И. Второй Всероссийский научно-образовательный форум «Экологический форсайт» // Теоретическая и прикладная экология» 2020. № 4. С. 244–245.
7. Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2020. 361 с.
8. Ашихмина Т. Я., Огородникова С. Ю. Экологический форум на Вятке // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 245–247.
9. Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2021. 240 с.

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ВОДООТВЕДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Д. В. Сучков, К. И. Виноградова, Д. В. Дмитриева,
С. М. Курганова, Е. А. Русских
Санкт-Петербургский горный университет,
suchkov_dv@pers.spmi.ru*

Исследование посвящено решению актуальной проблемы утилизации отходов, образующихся на объектах железнодорожной инфраструктуры (на примере отходов водоотведения). Предлагается использование технологии термического обезвреживания осадков сточных вод с дальнейшим вовлечением образующейся золы от сжигания в хозяйственный оборот в качестве компонента строительного материала – золобетона.

Ключевые слова: зола сжигания осадка сточных вод, золобетон, отходы водоотведения, строительные материалы, утилизация отходов.

Одной из целей экологической политики ОАО «РЖД» является увеличение доли обезвреживания и вовлечения отходов производства и потребления во вторичный оборот. Являясь экологически ориентированной компанией, ОАО «РЖД» уделяет большое внимание снижению техногенного воздействия на окружающую среду, что подтверждает «Экологическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2017 года и на перспективу до 2030 года». В настоящее время более 3 тысяч предприятий-филиалов ОАО «РЖД» являются природопользователями, рассредоточенными по всей территории России: локомотивные и вагонные депо, железнодорожные станции и т. д.

В число главных экологических целей компании входит снижение сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты и на рельеф местности на 18% к 2025 г. (по сравнению с 2018 г.), а также недостаточно очищенных сточных вод, сбрасываемых в муниципальные системы канализации. Это достигается за счет строительства и реконструкции сооружений по очистке сточных вод. Зачастую очистные сооружения ОАО «РЖД» обслуживают не только объекты железнодорожной инфраструктуры, но также и населенные пункты, на территории которых располагаются. С учетом темпов роста производства и потребления, вопросы утилизации осадков, образующихся при очистке сточных вод, становятся как никогда актуальными. Тем временем, еще одной из целей экологической политики ОАО «РЖД» является увеличение доли обезвреживания и вовлечения отходов производства и потребления во вторичный оборот.

Одним из наиболее перспективных способов утилизации ОСВ является сжигание, позволяющее снизить объем отхода до 10 раз с образованием золы сжигания ОСВ. За счет большей инертности и меньшей реакционной способ-

ности, зола имеет более широкую область применения в качестве вторичного ресурса. Примерами успешного использования ОАО РЖД технологии сжигания отходов являются комплексы термического обезвреживания отходов в Ярославской и Иркутской областях. Подтверждением эффективности применения технологии инсинерации для утилизации ОСВ является деятельность ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», где внедрение сжигания ОСВ позволило добиться его полной утилизации. Тем временем, рост спроса на строительные материалы требует поиска альтернатив их получения, в том числе – из термически обработанных отходов.

Таким образом, исследование нацелено на решение актуальной проблемы полезной утилизации отходов водоотведения.

Целью является разработка наиболее экологически эффективной, доступной и экономически выгодной технологии по переработке, обезвреживанию и утилизации отходов водоочистных систем.

В качестве объекта исследования выступают отходы очистки сточных вод (на примере осадков сточных вод локальных очистных сооружений объектов железнодорожной инфраструктуры ОАО «РЖД»). Предметом исследования является потенциал использования технологии инсинерации для утилизации ОСВ, а также перспективы применения получаемой золы сжигания ОСВ для производства строительных материалов.

Для выполнения исследования были поставлены следующие задачи:

1) Обзор перспективных направлений утилизации осадков городских сточных вод и продуктов их переработки по данным отечественных и зарубежных исследований;

2) Разработка методологического подхода к оценке состава и свойств отхода при выборе направления его полезного использования;

3) Экспериментальное подтверждение эффективности использования технологии сжигания (инсинерации) для утилизации указанного отхода;

4) Оценка возможности применения золы сжигания осадка сточных вод в качестве компонента строительных материалов с выдачей соответствующих рекомендаций;

5) Разработка сырьевой смеси для производства золобетона, в котором зола выступает в качестве замены части цемента;

6) Оценка эколого-экономической эффективности предлагаемого способа утилизации отхода с учетом нужд ОАО «РЖД».

Научной новизной работы являются:

– подтверждение эффективности использования технологии инсинерации для утилизации осадков сточных вод локальных очистных сооружений железнодорожных (ж/д) станций;

– установление соответствия полученной золы требованиям, выдвигаемым к компонентам бетонов;

– подтверждение сохранности прочностных свойств бетона (плотность не ниже $1,3 \text{ г/см}^3$, прочность на изгиб не менее 2 МПа, прочность на сжатие не менее 15 МПа) при замене золой цемента в пределах до 10% (по массе).

Практическая значимость: предлагаемое комплексное техническое решение позволяет использовать термически обработанные отходы, образующиеся на предприятиях ОАО «РЖД», для производства легкого золобетона. Замена золой до 10% цемента по массе в составе цементно-песчаной смеси позволит производить золобетон по параметрам не ниже стандартного легкого бетона. О возможности применения термически обработанных отходов в строительстве упоминается и в информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям (ИТС 9-2015).

Оценка эффективности использования технологии сжигания для утилизации отходов. Возможность использования технологии термической утилизации осадка сточных вод с дальнейшим применением золы в составе строительных материалов обосновано результатами лабораторных исследований состава и свойств как исходного осадка, так и получаемой золы. Материал для исследований – осадок сточных вод предоставлен очистными сооружениями станции Будогощь Волховстроевского региона Октябрьской железной дороги.

Проведенные исследования ОСВ позволяют предварительно подтвердить возможность использования технологии сжигания для утилизации отхода, а также соответствие установленных характеристик ОСВ аналогичным показателям твердого топлива. В частности, показатель удельной теплоты сгорания составил 18 МДж/кг. Подтверждено, что ОСВ в перспективе может являться топливом, аналогичным по теплотворной способности каменному или бурому углю. По данной характеристике ОСВ превосходит даже торф. Важно отметить, что последствием высокой исходной влажности (89%) является увеличение количества отхода, а также уменьшение теплоты сгорания. Поэтому одним из важнейших этапов подготовки ОСВ к сжиганию должна являться его сушка до влажности не более 60–75%. На основании данных экспериментального озоления установлено, что выход зольного остатка составит порядка 300 кг с 1 т ОСВ. Тем самым также подтвержден установленный показатель зольности ОСВ ~30%.

Обзор технических решений малогабаритных инсинерационных установок отечественного производства подтверждает возможность эффективного сжигания ОСВ без вреда окружающей среде (сжигание осуществляется при температуре не менее 800 °С, установки также оборудованы камерой дожигания отходящих газов для предотвращения образования диоксинов).

Оценка возможности использования золы ОСВ в качестве компонента легкого бетона. Как ОСВ, так и зола его сжигания отнесены к IV классу опасности на основе данных о качественном и количественном составе, полученных при помощи рентгенофлуоресцентного анализа и методом атомно-абсорбционной спектроскопии, что подтверждено результатами биотестирования.

В рамках данной работы был выбран способ получения золобетона, в котором зола используется в качестве замены части цемента. Как компонент

бетонной смеси, зола должна соответствовать ряду требований, установленных нормативной документацией.

Полученные в ходе дальнейших лабораторных исследований данные позволяют подтвердить, что зола сжигания ОСВ соответствует требованиям к химическому составу для основных зол-компонентов бетона (по содержанию и соотношению концентраций [%] компонентов Al_2O_3 , CaO , SiO_2 , SO_3 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O) [1–3]. Кроме того, зола ОСВ входит в допустимый диапазон значений влажности, плотности и других характеристик.

Применение золы обосновано, если при проведении дальнейших испытаний золобетонной смеси будут обеспечиваться требуемые физико-механические показатели бетона. Для определения прочностных характеристик золобетонной смеси были изготовлены образцы из цементного раствора. В образцах, кроме контрольного, часть цемента была заменена золой в количестве от 5 до 50%. Испытание прочности образцов-балочек из цементного теста при изгибе и при сжатии выполнено с использованием испытательной машины на сжатие и растяжение при изгибе ToniPRAX (Германия). Образцы были испытаны в возрасте 29 суток. По результатам испытаний образцам золобетона присвоены класс или марка по следующим параметрам: плотность (марка D), прочность на изгиб (класс V_{tb}) и на сжатие (класс B, марка M).

Исследование подтвердило, что замена золой до 10% цемента по массе в составе цементно-песчаной смеси позволит производить золобетон по параметрам не ниже стандартного легкого бетона, маркированного как D1300 (плотность не ниже $1,3 \text{ г/см}^3$) $V_{tb}2$ (прочность на изгиб не менее 2 МПа) M200/B15 (прочность на сжатие не менее 15 МПа) [4].

Итогом инновационной разработки являются авторские рекомендации по составу сырьевой смеси для производства золобетона с использованием золы сжигания ОСВ, а также по способу производства товарной продукции.

Продукция на основе термически обработанных отходов и ее использование. Для производства бетонных блоков методом вибропрессования предлагается использование готового комплекса российского производства. Линия производства может быть размещена непосредственно на территории предприятия-филиала ОАО «РЖД» – образователя термически обработанных отходов. При этом получаемая продукция на основе золы может быть использована непосредственно для нужд ближайших объектов железнодорожной инфраструктуры. Возможно дооснащение вибропрессующего комплекса инсинератором (малогабаритной установкой для сжигания отходов), что позволит разместить линию производства на объектах, где образуются отходы, доступные для термического обезвреживания – ж/д станции, оснащенные локальными очистными сооружениями. Также возможно мобильное исполнение комплекса и/или инсинераторной установки, что отвечает особенностям инфраструктуры ОАО «РЖД».

Стройматериал на основе золы может быть использован для получения различных бетонных изделий, в том числе:

– строительных блоков для производственных и энергетических зданий,

– элементов благоустройства, например, тротуарной плитки и бордюрных блоков;

– элементов ж/д инфраструктуры: панели ограждения, столбы километровые, столбики пикетные, розетки для пикетных столбов и т. д.

Сырьевая смесь для производства легкого золобетона, равно как и продукция на ее основе могут быть успешно реализованы организациям-застройщикам, дорожным строителям, компаниям, занимающимся благоустройством промышленных и городских территорий, а также иным организациям, заинтересованным в бетонной продукции – например, предприятиям-филиалам ОАО «РЖД». Также возможна реализация продукции непосредственно на территории объектов ОАО «РЖД» – образателей отхода, что позволит не только значительно снизить логистические затраты, но и обеспечить предприятия-филиалы необходимой строительной продукцией.

Оценка эколого-экономической эффективности разработки показала, что использование технологии инсинерации для утилизации отходов объектов ж/д инфраструктуры ОАО «РЖД» с дальнейшим применением золы для производства строительных материалов решает следующие задачи:

– полезная утилизация отхода;

– предотвращение складирования отхода и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду;

– получение легкого золобетона, перспективного для использования в строительстве, ремонте дорожных покрытий и благоустройстве территорий.

Снижение себестоимости бетонной продукции по сравнению с аналогами достигается за счет следующих факторов:

1) Уменьшение объемов исходного сырья за счет замены части цемента золой;

2) Организация производства на территории объекта-отходообразователя позволяет свести к минимуму логистические издержки;

3) Использование получаемой продукции для нужд объектов ОАО «РЖД» – позволяет компании выйти на самообеспечение строительными материалами и снизить необходимость обращения к сторонним поставщикам;

4) Полезная утилизация отходов – позволяет предотвратить направление отходов на размещение, тем самым избавляя компанию от платы за негативное воздействие на окружающую среду и от транспортных издержек, связанных с вывозом отходов. Все это повышает конкурентоспособность как продукции, так и технологического решения.

По итогам научного исследования получен патент на изобретение [5].

Исследование поддержано грантами Правительства Санкт-Петербурга за 2020 и 2021 гг.

Библиографический список

1. ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия. М.: ФГУП ЦППП, 2004. С. 17–18.

2. ГОСТ 25818-2017 Золо-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2018. С. 3–12.
3. Данилович И. Ю., Сканави Н. А. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов. М. : Высшая школа, 1988. 72 с.
4. ГОСТ 25820-2014 Бетоны легкие. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2019. С. 4–8.
5. Патент на изобретение РФ № 2738072. Сырьевая смесь для производства легкого золобетона / Ю. Д. Смирнов, М. В. Сучкова, И. П. Сверчков, В. А. Матвеева; заяв. 13.05.2020; опубл. 07.12.2020 г. Бюл. № 34.

МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Н. В. Зибарев, Н. А. Политаева, Л. М. Молодкина
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
ij1995@yandex.ru

Работа посвящена переработке жидких отходов пищевой промышленности с помощью микроводорослей. Микроводоросли, культивируемые с добавлением сточных вод, позволяют снизить содержание загрязняющих веществ. Эффективность очистки сточных вод от аммонийного азота равна 90%, от фосфатов 95%. Проанализирован жирнокислотный состав биомассы. Основная насыщенная жирная кислота (НЖК) представлена пальмитиновой кислотой (C16:0), которая пригодна для получения биодизеля. Основными ненасыщенными жирными кислотами (ННЖК), присутствующими в образце, были олеиновая кислота (C18:1 n9); Линолевая кислота (C18:2 n6) и альфа-линоленовая кислота (C18:3 n3), входящие в состав омега-9, омега-6, омега-3 соответственно. Полученную в результате очистки сточных вод биомассу микроводорослей предложено использовать для производства биотоплива.

Ключевые слова: утилизация пищевых отходов, микроводоросли, очистка сточных вод, биодизель.

Использование микроводорослей в качестве метода очистки сточных вод и производства ценных продуктов привлекало значительное внимание многих исследователей [1–4]. Процесс культивирования микроводорослей в сточных водах может служить источником биомассы для производства биотоплива, для добавок в корм, фармацевтической продукции.

Микроводоросли могут расти в самых разнообразных сточных водах, таких как городские, промышленные и сельскохозяйственные [5]. Было показано, что *Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus dimorphus* удаляют около 95% аммония и 55% фосфора из вторичных стоков агропромышленных сточных вод молочных ферм и свиноводства [6]. Аналогично, виды *Chlamydomonas* удаляют 100% NH_4^+ и NO_3^- и 33% PO_4^{3-} при выращивании в неочищенных про-

мышленных сточных водах, содержащих 38,4 мг/л NH_4^+ , 3,1 мг/л NO_3^- и 44,7 мг/л PO_4^{3-} [7]. Сточные воды молочного производства содержат необходимые питательные вещества для роста микроводорослей, такие как азот, фосфор, микроэлементы и углерод. Таким образом, идея использовать микроводоросли для очистки сточных вод, может позволить решить сразу несколько задач – это и очищение стоков, и накопление биомассы микроводорослей для получения новой продукции.

Цель настоящей работы – изучить возможность использования микроводорослей *C. vulgaris* для биологической доочистки сточных вод молочного завода, а также анализ жирнокислотного состава полученных липидов из биомассы для их возможного использования в производстве биодизельного топлива.

Первым объектом исследования был термофильный штамм одноклеточной зелёной водоросли *C. vulgaris* Beijer.

Вторым объектом исследования являлись сточные воды ООО «Вимм-Билль-Данн». Состав сточных вод приведён в таблице.

Таблица

Состав сточных вод ООО «Вимм-Билль-Данн»

рН, ПДК* 6-9	ХПК ПДК < 500	N _{общ} ПДК < 120	NH_4^+ , ПДК -	NO_2^- , ПДК -	NO_3^- , ПДК -	P _{общ} ПДК < 12	PO_4^{3-} , ПДК -	БПК 5, ПДК < 300
ед	мгл	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
9,94	5650	47	5	0,146	6	20	9,2	2060

Примечание: * Постановление от 29 июля 2013 года N 644 «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (с изменениями на 30 ноября 2021 года).

Контроль сточных вод до и после доочистки проводили по нескольким показателям: фосфат ионы (PO_4^3), ионы аммония (NH_4^+). Содержание ионов аммония определяли с помощью реактива Несслера, определение концентрации фосфат ионов проводили при 750 нм с использованием раствора молибдата аммония с помощью фотоэлектрического фотометра КФК – 3.

Микроводоросли *C. vulgaris*, в течение 3-х суток выращивали на питательной среде Хогланда [8], до достижения концентрации клеток 11 млн кл/мл при освещении лампой дневного света (2600 люкс) и температуре 30 ± 1 °С. Аэрацию суспензии осуществляли аэратором Xilong AP-003, с интенсивностью аэрации – 2,5 л/мин. Затем микроводоросли смешивали со стоками молочного завода «Вимм-Билль-Данн», прошедшими стадию флотации в следующем процентном соотношении: СВ:МВ 30:70, где СВ – сточная вода, МВ – смесь микроводорослей с питательной средой. Объём каждой смеси составлял 5 л. Подготовленные образцы культивировали в течение 8 суток при тех же условиях, описанных выше. Сбор биомассы микроводорослей производили центрифугированием. Сухой порошок из биомассы получали путём лиофильной сушки на лиофилизаторе АК5-50N (Proflab). Затем, каждый образец сухой биомассы (3 г) сначала дезинтегрировали ультразвуком.

на гомогенизаторе-измельчителе Silent Crusher M при 10000 об/мин в течение 5 минут. После этого образцы подвергали экстракции по методу Сокслета с применением системы растворителей гексан:этанол в соотношении 9:1, время экстракции 130 мин (15 циклов). Этап промывки проходил в течение 30 мин. при 100 °С, при этом образец отделяли от растворителя. На третьем этапе проходил процесс сушки при температуре 150 °С. Содержание жирных кислот определяли методом газожидкостной хроматографии. Анализ проводили на газовом хроматографе «Хроматэк – Кристалл – 5000».

Удаление аммония микроводорослями основано на ассимиляции этого элемента, тогда как очистка воды от фосфатов происходит как за счет ассимиляции, так и за счет другого процесса – опосредованного химического удаления фосфатов.

На рисунке наблюдается снижение концентрации фосфат-ионов и ионов аммония. Эффективность очистки от фосфатов составила 95%, от аммонийного азота 90%.

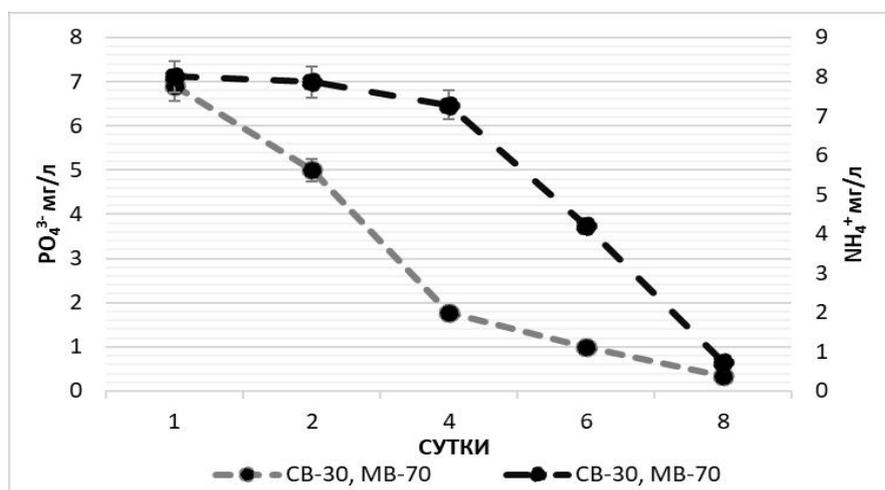


Рис. Содержание аммония и фосфат ионов

Результаты содержания липидов из сухой биомассы водорослей показали, что *C. vulgaris* содержит 12,6 % липидов. Жирнокислотный анализ показал, что основная насыщенная жирная кислота представлена пальмитиновой кислотой (C16:0), которая пригодна для получения биодизеля. Основными ненасыщенными жирными кислотами были олеиновая кислота (C18:1 n9); линолевая кислота (C18:2 n6) и альфа-линоленовая кислота (C18:3 n3), входящие в состав омега-9, омега-6, омега-3 соответственно. В пересчете на НЖК, которые необходимы для получения биодизеля, количество НЖК у *C. vulgaris* составило 23,5%. Содержание мононенасыщенных жирных кислот равнялось 10,3%. Полиненасыщенные жирные кислоты не подходят для производства биодизельного топлива, но входят в состав Омега –3. Содержание ПНЖК в *C. vulgaris* – 66,1%.

Содержание липидов и их качество необходимо учитывать при культивировании микроводорослей для производства биотоплива. Важно принимать во внимание содержание определенных категорий жирных кислот для обес-

печения качества биодизельного топлива. Высокая концентрация насыщенных жирных кислот придает хорошую стойкость биотопливу к окислению и более высокое цетановое число [9].

C. vulgaris демонстрирует высокую степень очистки сточных вод от фосфатов и аммонийного азота. Однако, для использования данного вида сырья для получения биодизеля необходимо дополнительное изучение свойств биодизельного топлива, таких как высшая теплотворная способность, цетановое число, плотность, кинематическая вязкость, йодное число.

Библиографический список

1. Ruiz-Marin A., Mendoza-Espinosa L. G., Stephenson T. Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater // *Bioresource technology*. 2010. Vol. 101. No. 1. P. 58–64. doi: 10.1016/j.biortech.2009.02.076
2. Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production / I. Rawat, R. Ranjith Kumar, T. Mutanda, F. Bux // *Applied energy*. 2011. Vol. 88. No. 10. P. 3411–3424. doi: 10.1016/j.apenergy.2010.11.025
3. Lohrey C., Kochergin V. Biodiesel production from microalgae: co-location with sugar mills // *Bioresource technology*. 2012. Vol. 108. P. 76–82. doi: 10.1016/j.biortech.2011.12.035
4. Биокатализаторы на основе штаммов микроорганизмов и ферментов, обладающих повышенной способностью к разложению отравляющих веществ и продуктов их деградации, в процессе очистки почв и вод / Н. В. Завьялова, И. В. Филимонов, Е. Н. Ефременко, В. И. Холстов, А. А. Янковская // *Теоретическая и прикладная экология*. 2014. № 4. С. 42–50. doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-041-049
5. Algal biodiesel: the next generation biofuel for India / A. K. Bajhaiya, S. K. Mandotra, M. R. Suseela, K. Toppo, S. Ranade // *South Asian Journal of Experimental Biology*. 2010. Vol. 1. No. 4. P. 728–739.
6. González L. E., Cañizares R. O., Baena S. Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a Colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus* // *Bioresource technology*. 1997. Vol. 60. No. 3. P. 259–262. doi: 10.1016/S0960-8524(97)00029-1
7. The feasibility of biodiesel production by microalgae using industrial wastewater / L. F. Wu, P. C. Chen, A. P. Huang, C. M. Lee // *Bioresource Technology*. 2012. Vol. 113. P. 14–18. doi: 10.1016/j.biortech.2011.12.128
8. Культивирование и использование микроводорослей *Chlorella* и высших водных растений ряски *Lemna* / Н. А. Политаева, Ю. А. Смятская, Т. А. Кузнецова, Л. Н. Ольшанская, Р. Ш. Валиев. СПб. : Санкт-Петербургская издательско-книготорговая фирма «Наука», 2017. 87 с.
9. Fatty acid profile of microalgal oils as a criterion for selection of the best feedstock for biodiesel production / M. Hawrot-Paw, P. Ratomski, A. Koniuszy, W. Golimowski, M. Teleszko, A. Grygier // *Energies*. 2021. Vol. 14. No. 21. P. 14–18. doi: 10.3390/en14217334

РАЗРАБОТКА ОСНОВ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПИГМЕНТОВ ИЗ РЕГЕНЕРАТОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

*В. М. Мисин¹, В. А. Волков¹, М. В. Воронков¹, Е. М. Антипов²,
М. Ю. Квасников², К. И. Маслаков³*

*¹ Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля
Российской академии наук, vl.volkov@mail.ru*

² Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,

³ МГУ им. М. В. Ломоносова

Обоснована целесообразность применения волокнистых хемосорбентов для улавливания ионов тяжелых металлов из городских поверхностных стоков селитебных территорий мегаполисов. Спроектированы и изготовлены небольшие экспериментальные образцы фильтров различных конструкций. Фильтры испытаны на функционирующем очистном сооружении. Показана целесообразность и возможность утилизации регенерата в качестве неорганических пигментов для лакокрасочной промышленности.

Ключевые слова: поверхностные стоки, тяжелые металлы, волокнистые хемосорбенты, утилизация, пигменты.

В мегаполисах и средних по величине городах, в которых была или существует достаточно развитая промышленность, а также имеется развитая транспортная сеть, существенную долю загрязнителей составляют тяжелые металлы (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb и др.), которые из антропогенных источников попадают в литосферу. С дождем эти металлы попадают вначале в поверхностные стоки с селитебных и промышленных территорий городов, а затем в замкнутые и проточные водоемы, в том числе после прохождения очистных сооружений [1–8]. Концентрация тяжелых металлов в поверхностных стоках может быть невысокой. Однако, из-за большого объема поверхностных стоков, например, в водоемах столицы России г. Москве ежегодно появляется почти 1000 т тяжелых металлов [2]. При этом, отсутствуют какие-либо целенаправленные технологии очистки поверхностных стоков от тяжелых металлов [9]. Поскольку тяжелые металлы присутствуют в большом объеме поверхностных стоков, но в очень низких концентрациях, то нецелесообразно применение технических решений, которые традиционно используются для очистки промышленных стоков от тяжелых металлов (например, химический или электрохимический методы).

Отсюда возникла актуальная экологическая задача: разработать основы технологии, которая позволит понижать концентрацию ионов тяжелых металлов в поверхностных стоках посредством улавливания этих ионов на уже имеющихся промышленных очистных сооружениях с помощью дополнительных устройств. Одновременно возникает и другая проблема: что делать с

отработанными материалами (веществами), образующимися после процесса очистки стоков?

Аналитические методы. Содержание тяжелых металлов в пробах модельных растворов и реальных растворов из очистного сооружения определяли с помощью атомно-абсорбционного спектрометра с пламенным атомизатором Analyst 400 Perkin-Elmer (USA). Рентгеновские фотоэлектронные спектры получали на спектрометре AxisUltra DLD (Kratos) с использованием монокроматического AlK_{α} излучения при мощности рентгеновской пушки 150 Вт. Обзорные спектры и спектры высокого разрешения регистрировали при энергии пропускания 160 и 40 эВ соответственно. Обзорный спектр записывали с шагом 1 эВ, спектры высокого разрешения – с шагом 0,1 эВ. Размер анализируемой области составлял около 300×700 мкм². Образцы закрепляли на держателе с помощью двухсторонней адгезионной ленты и исследовали при комнатной температуре при остаточном давлении в камере спектрометра, не превышающем 10^{-8} Торр.

Сорбенты. В качестве сорбентов исследовали волокнистые сорбенты марок ВИОН КН-1 (слабокислотный в Na-форме) и АН-3 (полиамфолит).

Выбор очистного сооружения. Очистное сооружение «Покровские холмы» было выбрано в качестве очистного сооружения, на котором планировали проводить эксперименты в реальных условиях. Оно предназначено для локальной последовательной очистки части городского поверхностного стока от плавающего мусора, взвешенных веществ и нефтепродуктов. Происходит последовательная очистка стоков вначале от взвеси на тканых фильтрах, а затем и от других загрязнений на фильтрах (диаметр 2,5 м) с активным углем. Технические возможности очистного сооружения «Покровские холмы» позволяли смонтировать небольшие фильтры дополнительной очистки воды от тяжелых металлов после основных фильтров.

Изготовление и испытание экспериментальных фильтров на очистном сооружении

С учетом инженерных возможностей очистного сооружения «Покровские холмы» были спроектированы [10] и изготовлены экспериментальные образцы фильтров. В отличие от фильтра с активированным углем, они имели небольшие размеры: высота и диаметр наружного корпуса соответственно 100 и 30 см. Между собой фильтры отличались устройством внутренней части и способом набивки хемосорбента КН-1 в Na-форме. Фильтры были смонтированы на том участке очистного сооружения, куда попадали сточные воды, предварительно прошедшие последовательную очистку от мусора, взвеси и нефтепродуктов. Устройство очистного сооружения позволяло смонтировать лишь небольшие экспериментальные образцы фильтров, как для параллельной, так и для последовательной работы. Образцы пробы воды отбирали до и после смонтированных экспериментальных образцов фильтров (табл. 1).

**Результаты определения эффективности работы 11 марта 2015 г.
фильтра дополнительной очистки стоков очистного сооружения
«Покровские холмы»**

№ п/п	Металл	Концентрация металла в воде, мг/л		Эффективность, N
		До фильтров с хемосорбентом [Me] _{исх.}	После фильтров с хемосорбентом [Me] _{конеч.}	
1	Fe	0,65±0,2	0,22±0,07	2,95
2	Cu	0,01±0,003	0,007±0,002	1,4
3	Zn	0,05±0,015	0,01±0,004	5,0
4	Pb	0,04±0,01	0,02±0,005	2,0

Рабочая толщина сорбента фильтра (рис.) составляла 92 см.

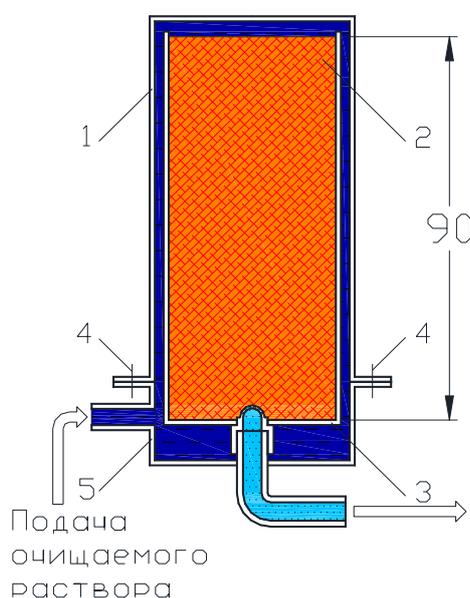


Рис. Схема фильтра для дополнительного узла очистки стоков;

1 – съемная крышка дополнительного узла очистки стоков, прикрепляемая к основанию фильтра; 2 – цилиндрически намотанное полотно волокнистого хемосорбента КН-1; 3 – сменный картридж, содержащий хемосорбент КН-1; 4 – болты крепления съемной крышки фильтра; 5 – цилиндрическое основание фильтра с патрубками ввода и вывода раствора

Необходимо подчеркнуть, что обсуждаемые результаты были получены при следующих ограничениях, не позволяющих в принципе получить более высокую эффективность очистки поверхностных стоков очистного сооружения:

– испытывали лишь один или два полно загруженных фильтра из четырех возможных фильтров узла дополнительной очистки стоков очистного сооружения «Покровские холмы»;

– технические возможности очистного сооружения «Покровские холмы» не позволяли конструировать и испытывать экспериментальные образцы

фильтров, которые могли бы иметь бóльшие габариты (высоту и диаметр), а значит, большую эффективность.

По этой причине, при разработке проектов очистных сооружений, использующих технологию очистки стоков с применением волокнистых хемосорбентов, необходимо предусматривать на них:

- регулярную замену фильтрующих материалов, предварительно улавливающих взвешенные вещества и нефтепродукты;
- постоянный контроль количества этих примесей, чтобы исключить отравление хемосорбентов залповыми сбросами примесей.

Регенерация и утилизация отработанных волокнистых хемосорбентов

Предварительно в лабораторных условиях была продемонстрирована возможность регенерации волокнистых хемосорбентов в соответствии с [4]. В результате из раствора выделяли регенерат – смесь хлоридов исследованных металлов. Упаривание регенерата позволяло значительно уменьшить объем раствора с металлами-загрязнителями, но не решало проблемы их утилизации. С другой стороны, известно, что многие пигменты лакокрасочной промышленности представляют собой нерастворимые в воде неорганические соединения металлов [11, 12]. Поэтому было принято решение о разработке основ технологических подходов для получения пигментов из регенератов. Понятно, что регенераты, получаемые как из различных очистных сооружений, так и в различное время, будут содержать различное соотношение соединений металлов. Поэтому конечный продукт в виде пигментов может иметь изменяющиеся цветовые оттенки даже в случае объединения нескольких партий регенерата. Однако это не будет иметь ограничений для ряда лакокрасочных материалов, например, предназначенных для обработки фундаментов, промышленных трубопроводов и т. п.

Для оценки возможности получения пигмента из регенерата предварительно была приготовлена модельная смесь растворов солей ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ с соотношением металлов, как в поверхностных стоках. Действием раствора NaHCO_3 эту смесь растворов переводили в смеси соответствующих нерастворимых соединений, которые выпадали в осадок.

Осадок отфильтровывали и высушивали при температуре 140 °С. Далее эту нерастворимую смесь пиролизовали при температуре 500 °С в течение 5 часов. Внешний вид образца пиролизата – нефракционированный порошок темно-бордовой группы цвета, представляющий из себя смесь частиц различных цветов: красно-коричневый, малиновый, чёрный, спекуляритовый, прозрачный кварцевый. Насыпная плотность составляла 1360 г/л. Размеры частиц в образце изменялись в широком интервале: коллоидные частицы, фракции 50–100 мкм и комки от 1 до 7 мм.

Анализ состава пиролизата был проведен с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (табл. 2).

**Концентрации элементов на поверхности исследованного образца,
рассчитанные по спектрам отдельных линий, записанных
при энергии пропускания 40 эВ (ат. %)**

Образец	Na	Fe	O	N	C	S
ОТМ-1	2,0	31,5	51,6	0,5	10,6	3,8

Наличие в пиролизате крупных, очень твердых частиц, которые не размалываются при диспергировании, является существенным ограничением для практического применения исходного регенерата для лакокрасочных материалов. Однако было обнаружено, что диспергируемость в акриловом MS лаке после отделения миллиметровой фракции составляла 50 мкм/6 часов. Исследованный лабораторный образец имел низкую укрывистость (кроющую способность) и повышенную кислотность. Поэтому регенерат без дополнительной обработки можно использовать только в бетонах, цементах или силикатных лакокрасочных материалах в качестве пигмента-наполнителя для тротуарной плитки и для строительных лакокрасочных материалов. Дальнейшая работа должна проводиться в направлении улучшения свойств (гомогенизация, понижение кислотности и др.) регенерата, позволяющих использовать его в разнообразных видах лакокрасочных материалов.

Таким образом, авторами показана принципиальная возможность эффективной утилизации регенерата волокнистых хемосорбентов в качестве лакокрасочных материалов, не приводящей к повторному загрязнению окружающей среды.

Библиографический список

1. Sörme L., Lagerkvist R. Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm // *Sci. Total Environ.* 2002. Vol. 298. P. 131–145. doi:10.1016/s0048-9697(02)00197-3
2. Status of environmental activities at the enterprises and other facilities of moscow by results of state control of moskomprirody in 1997 (in Russian) / N. K. Otstavnikova, V. A. Kurmakaev, L. A. Grebennikova, T. V. Malakhovskaya, I. A. Shiryaeva // *Ecological Bulletin of Moscow.* 1998. Vol. 1. No. 3. P. 115–131.
3. Stulnikova Yu. V., Volodin N. I., Nevsky A. V. The effects of heavy metals on the ecosystems of the suburban areas (in Russian) // *University news Chemistry and chemical technology.* 2009. No. 52 P. 125–127.
4. Assessment of heavy metal concentrations in surface water sources in an industrial region of central India / M. K. Tiwari, S. Bajpai, U. K. Dewangan, R. K. Tamrakar // *Karbala Int. J. Modern Sci.* 2015. Vol. 1. No. 1. P. 9–14. doi:10.1016/j.kijoms.2015.08.001
5. Abdullah E. J. Evaluation of Surface Water Quality Indices for Heavy Metals of Diyala River-Iraq // *J. Nat. Sci. Res.* 2013. Vol. 3. No. 8. P. 63–70.
6. Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Cu, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants / C. Wang, X. Hu, M. L. Chen, Y. H. Wu // *Journal of Hazardous Materials.* 2005. Vol. 119. P. 245–249. doi:10.1016/j.jhazmat.2004.11.023
7. Рябова Э. Г. Содержание тяжёлых металлов в городских водоёмах // *Теоретическая и прикладная экология.* 2019. № 1. С. 36–40. doi: 10.25750/1995-4301-2019-1-036-040
8. Мажайский Ю. А., Гусева Т. М. Мониторинг тяжёлых металлов в экосистеме малой реки Окского бассейна // *Теоретическая и прикладная экология.* 2017. № 2. С. 54–59. doi: 10.25750/1995-4301-2017-2-054-059

9. Granular Sorbents for Passive Environment Protection System during Severe Accidents with Total Loss of Power Supply at NPPs / A. A. Bessonov, S. A. Kulyukhin, N. A. Konovalova, L. V. Mizina, I. A. Rumer // JPEE. 2015. Vol. 3. No. 4. P. 29–34. doi:10.4236/jpee.2015.34005
10. Misin V. M., Mayorov E. V., Fatkullina L. D. Rus. Patent for useful model No. 101442.
11. Technology of Paints and Coatings with Formulations / Written by: EIRI Board of Consultants & Engineers. New Delhi, India. 2015. P. 431.
12. Pigments, Inorganic. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry / H. G. Völz, J. Kischkewitz, P. Woditsch, A. Westerhaus, W.-D. Griebler, M. De Liedekerke, H. Gaedcke. Weinheim : Wiley-VCH, 2006. P. 143. doi: 10.1002/14356007.a20_243.pub

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО И РЕКУЛЬТИВАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Е. А. Борисова, А. Ф. Джейранова

*Удмуртский государственный университет,
e_borisova75@mail.ru, dzheiran2001@mail.ru*

Рекультивация – завершающий этап жизненного цикла полигонов твердых коммунальных отходов, требует изымания большого количества природного грунта для изготовления рекультивационных смесей. В статье рассмотрен метод получения рекультивационного и изоляционного материала при обработке и накоплении отсева грохочения твердых коммунальных отходов.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, полигон твердых коммунальных отходов, рекультивационный материал, изоляционный материал, отсев грохочения твердых коммунальных отходов.

Для обезвреживания и возврата в нормативное состояние перегруженных территорий, позволяющее впоследствии использовать их повторно без ущерба для окружающей среды, предназначена рекультивация полигонов и карьеров. Методы рекультивации, как завершающего этапа жизненного цикла полигона по окончании его эксплуатации и при достижении им устойчивого состояния, можно условно разделить на три группы: извлечение, удаление и захоронение; уничтожение на месте; фиксация загрязнителей.

Выбор метода рекультивации зависит от типа почв и основных направлений повторного использования территорий – сельскохозяйственное, строительное, рекреационное. Как правило, для рекультивации полигонов применяются методы фиксации загрязнителей на месте.

В новом законопроекте «О внесении изменений в Федеральный закон и ФЗ-89» твердые коммунальные отходы (ТКО) – это бытовые отходы из жилищ, мусор и смёт, собранные при уборке территорий; мусор от офисных и бытовых помещений, отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и другие. ТКО – это смесь сложного морфологического состава, включающая в себя следующие компо-

ненты: 1) биологические отходы – кости, пищевые и растительные отходы (помои, отбросы); 2) синтетические отходы – отходы целлюлозной переработки: бумага, упаковочные материалы, древесина; 3) нефтепродукты – пластмассы, текстиль, кожа, резина; 4) различные металлы (цветные и чёрные), стекло, смёт. Морфологический состав, который необходимо учитывать, прежде всего, при выборе технологии утилизации отходов, изменчив в зависимости от региональных факторов [1].

Рекультивация полигонов ТКО методом фиксации загрязнителей на месте выполняется в два этапа: технический и биологический. Технический этап заключается в разработке технологических и строительных мероприятий, решений и конструкций по устройству защитных экранов основания и поверхности полигона, сбору и утилизации биогаза, фильтрата и поверхностных сточных вод [2].

Из нормативно-технической литературы и научных разработок зарубежных и российских ученых известно, что в составах рекультивационных материалов для полигонов ТКО используются: 1) в зимний период – строительные отходы, отходы производства – отходы извести, мела, соды, гипса, графита и т.д.; 2) отсортированный свалочный грунт; 3) промышленные отходы (ПО) IV класса опасности, которые должны удовлетворять следующим требованиям: биологическое потребление кислорода (БПК₂₀) и химическое потребление кислорода (ХПК) – не выше 300 мг/л; должны иметь однородную структуру с размером фракций менее 250 мм [3].

Требования к промышленным отходам, допускаемым для совместного складирования с ТКО: иметь влажность не более 85%, не быть взрывоопасными, самовоспламеняющимися, самовозгорающимися. Заключение о возможности приема и совместного складирования ПО и ТКО выдается центром санитарно-эпидемиологического надзора (ЦСЭН) на основе анализов лаборатории диагностики полигона, либо анализов ЦСЭН, проводимых по договорам с предприятиями – поставщиками отходов. Промышленные отходы IV класса опасности, принимаемые без ограничений в количественном отношении и используемые в качестве изолирующего материала, характеризуются: содержанием в водной вытяжке (1 л воды на 1 кг отходов) токсичных веществ на уровне фильтрата из твердых бытовых отходов, по интегральным показателям – БПК₂₀ и ХПК – не выше 300 мг/л; однородной структурой с размером фракций менее 250 мм.

Промышленные отходы IV и III класса опасности, принимаемые в ограниченном количестве (не более 30% от массы ТКО) и складированные совместно с бытовыми, характеризуются содержанием в водной вытяжке токсичных веществ на уровне фильтрата из ТКО со значениями БПК₂₀ и ХПК 3400 и 5000 мг О₂/л соответственно.

Материал для рекультивации (в соответствии с инструкцией по проектированию полигонов ТКО) должен быть: инертным по отношению к ТКО; собирать и отводить просачивающиеся поверхностные воды, атмосферные осадки и биогаз; надежно изолировать ТКО от контакта с насекомыми, пре-

пятствовать доступу птиц и грызунов к отходам; хорошо уплотняться, а также обладать бактерицидными свойствами и быть доступным, как в экономическом, так и в техническом плане [4].

07.06.2021 г. на территории мусоросортировочного комплекса ООО «МСК», расположенного по адресу: Удмуртская Республика, Завьяловский район, МО «Среднепостольское», 31 км Нылгинского тракта был заложен эксперимент с целью получения рекультивационного и изоляционного материала при обработке, накоплении отсева грохочения твердых коммунальных отходов. Продолжительность эксперимента – 21 сутки. Было заложено 6 буртов, которые закладывались в железобетонные отсеки следующих размеров: ширина – 6,5 м; длина – 8,5 м; высота – 2 м.

Схема эксперимента:

1 бурт – отсев грохочения ТКО без добавления ускорителей созревания с использованием укрывного материала (полиэтиленовой пленки) – Контроль (1 повторение);

2 бурт – отсев грохочения ТКО без добавления ускорителей созревания с использованием укрывного материала (полиэтиленовой пленки) – Контроль (2 повторение);

3 бурт – отсев грохочения ТКО с использованием укрывного материала (полиэтиленовой пленки) и биопрепарата «РосПочва» объемом 12000 м³ (1 повторение);

4 бурт – отсев грохочения ТКО с использованием укрывного материала (полиэтиленовой пленки) и биопрепарата «РосПочва» объемом 12000 м³ (2 повторение);

5 бурт – отсев грохочения ТКО смешанный с грунтом в соотношении 1:1 с использованием укрывного материала (полиэтиленовой пленки) и биопрепарата «РосПочва» объемом 12000 м³;

6 бурт – отсев грохочения ТКО смешанный с грунтом в соотношении 1:1 с использованием укрывного материала (полиэтиленовой пленки).

Во всех буртах в течение всего эксперимента проводили замеры кислотности (рН), температуры и влажности (%) субстрата. Температуру субстратов измеряли почвенным термометром на глубине 35–40 см в пределах каждого опытного бурта в 3-х точках в дневное время (с 10 до 12 ч). Влажность измеряли с использованием влагомера МС-7828 SOIL на глубине 15–20 см также в течение всего эксперимента, в пределах каждого опытного бурта в 3-х точках в дневное время (с 10 до 12 ч). Кислотность определяли в лабораторных условиях с использованием рН-метра Hanna Instruments HI 2002-02 Edge, в трехкратной повторности. Измерения проводили ежедневно. Каждые семь дней проводили ворошение (аэрацию).

В ходе проведения эксперимента Региональным центром государственного экологического контроля и мониторинга по Удмуртской Республике АУ «Управление Минприроды УР» был трижды проведен анализ морфологического состава отсева грохочения ТКО на определение основных составляющих и их доли.

Наибольший интерес представляет динамика изменения разлагаемой части отсева грохочения ТКО. В течение проведения эксперимента, отсев грохочения подвергается аэробной биодеструкции – разложению органической части отходов микроорганизмами в условиях доступности кислорода. Аэробные процессы разложения обычно характеризуются большим количеством выделяемого тепла, углекислого газа и воды [5].

Для наглядности отображения динамики изменения биоразлагаемых отходов представлен график (рис.):

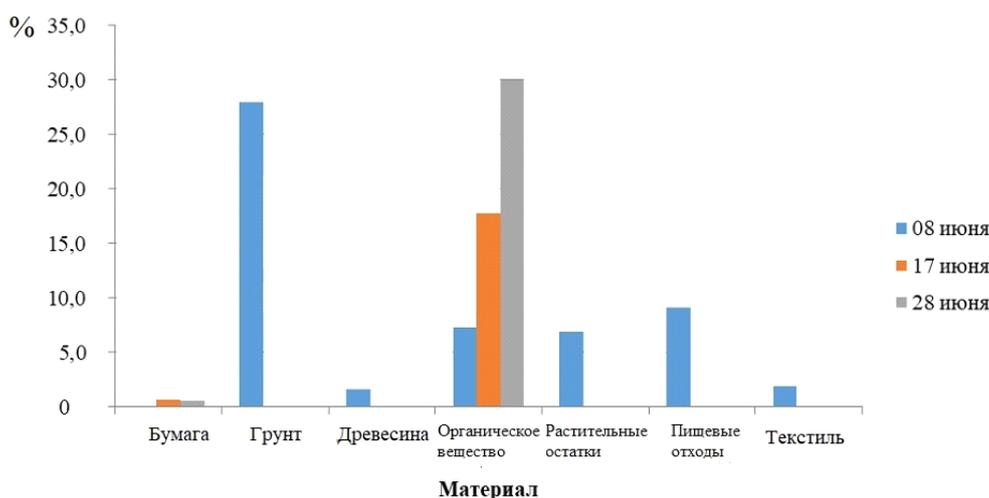


Рис. Динамика изменения биоразлагаемых отходов

Проведенные исследования показали, что полученный материал на основе отсева грохочения ТКО, может быть использован в качестве изоляционного материала для пересыпки ТКО. Эту возможность подтверждают заключения, выданные лабораторией Регионального центра государственного экологического контроля и мониторинга по Удмуртской Республике АУ «Управление Минприроды УР», по отнесению полученного материала к материалам четвертого класса опасности. Кроме того, полученный материал соответствует требованиям, предъявляемым к материалам для рекультивации полигонов ТКО и карьеров, в соответствии с инструкцией «Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов».

Согласно данной инструкции, отходы, используемые при рекультивации карьеров, должны иметь класс опасности (III–IV), при этом количество пищевых отходов должно составлять не более 15%. Промышленные отходы IV класса опасности, принимаемые без ограничений в количественном отношении и используемые в качестве изолирующего материала, характеризуются: содержанием в водной вытяжке (1 л воды на 1 кг отходов) токсичных веществ на уровне фильтрата из твердых бытовых отходов, по интегральным показателям –БПК₅ и ХПК – не выше 300 мг/л; однородной структурой с размером фракций менее 250 мм. Промышленные отходы IV и III класса опасности, принимаемые в ограниченном количестве (не более 30% от массы ТКО) и складированные совместно с бытовыми, характеризуются содержанием в

водной вытяжке токсичных веществ на уровне фильтрата из ТКО со значениями БПК₅ и ХПК – 3400 и 5000 мг О₂/л соответственно.

Исходя из результатов, патогенные микроорганизмы (энтерококки, патогенные энтеробактерии родов *Salmonella*, *Shigella*, яйца и личинки гельминтов, цисты патогенных кишечных простейших) отсутствуют в отсеве грохочения в течение всего эксперимента. Индекс бактерий группы кишечной палочки (БГКП) также не превышает нормативные показатели.

Необходимо дополнительно провести фракционный анализ отсева грохочения.

Так как отходы органического происхождения (текстиль, бумага, древесина, грунт, растительные и пищевые отходы) полностью исчезают во всех буртах, можно сделать вывод, что наиболее дешевым способом является обычное складирование, а наиболее эффективным – отсев грохочения ТКО смешанный с грунтом в соотношении 1:1 с использованием укрывного материала (полиэтиленовой пленки) и биопрепарата «РосПочва» объемом 12000 м³.

При использовании отсева грохочения ТКО смешанного с грунтом в соотношении 1:1 с использованием укрывного материала (полиэтиленовой пленки) и биопрепарата «РосПочва» объемом 12000 м³ образуется 35% органического вещества, который при дополнительном отсеве можно использовать в качестве грунта или компоста.

Установлена достоверная тенденция снижения показателей БПК₅ и ХПК в водной вытяжке рекультивационного материала (1 л воды на 1 кг материала) при использовании для его получения следующих приемов: внесение препарата РосПочва и смешивания с грунтом (при использовании укрывного материала).

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что отсев грохочения ТКО может использоваться в качестве изоляционного и рекультивационного материала после внесения биопрепарата и смешивания с грунтом (с применением укрывного материала), при условии приготовления в течение не менее 1 месяца.

Библиографический список

1. Демьянова В. С., Егоров О. В. Преимущества отдельного сбора и сортировки твердых бытовых отходов // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 3. С. 76–79.
2. Пугин К. Г. Негативное воздействие шлаковых отвалов черной металлургии на объекты окружающей среды на примере города Чусового // Экология урбанизированных территорий. 2011. № 2. С. 86–90.
3. Пугин К. Г., Куропова Н. Е. Снижение экологической нагрузки на водные объекты при размещении неутраченных отходов предприятий черной металлургии // Вода и экология: проблемы и решения. 2008. № 4(37). С. 57–63.
4. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов, утверждена Минстроем России 02.11.96, согласована с Госкомсанэпиднадзором России 10.06.96 №01-8/1711.
5. Вайсман Я. И., Вайсман О. Я., Максимова С. В. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов. Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2003. 228 с.

ОЦЕНКА ВЫХОДА И СОСТАВА ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ИЗ ИСКОПАЕМОГО УГЛЯ

*Зо Е Наинг, А. В. Нистратов, В. Н. Клушин
Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева, zawye7@mail.ru*

Изучение рациональных направлений использования ископаемых углей является актуальной задачей для экономики Республики Союз Мьянма. Определенные перспективы применительно к каменноугольному сырью месторождения Калейва обещает его переработка в углеродные адсорбенты путем пиролиза и химической активации карбонизированного продукта этой операции с гидроксидом калия. Реализация данной технологии сопряжена с вопросами обращения с побочными продуктами обоих термических переделов, ряд характеристик которых представлен в настоящем сообщении.

Ключевые слова: ископаемый уголь, пиролиз, химическая активация, побочные продукты.

Ранее проведенными исследованиями [1–3] установлены рациональные условия переработки ископаемого угля месторождения Калейва на активные угли путем пиролиза этого сырья и химической активации его целевого продукта. Обе операции, реализуемые в таких условиях, сопряжены с образованием побочных продуктов термического воздействия на соответствующие материалы в виде конденсатов выделяющихся парогазов и неконденсирующихся при комнатной температуре газов. Определение ансамбля характеристик этих продуктов весьма важно для практической реализации разрабатываемой технологии углеродных адсорбентов.

Материальный баланс операции пиролиза сырья в названных условиях отражают данные таблицы 1.

Таблица 1

Материальный баланс пиролиза сырья

Приход, % масс.		Расход, % масс.	
сырье		продукты	
Ископаемый уголь	100	Карбонизированный остаток	59,4
		Конденсат	14,2
		Неконденсирующиеся газы	24,7
Итого:	100	Итого:	98,3

Данные таблицы 1 свидетельствуют, что в конденсат превращается меньшая часть используемого сырья. По внешнему виду он представляет собой темно-коричневую, несколько вязкую по сравнению с водой, имеющую неприятный запах непрозрачную и не расслаивающуюся даже при длительном хранении, жидкость с плотностью около 1,3 г/см³. Имеющиеся литера-

турные данные свидетельствуют о весьма высоком потенциале подобных конденсатов, как источников получения разнообразных продуктов [4, 5].

При нагревании конденсата на песчаной бане имеет место имитирующее кипение в области температур от ~ 50 до ~ 70 °С выделение газов, не образующих при охлаждении до комнатной температуры каких-либо конденсирующихся веществ. В температурном интервале ~ 100 – 110 °С дальнейшая перегонка приводит к образованию (в количестве $\sim 65\%$ от объема взятого конденсата) не имеющего запаха и окрашенного в коричневый цвет мутного водного раствора с плотностью $\sim 1,3$ г/см³ и показателем рН, примерно равным 5. Завершающий процесс нагревания конденсата не перегоняемый остаток, составляющий $\sim 35\%$ его объема, в горячем состоянии является горючей и обладающей высокой адгезией к металлам жидкостью темного цвета плотностью 1,4 г/см³ при 60 °С. Изменение температуры во многом влияет на ее вязкость, а при остывании данная жидкость превращается в упругую массу аналогичного цвета, подобную гудрону.

Более значимый по массе продукт пиролиза представляют неконденсирующиеся газы. Такие газы горючи и данное их свойство позволяет практически полностью компенсировать энергетические затраты на осуществление этого процесса [6–8]. Исследованиями их состава с привлечением газового хроматографа «Цвет-500М» (газ-носитель азот) установлено наличие в них водорода, ацетилена, метана, оксидов азота и углерода, содержание которых изменяется с увеличением температуры во время пиролиза, что иллюстрирует информация, представленная на рисунке 1.

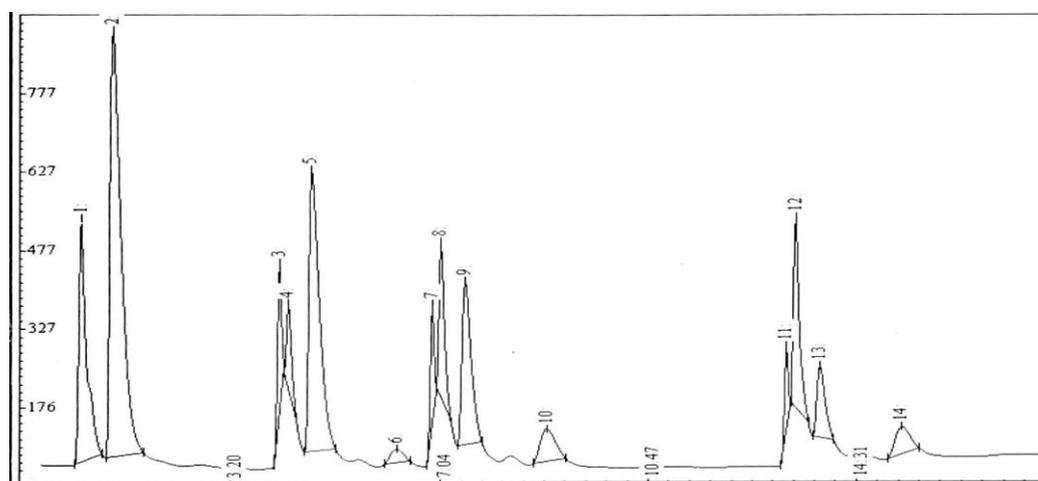


Рис. 1. Хроматограммы неконденсируемых газов пиролиза

Результаты интерпретации хроматограмм (рис. 1) характеризуют данные таблицы 2.

Согласно данным таблицы 2 выделение водорода начинается в области 350 °С и его содержание к 1% по объему, в районе 400 °С появляется метан, его содержание характеризует максимум в области 500 °С (~ 9 % об). Начало выделения ацетилена фиксировано в области 450 °С, при дальнейшем нагревании оно ослабевает.

Таблица 2

Характеристика принадлежности пиков хроматограмм (рис. 1) и трансформации доли компонентов в газах пиролиза в зависимости от температуры процесса

Температура, °С	№ пика	Компонент	Интенсивность пика, мВ	Доля компонента в пробе газа, % об.
350	1	H ₂	462	1
	2	CO	813	41
400	3	H ₂	295	15
	4	NO	179	12
	5	CO ₂	541	31
	6	CH ₄	25	2
450	7	H ₂	240	8
	8	CO	312	17
	9	NO ₂	315	19
	10	C ₂ H ₂	62	5
500	11	H ₂	174	11
	12	NO	379	22
	13	CH ₄	140	9
	14	C ₂ H ₂	51	3

Аналогичные представленным в таблице 1 данные, связанные с процессом химической активации в рациональных условиях сырьевой композиции на базе карбонизированного продукта пиролиза ископаемого угля, охарактеризованы в таблице 3. При ее составлении в части неконденсирующихся газов с целью трансформации их объема в соответствующую массу приняты допущения, использованные в работе [7] при выполнении необходимых расчетов.

Таблица 3

Материальный баланс операции активации

Приход, % масс.		Расход, % масс.	
сырье		продукты	
Уголь	100	Активат	69,3
		Конденсат	13,8
		Неконденсирующиеся газы	16,3
Итого:	100	Итого:	99,4

Как следует из сопоставления данных таблиц 1 и 3, дебаланс в них статей прихода и расхода не превышает 1,7%, что вполне допустимо при названных технических расчетах. При этом неконденсирующиеся газы процесса химической активации, в отличие от газов процесса пиролиза, представлены меньшим по массе компонентом, как среди побочных продуктов обоих процессов, так и в статьях расхода в целом. В расчете на единицу массы сырья такие газы несколько меньше по объему и не являются горючими.

Аналогичные хроматограммы неконденсируемых газов активации химической представлены на рисунке 2.

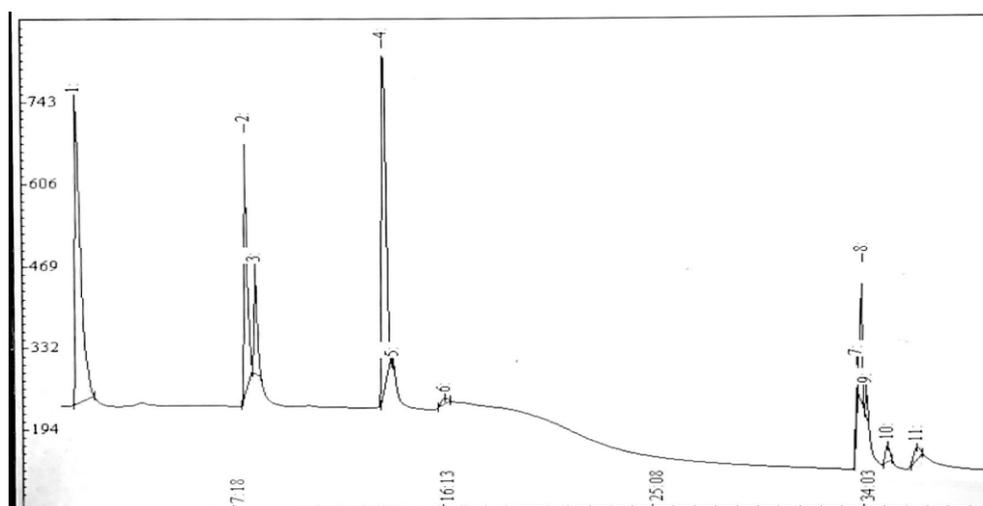


Рис. 2. Хроматограммы неконденсируемых газов активации химической: пик 1(400 °С), пик 2–3 (450 °С), пик 4–6 (500 °С), пик 7–11 (600 °С)

Как следует из рисунка 2, при низкой температуре 400 °С начинается выделение водорода, которое резко возрастает к 500 °С и затем сокращается до 600 °С. Оксид углерода фиксирован в температурной области 450 °С и в области 500 °С появляется метан.

Конденсат операции активации представляет собой прозрачную жидкость с величиной рН 5 и плотностью 1,5 г/см³, не обладающую запахом и не расслаивающуюся даже при длительном хранении. Его перегонка при ~90–110 °С дает неокрашенную и не имеющую запаха жидкость, представляющую собой в основном воду с показателем рН, примерно равным 5, и плотностью 1,04 г/см³. После перегонки на дне колбы заметны единичные пылевидные частицы черного цвета.

Библиографический список

1. Найнг Зо Е, Клушин В. Н. Деструкции ископаемого угля месторождения Калейва при нагревании // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31, № 9 М. : Изд-во РХТУ им. Д. И. Менделеева, С. 37–38.
2. Найнг Зо Е, Клушин В. Н. Оценка перспективности использования ископаемых углей месторождений Калейва и Тейчик в качестве сырья для производства активных углей // Химическая технология функциональных наноматериалов : сб. материалов междунар. конф. М. : Изд-во РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2017. С. 102–104.
3. Naing Z. Y., Nistratov A. V., Klushin V. N. Chemical activation as a prospect for the transformation of fossil coal from the Kalewa deposit into active coals // International Journal of Biology and Chemistry. 2021. Vol. 14, No. 1. P. 172–176.
4. Каменный уголь, сухая перегонка [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.chem21.info/info/29134/> (дата обращения: 17.05.2022).
5. Сухая перегонка каменного угля [Электронный ресурс]. – URL: <https://megaobuchalka.ru/4/31339.html> (дата обращения: 17.05.2022).
6. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. Л. : Химия, 1984. 216 с.
7. Мухин В. М., Клушин В. Н. Производство и применение углеродных адсорбентов. М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. 308 с.

8. Мухин В. М., Королёв Н. В. Активные угли как важный фактор устойчивого развития экономики и качества жизни населения // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 210–217. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-210-217

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ «ЭКОВОЛГА»

Д. Ш. Мухамедшина, Е. Н. Ерофеева
Ульяновский государственный технический университет,
mukhamedshina.dinara@mail.ru

В статье описана существующая в настоящее время технология обезвреживания отходов на предприятии ООО «Эковолга» и предложена альтернативная технология для снижения вредных выбросов. Произведен расчет капитальных затрат на новое оборудование и срок окупаемости.

Ключевые слова: отходы, предприятие, сжигание, обезвреживание.

В процессе промышленной деятельности и жизнедеятельности человека образуется большое количество различных отходов, которые требуют соответствующего метода утилизации. Наиболее распространенными и эффективными методами утилизации твердых бытовых отходов считаются следующие методы:

1. Захоронение. Данный метод один из самых распространенных, так как подходит для утилизации большинства несгораемых веществ, или веществ, в ходе сгорания которых выделяются опасные компоненты. Захоронение происходит на специально отведенных площадках – полигонах. Полигон представляет собой сложную инженерную конструкцию, оснащенную механизмами защиты от загрязнения подземных вод и воздуха. Некоторые полигоны оснащены системами очистки газа, выделяющегося при гниении отходов.

2. Сжигание. Этот метод считается самым простым, известным и технически налаженным. В настоящее время большинство образующихся твердых коммунальных отходов (ТКО), промышленных, медицинских и биологических отходов отправляется на сжигание. Сжигание происходит чаще всего на инсинераторных установках.

3. Компостирование. Данный метод предполагает разложение биологических отходов посредством бактерий. Продуктом при данном процессе является органическое удобрение. Метод не подходит для обезвреживания отходов, при гниении которых могут образовываться паразиты, заражающие почву [1, 2].

Предприятие ООО «Эковолга», которое находится в Ульяновской области в Чердаклинском районе, занимается таким видом деятельности как сбор, транспортирование, обезвреживание, обработка и утилизация опасных отходов. Организация имеет лицензии на обращение с медицинскими, нефтехими-

мическими, лабораторными, опасными производственными отходами и неликвидной продукцией.

На предприятии ООО «Эковолга» применяются следующие способы и условия обезвреживания конкретных видов отходов:

– сжигание отходов (установка высокотемпературного обезвреживания твердых бытовых и промышленных отходов инсинератор серии HURIKAN и ИУ 3000);

– биодеградация нефти и нефтепродуктов микроорганизмами (биопрепарат «Деворойл»).

Данная организация использует следующее оборудование:

1. Инсинераторная установка ИУ 3000 (газ)

Инсинераторная установка ИУ 3000 (газ) предназначена для термического обезвреживания (сжигания) отходов. Инсинератор – установка для термического обезвреживания отходов путем высокотемпературного процесса сгорания, уменьшения массы отходов, изменения физических и химических свойств, в целях снижения негативного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду. Инсинераторная установка ИУ 3000 (газ) состоит из: основной камеры сгорания; камеры дожига; люка для загрузки отходов; горелки (газ, дизельное топливо); электролебедки; крышки камеры дожига; выхлопной трубы.

Образующиеся от обезвреживания отходы с целью захоронения передаются по договору на размещение твердых коммунальных отходов, а также промышленных и иных видов отходов.

2. Установка высокотемпературного обезвреживания твердых бытовых и промышленных отходов инсинератор серии HURIKAN

Инсинератор предназначен для термического обезвреживания (сжигания) отходов. Инсинератор состоит из следующих частей: главная камера сжигания; дверь главной камеры; переходник газа в камеру дожига; вторичная камера дожига; горелки (работающие на дизельном/газовом топливе); колосники; термодатчики (преобразователь электрический); пульт управления режимами горения; секции вытяжных труб из нержавеющей стали; зольные окошки для очистки пепла. Возможна работа инсинератора от генератора.

Технологическая схема работы инсинераторов:

2.1. Загрузка.

2.2. Процесс сжигания. После включения горелки, температура внутри камеры доводится до рабочей и поддерживается в автоматическом режиме до полного сгорания отходов.

2.3. Остывание пепла. После полного сгорания отходов требуется определенное время для остывания образовавшегося пепла.

2.4. Очистка камеры.

3. Биопрепарат «Деворойл»

Действие данного биопрепарата основано на биодеградациии нефти и нефтепродуктов микроорганизмами. Биопрепарат «Деворойл» создан на основе композиции пяти штаммов нефтеокисляющих микроорганизмов. Гото-

вая форма препарата – мелкозернистый порошок, в состав которого входит композиция жизнеспособных клеток микроорганизмов рода *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Candida*, растущих на углеводородах различных классов и некоторых их производных; предназначен для биодegradации сырой нефти и нефтепродуктов при загрязнении ими почвы, природных водоемов, акваторий, стоков промышленных предприятий и внутренних поверхностей резервуаров; применяется в тех случаях, когда другие способы ликвидации нефтяных загрязнений не эффективны или могут нанести еще больший вред окружающей среде. «Деворойл» работает как на поверхности нефтяной пленки, так и непосредственно в толще нефтяного слоя, устойчив к резким колебаниям температуры, при значительном химическом загрязнении среды (широкий диапазон pH). Сухой биопрепарат, его растворы и диаммофос не горючи и взрывобезопасны.

Достоинства используемого оборудования:

- большой объем обезвреженного сырья;
- высокая скорость сжигания от 50 кг/ч;
- широкий спектр отходов, которые можно обезвредить на данном оборудовании.

Самым большим и, возможно, единственным недостатком данного оборудования является отсутствие фильтров очистки воздуха на выходе. Не смотря на то, что для газа, образовавшегося в первичной камере, есть камера дожигания, такие газы как углекислый и сернистый все равно попадают в атмосферу.

Так как данный тип оборудования не предполагает установку фильтров, можно предложить заменить его на более эффективный в плане защиты окружающей среды, который будет снабжен не только фильтрами, но и приборами для замера качества воздуха. Такая система предусмотрена в инсинераторе BURNER 5000, стоимостью 5264000 рублей (Инсинератор HURICAN в 2016 году стоил 3637000 рублей).

Для расчета капитальных затрат на оборудование воспользуемся следующей формулой:

$$K_i = K_{\text{обор}} + K_{\text{трансп}} + K_{\text{складск}} + K_{\text{монтаж}}$$

где $K_{\text{обор}}$ – стоимость нового оборудования; $K_{\text{трансп}}$ – транспортные расходы, которые составляют 3% от стоимости оборудования; $K_{\text{складск}}$ – заготовительные и складские расходы в размере 0,5% от стоимости оборудования; $K_{\text{монтаж}}$ – затраты на монтажные работы в размере 5% от стоимости оборудования.

Рассчитаем затраты на BURNER 5000:

$$K_i = 5264000 + 157920 + 26320 + 263200 = 5711440 \text{ рублей.}$$

Часть этой суммы будет взята из резервного фонда для ремонта старого оборудования, что составит 1 500 000 рублей, часть суммы будет возмещена с продажи оборудования, это 1/4 от ее стоимости 909250 рублей, остальная сумма, учитывая маржинальность, будет возмещена через 3 месяца.

Проведенный анализ несет рекомендательный характер, так как предприятие по нормативным данным не наносит вред окружающей среде. Новое

оборудование позволит не только следить за качеством воздуха на выходе, но и обезвреживать большее количество отходов, а также, возможно, позволит сотрудничать с европейскими компаниями на территории РФ.

Библиографический список

1. Ершов Г. Л. Основы экологического мониторинга. Ростов н/Д: Феникс, 2016. 239 с.
2. Способы ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов / В. П. Капашин, В. Г. Мандыч, В. А. Воронин, А. С. Лякин, И. Н. Исаев, И. В. Коваленко // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 4. С. 49–53. doi: 10.25750/1995-4301-2017-4-049-053

РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ

***А. В. Колесников, М. В. Абакумов, В. А. Бродский,
А. Ю. Чеботов, О. И. Селиваненко***

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

В статье рассматривается получение концентрированных растворов пероксида водорода высокой степени чистоты электрохимическим трёхстадийным методом в лабораторных условиях. Описаны стадии получения концентрированных растворов пероксида водорода: электролиз, гидролиз, ректификация. Приведена технологическая схема стадии электролиза, а также конструкция лабораторного электролизёра фильтр-прессного типа. Проанализированы оптимальные условия проведения стадии электролиза: анодная плотность тока, влияние добавки роданида аммония на выход по току пероксодисерной кислоты, материалы электродов и ионообменных мембран. Кратко рассмотрены стадии гидролиза пероксодисерной кислоты и ректификации.

Ключевые слова: пероксид водорода, пероксодисерная кислота, электролиз, электрохимический метод.

Пероксид водорода является одним из важнейших химических продуктов, который имеет широкое промышленное применение: целлюлозно-бумажная промышленность (до 56%), химическая, фармацевтическая, кожевенная, металлургическая, электронная промышленности [1]. Растворы пероксида водорода находят применение в очистке сточных вод, окислении субстратов [2].

По всему миру функционирует около сотни крупных промышленных производств по получению данного продукта. В промышленном масштабе пероксид водорода получают электрохимическим, антрахинонным и изопропиловым методами. Выбор конкретного метода зависит от его уровня разра-

ионообменной мембраной. В качестве анода применялся платинированный ниобий, в качестве катода – нержавеющая сталь. Площадь электродов составляла 0,225 дм².

Технологическая схема стадии электролиза приведена на рисунке 2. Схема функционирует следующим образом. Катодное и анодное пространства ячеек разделены ионообменной мембраной. В эксперименте была использована анионообменная мембрана МА-41 российского производства компании АО «Щёкиноазот». Выбор этой мембраны обосновывается её доступностью и экономической целесообразностью по сравнению с импортными аналогами. Первоначально ёмкости католита и анолита заполняли раствором серной кислоты (хч) с концентрацией 500 г/л в качестве электролита. Для повышения выхода по току перед проведением электролиза в анолит вводилась добавка роданида аммония (NH₄SCN (хч)) в количестве 1 г/л. Объёмы католита и анолита составляли 1 л. Для поддержания температурного режима католит и анолит независимо циркулировали через холодильники. Температура хладагента в холодильниках поддерживалась на низком значении (около 0 °С) при помощи охлаждающего устройства – чиллера. Такое охлаждение раствора электролита необходимо, т.к. образующаяся пероксодисерная кислота при температурах выше 15 °С начинает необратимо распадаться, что приводит к значительному снижению выхода продукта. Циркуляция растворов осуществлялась перистальтическими насосами. Для подачи тока на электроды использовался источник тока Mastech NY10010E с максимальной токовой нагрузкой до 10 А.

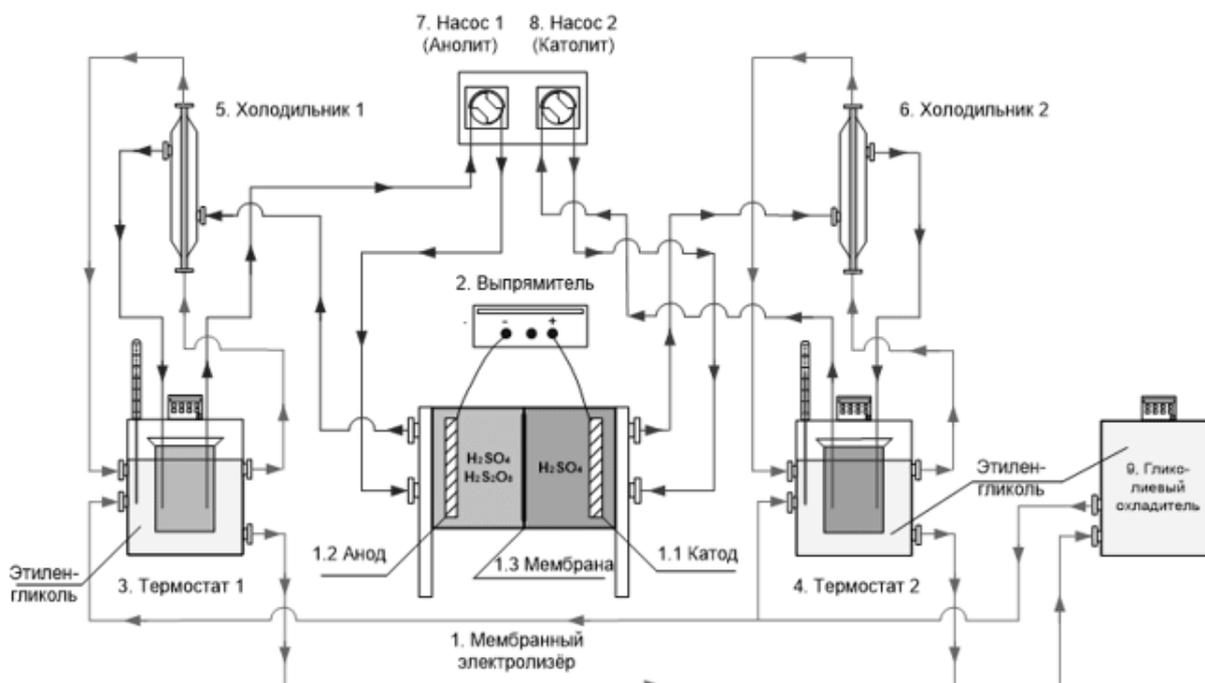


Рис. 2. Технологическая схема стадии электролиза для получения пероксодисерной кислоты

В результате исследований были установлены следующие оптимальные параметры проведения процесса: катод – нержавеющая сталь, анод – платина, анодная плотность тока – $5\text{--}7 \text{ кА/м}^2$, температура электролита – не выше $15 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрация добавки NH_4SCN в растворе анолита – 1 г/л .

Перегонку пероксида водорода из рабочего раствора анолита осуществляли на установке под вакуумом (рис. 3). Проведение перегонки при пониженном давлении позволяло снизить температуру кипения вещества, что являлось важным условием при перегонке пероксида водорода, т. к. при повышенных температурах пероксид водорода начинает быстро разлагаться.

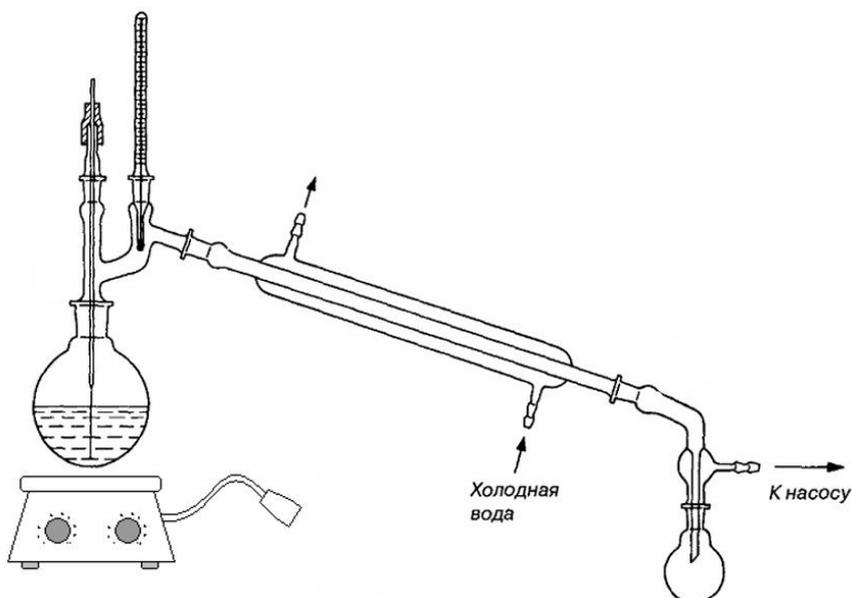


Рис. 3. Установка перегонки под вакуумом

Установка для перегонки под вакуумом состояла из колбонагревателя, в который помещалась исходная колба объёмом 1000 мл . Далее через переход с двумя параллельными горловинами подсоединялся прямой холодильник, охлаждаемый проточной водой. В холодильнике происходила конденсация паров перегоняемой жидкости. В горловины перехода вставлялись термометры для контроля температуры кубовой жидкости и отгоняемых паров. К холодильнику через аллонж с отводом к вакуумной системе подсоединялся приёмник дистиллята.

В результате эксперимента было установлено, что максимальный выход пероксида водорода $79,9\%$ достигается при пониженном давлении 100 мбар . При таких условиях получают растворы пероксида водорода концентрации $2\text{--}3\%$.

Следующим этапом проводили концентрирование полученных на стадии гидролиза разбавленных растворов перекиси водорода с концентрацией $2\text{--}3\%$ до растворов с концентрации 60% на стеклянной насадочной ректификационной колонне, представленной на рисунке 4.

Установка состояла из насадочной ректификационной колонны, заполненной стеклянной насадкой. Высота насадочного слоя колонны составляла

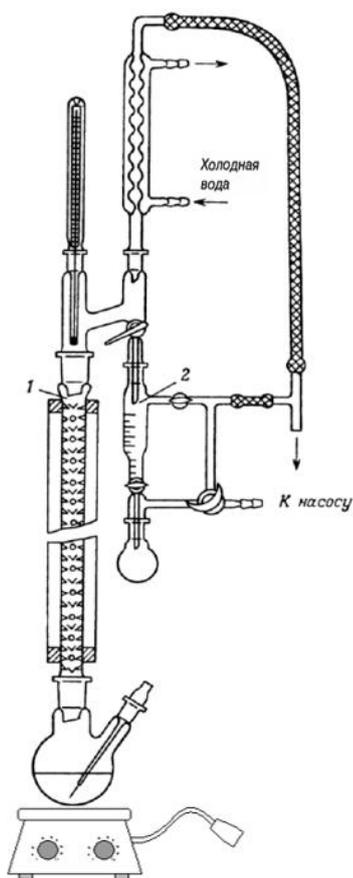


Рис. 4. Стеклонасадочная ректификационная колонна

накопления в колбе – приёмнике количества воды, рассчитанного из материального баланса, соответствующего тому, при котором концентрация в кубе достигнет заданной.

В ходе ректификации выход продукта находился на уровне 97%, что свидетельствовало о незначительном разложении перекиси водорода при проведении ректификации.

Библиографический список

1. Улыбин В. Б., Ефремов С. В., Романцова О. В. Сравнительный анализ различных методов получения пероксида водорода // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2012. С. 267–272.
2. Fukuzumi S., Lee Y. M., Nam W. Recent progress in production and usage of hydrogen peroxide // Chinese Journal of Catalysis. 2021. Vol. 42. P. 1241–1252. doi: 10.1016/S1872-2067(20)63767-6.
3. Serrano K., Michaud P. A., Comninellis C., Savall A. Electrochemical preparation of peroxodisulfuric acid using boron doped diamond thin film electrodes // Electrochimica Acta. 2002. Vol. 48. P. 431–436. doi: 10.1016/S0013-4686(02)00688-6.
4. The jet aerator as oxygen supplier for the electrochemical generation of H_2O_2 / J. F. Pérez, J. Llanos, C. Sáez, C. López, P. Cañizares, M. A. Rodrigo // Electrochimica Acta. 2017. Vol. 246. P. 466–474. doi: 10.1016/j.electacta.2017.06.085

2 м. Испарение жидкости происходило в кубе-испарителе, представляющем собой колбу объёмом 1000 мл, помещённую в колбонагреватель. В верхней части колонны через узел отбора был подсоединён обратный холодильник. Часть дистиллята отбиралась в приёмнике дистиллята, а оставшаяся часть возвращалась в колонну в виде флегмы. За счёт этого в колонне флегма и пар находились в противотоке, что приводило к умножению однократного разделительного эффекта и увеличению эффективности процесса.

Процесс проводился при давлении 100 мбар для снижения температуры и, как следствие, снижения скорости разложения перекиси водорода. В куб колонны загружали 900–1000 мл полученной перекиси водорода низкой концентрации, и далее, после установления профиля концентраций в колонне начинали отбор в голове колонны. Отбор проводили с флегмовым числом 2 до

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ РЕАГЕНТОВ В ЛАБОРАТОРИИ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

А. Н. Журавлева

*Удмуртский государственный университет,
zhuravleva_anastasija@mail.ru*

В статье приводятся данные по расходу, а также качественному и количественному составу химических реагентов, используемых в лаборатории химического анализа. Предложен вариант организации сбора отходов отработанных растворов для упрощения процесса определения качественного состава отходов и их дальнейшей утилизации.

Ключевые слова: химические лаборатории, отходы химических реактивов, паспортизация отходов, сбор отходов.

Сфера деятельности химических лабораторий по анализу состояния окружающей среды непосредственно связана с работой с разнообразными веществами – химическими реактивами (реагентами). Это могут быть препараты в виде индивидуальных веществ или их смесей, а также растворы сложного состава, используемые при проведении лабораторных или научно-исследовательских работ, химическом анализе.

Независимо от профессионального направления химической лаборатории, общее название «химические реактивы» включает: гидроксиды, кислоты, индикаторы, эталоны, спирты, растворители, буферные растворы, соли и др.

Кроме отработанных веществ, реактивов и реакционных смесей, обезвреживают реагенты, которые утратили потребительские свойства или с истекшим сроком хранения.

В соответствии с Федеральным классификационным каталогом отходов (ФККО) [1], к отходам химических реактивов, подлежащим утилизации, относятся:

- Продукты химические утратившие потребительские свойства (41000000000);
- Катализаторы, сорбенты, фильтры фильтровальные материалы, утратившие потребительские свойства (44000000000);
- Неметаллические минеральные продукты прочие, утратившие потребительские свойства (45000000000);
- Отходы оборудования и прочей продукции, подлежащей особому контролю (47000000000);

Отходы при технических испытаниях, измерениях, исследованиях (94000000000).

Так как просроченные химические реактивы – это товары, утратившие свои потребительские свойства, а отходы при технических испытаниях, ис-

следованиях – это вещества или предметы, которые образованы в процессе выполнения работ, оказания услуг [2], то на них распространяется действие природоохранного законодательства.

В качестве объекта исследования нами была взята химическая лаборатория по исследованию сельскохозяйственной продукции, в которой осуществляют проверку сырья и продуктов с целью выявления возбудителей заболеваний, опасных для животных и человека, а также мониторинга эпизоотической ситуации и оценки здоровья животных в сельскохозяйственных предприятиях и личных подсобных хозяйствах.

В отобранных пробах проводят определение:

– Пестицидов с использованием ГОСТ 23452, ГОСТ 30349, МУ №2142, МУ №2482;

– Микотоксинов с использованием ГОСТ 30711, ГОСТ 31673, ГОСТ 28038, МУ №5177, МУ №3184, МУ №115-6а.

Всего за 6 месяцев работы в лаборатории было проанализировано 615 проб. В зависимости от состава поступившей пробы и цели анализа были проведены исследования с использованием соответствующих методик. Данные по количеству поступивших проб и видам использованных методик анализа представлены на рисунке 1.

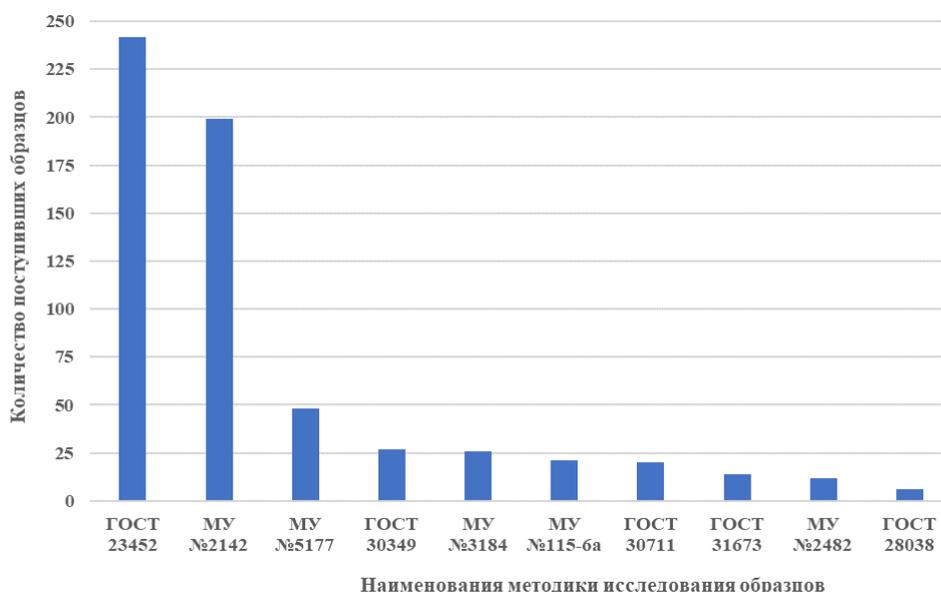


Рис. 1. Количество проведенных анализов в зависимости от использованной методики

Из графика видно, что в лаборатории почти 72% всех поступивших проб составили пробы, в которых проводилось определение остаточных количеств хлорорганических пестицидов (ГОСТ 23452-2015), а также пробы для определения хлорорганических пестицидов (МУ 2142-80).

Анализ качественного состава, используемых при определении содержания в сельскохозяйственной продукции пестицидов и микотоксинов, химических реагентов показал, что в состав растворов входят следующие раство-

рители: ацетон, ацетонитрил, хлороформ, диэтиловый эфир, гексан, толуол, бензол, этилацетат, изооктан, петролейный эфир, метилен хлористый.

Анализ количества образующихся отходов отработанных растворов растворителей при проведении анализов показал, что за 6 месяцев работы лаборатории при проведении анализов 615 проб образуется 177 л отработанных растворов вышеперечисленных растворителей. При этом, расход каждого растворителя зависит от используемой методики и количества анализируемых проб. Объем отходов, содержащих отработанные химические растворители, в зависимости от количества проведенных анализов проб представлен на рисунке 2.

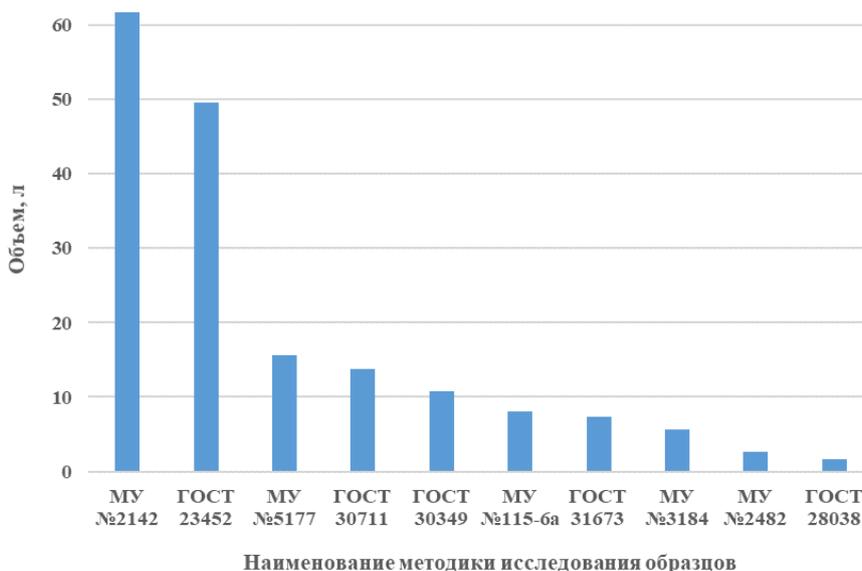


Рис. 2. Объем отходов, образующихся при проведенных анализов в зависимости от использованной методики

Анализ данных представленных на рисунках 1 и 2 показал, что максимум отходов образуется при проведении тех видов анализов, количество исследуемых проб для которых было также максимально. При этом расход реагентов больше на проведение анализа одной пробы при использовании методики МУ 2142-80.

Согласно ФККО, отходы химических растворов, образующихся в лаборатории можно отнести к следующим:

- Отходы диэтилового эфира при технических испытаниях и измерениях (94151305102);
- Отходы ацетонитрила при технических испытаниях и измерениях (94151711102);
- Отходы хлороформа при технических испытаниях и измерениях (94155001102);
- Отходы смеси галогенсодержащих органических веществ с преобладающим содержанием хлороформа при технических испытаниях и измерениях (94155911322);

- Растворители на основе дихлорметана отработанные (41411221393);
- Отходы гексана при технических испытаниях и измерениях (94151001103);
- Отходы бензола при технических испытаниях и измерениях (94151030103);
- Отходы толуола при технических испытаниях и измерениях (94151031103);
- Отходы ацетона при технических испытаниях и измерениях (94151151103);
- Отходы этилацетата при технических испытаниях и измерениях (94151302103).

Таким образом, отработанные растворители относятся ко 2 и 3 классу опасности.

Качественный анализ показал, что ацетонитрил, хлороформ, диэтиловый эфир используются в качестве растворителей в различных объемах в методиках МУ №5177, ГОСТ 30711, однако при этом в каждой из выше обозначенных методик используются еще и иные растворители также в различных объемах. В ГОСТ 31673 используются ацетонитрил и хлороформ в смеси с толуолом и изооктаном, а в ГОСТ 28038 используется ацетонитрил, хлороформ, а также толуол, бензол и этилацетат. Аналогичная ситуация и по использованию и образованию отходов с другими растворителями.

Таким образом, для решения проблемы с организацией сбора, паспортизации и утилизации отработанных растворителей было рекомендовано производить сбор отработанных растворителей в зависимости от методики проведения анализа.

Изменения в сфере обращения с отходами 1–2 класса опасности, появление Федерального экологического оператора, ужесточение природоохранного законодательства приводит к пересмотру системы обращения с опасными отходами. Это накладывает дополнительные обязанности и ответственность на отходообразователей. Паспортизация отходов, и, самый важный этап в этом процессе – это определение компонентного состава отходов становятся сложной задачей. Это связано с тем, что количество аккредитованных лабораторий для проведения качественного и количественного анализа во многих регионах ограничено, либо их вообще нет, в том числе и по причине отсутствия методик проведения подобных анализов сложных и многокомпонентных составов. При этом, способы и технологии утилизации, а также переработки отходов 1–2 классов напрямую зависят от их компонентного состава. Вариантом решения проблемы при определении компонентного состава отхода может быть сбор отходов отработанных растворов согласно методикам проведенных анализов, в сочетании с разработкой инструкций требований по накоплению и обращению с опасными отходами.

Библиографический список

1. Приказ Росприроднадзора. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов: приказ от 22.05.2017 № 242, с изм. и доп., вступ. в силу с 04.10.2021/ зарег. в Мин. юст. РФ 08.06.2017. 312 с.
2. Федеральный закон РФ. Об отходах производства и потребления: ФЗ от 24.06.1998 № 89-ФЗ (с изм. на 07.04.2020 г.) / прин. Гос. Думой 22.05.1998 . 57 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

С. М. Косолапова, М. С. Завадская, Ю. М. Качина
Санкт-Петербургский горный университет,
sofy.k.97@mail.ru, mzavadskaya@bk.ru, s190446@stud.spmi.ru

В статье представлен опыт применения углекислого газа для очистки смесей эфиров жирных кислот от щелочного гомогенного катализатора путём реакции карбонизации. Проведена карбонизация гидроксида калия в системах модельных растворов (вода, спирт) и опытных образцов, синтезируемых из нерафинированного рапсового масла. Выявлена зависимость удельного расхода углекислого газа на единицу массы катализатора от температуры процесса.

Ключевые слова: биотопливо, очистка, карбонизация, углекислый газ, барботаж.

В настоящее время сохраняется актуальность проблемы выбросов парниковых газов в атмосферу. Одним из методов её решения является переход мирового сообщества на потребление возобновляемых источников энергии, одним из которых является жидкое биотопливо, представленное смесью эфиров жирных кислот (ЭЖК), синтезируемых из растительного масла или бытовых отходов. Однако данное производство сопряжено с образованием кислых сточных вод, получаемых в процессе очистки эфиров от катализатора.

На этапе очистки смесь ЭЖК в две стадии промывают раствором кислоты (H_2SO_4 или H_3PO_4) для нейтрализации щелочного гомогенного катализатора, а затем промывают водой для удаления солей щелочных металлов. Данная стадия вводится в процесс очистки с целью уменьшения водородного показателя раствора эфиров и как следствие предотвращения образования устойчивых эмульсий и возникновения щелочного гидролиза, влекущих за собой потерю продукта.

Недостатки традиционного метода очистки служат стимулом к разработке альтернативных способов удаления примесей из ЭЖК. Среди них имеются исследования с использованием сжиженного углекислого газа для выделения очищенной фазы эфиров из реакционной смеси при критических условиях [1, 2].

В сравнении с предложенными методами нейтрализация щелочного катализатора в биотопливе путём барботажа углекислым газом является более простой по аппаратному оформлению и может рассматриваться как альтернатива стадии промывки растворами кислот. В таком случае вместо реакции нейтрализации будет проходить реакция карбонизации.

Ещё одним преимуществом данного метода является возможность задействовать в технологии углекислый газ, получаемый в промышленных условиях в виде отхода или побочного продукта. По данным Национального кадастра антропогенных выбросов, на долю промышленного сектора в мире приходится 5,2% от всех выбросов парниковых газов. В России этот показатель составляет 11,2%. Примером предприятий, образующих в качестве отхода углекислый газ, может служить производство биоэтанола, который также может использоваться как реагент в синтезе ЭЖК. Таким образом, применение углекислого газа в процессе очистки эфиров жирных кислот может послужить снижению выбросов парниковых газов и построению замкнутого технологического цикла, позволяющего задействовать основной продукт и отход производства биоэтанола. Однако методика карбонизации щелочного катализатора в смеси ЭЖК остаётся малоизученной и требует дополнительных исследований [3].

По этой причине авторами работы была поставлена цель установления оптимальных условий процесса барботажа синтезируемых смесей эфиров жирных кислот углекислым газом.

Для изучения процесса карбонизации были подготовлены модельные растворы гидроксида калия в водной и спиртовой среде, а также опытные образцы биотоплива, содержащие катализатор. Образцы биотоплива представляли собой смеси этиловых эфиров жирных кислот, полученных щелочной переэтерификацией рапсового нерафинированного масла.

Синтез проводили в системе параллельных реакторов НЕР при следующих условиях: объёмное соотношение масло:этанол 1:3; температура 70 °С, концентрация катализатора КОН в этаноле – 1%; время и скорость перемешивания – 2,5 часа и 250 об/мин. В результате синтеза получали гомогенные спиртовые растворы ЭЖК. В исследовании карбонизации углекислым газом подвергали как спиртовые растворы после синтеза, так и очищенные от избыточного этанола эфирные смеси. Последние образцы были получены методом атмосферной перегонки этанола из спиртового раствора.

Для построения температурной зависимости через опытный образец пропускали диспергированный углекислый газ в течение 5 минут при разной температуре раствора. В ходе экспериментов температура варьировалась от 25 до 50°С. Также было проведено две серии опытов при разном уровне расхода газа – 20 и 40 мл/сек.

Для определения времени завершения реакции карбонизации была собрана лабораторная установка, состоящая из стеклянного стакана с фиксированной высотой объёма пробы, элемента подачи газа и элемента измерения водородного показателя среды (рис. 1).

В процессе барботаж через равные промежутки времени (10–20 секунд) с помощью рН-метра фиксировали динамическое изменение водородного показателя пробы с помощью графической зависимости рН от времени барботаж.

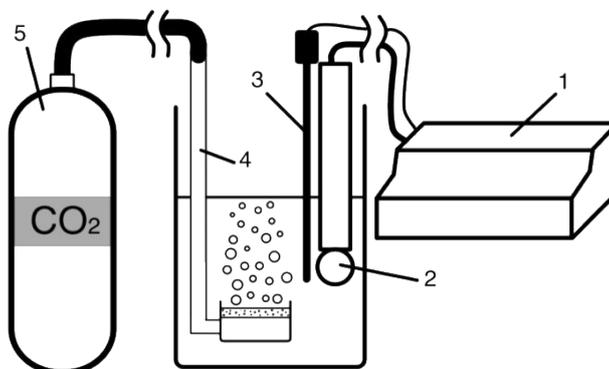


Рис. 1. Установка барботаж углекислым газом: 1 – рН метр; 2 – электрод; 3 – термопара рН метра; 4 – газопромыватель; 5 – баллон с газом

О конце реакции карбонизации на графической кривой свидетельствует момент выхода на «плато» значений (рис. 2).

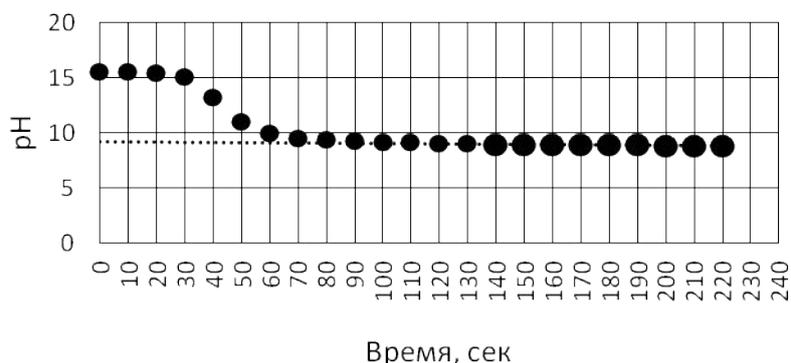


Рис. 2. График изменения рН раствора с течением времени

Используя графический метод, определяли время окончания карбонизации и рассчитывали расход углекислого газа на 1 г гидроксида калия по формуле:

$$G = \frac{V_{CO_2}}{m_{KOH}}$$

где V_{CO_2} – объём израсходованного на нейтрализацию углекислого газа, m_{KOH} – масса использованного при синтезе катализатора.

Таким образом, в результате обработки полученных данных были определены оптимальные условия процесса карбонизации. Оптимальная температура процесса составила 45 °С. Оптимальный расход углекислого газа составил 20 мл/с. Расход углекислого газа в процессе карбонизации ЭЖК после отгона избыточного спирта был значительно меньше.

Библиографический список

1. Assessment of biodiesel purification using CO₂ at high pressures / A. M. Escorsim, C. S. Cordeiro, L. P. Ramos, P. M. Ndiaye, L. R. S. Kanda, M. L. Corazza // The Journal of Supercritical Fluids. 2015. Т. 96. С. 68–76.
2. Fractionation for biodiesel purification using supercritical carbon dioxide / C. Y. Wei, T.-C. Huang, Z.-R. Yu, B.-J. Wang, H.-H. Chen // Energies. 2014. Т. 7. №. 2. С. 824–833.
3. Нагорнов С. А., Мещерякова Ю. В., Мещеряков А. Г. Очистка биотоплива углекислым газом // Вестник аграрной науки Дона. 2018. Т. 2. № 42. С. 48–53.

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИЗЕЛЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ

М. И. Арасланов, А. Н. Козлов

*Вятский государственный агротехнологический университет,
Araslanov.89@mail.ru*

В статье представлен опыт применения альтернативных топлив в дизелях с целью снижения токсичности их отработавших газов. Представлены результаты проведенных стендовых испытаний дизеля, работающего на этаноле и рапсовом масле.

Ключевые слова: дизель, альтернативные топлива, отработавшие газы.

В настоящее время дизельные двигатели широко используются в сельском хозяйстве, на транспорте и в промышленности благодаря их высокой эффективности, надежности, технологичности и экономичности. Тем не менее, увеличивающийся парк дизелей является одной из основных причин загрязнения окружающей среды и роста потребления нефтяного моторного топлива.

Транспортный комплекс относится к числу наиболее энергоемких секторов экономики и является одним из основных потребителем моторных топлив. На его долю приходится 30% от общемирового потребления энергии, производимой в основном из нефти (97,6%), мировые и национальные запасы которой сокращаются [0]. Применение в дизельных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) альтернативных топлив, получаемых из природного газа, угля, возобновляемых источников энергии, это один из путей снижения токсичности отработавших газов (ОГ), а также замещения нефтяных моторных топлив [2, 3].

В Вятском государственном агротехнологическом университете на кафедре тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проводилось изучение различных альтернативных топлив, таких как этиловый спирт и рапсовое масло (РМ). Частью этих исследований являлись стендовые испытания широко используемого тракторного дизеля 2Ч10,5/12,0 с полусферической камерой сгорания в поршне. Стендовые испытания включали в себя снятие регулиро-

вочных нагрузочных и скоростных характеристик данного дизеля на традиционном дизельном топливе (ДТ), а также на этаноле и рапсовом масле с использованием двойной системы топливоподачи.

Скоростная характеристика снималась при фиксированном рычаге управления топливного насоса высокого давления и цикловой подаче, соответствующей номинальному режиму работы дизеля. В процессе испытаний производилось измерение всех необходимых параметров: расхода топлива, массового расхода воздуха, нагрузки на дизель и др. Измерение массового расхода воздуха производилось с помощью расходомера газа РГ-250, установленного перед впускным коллектором дизеля, и электронного цифрового тахометра ТЭМП-4. Расход топлива измерялся электронным расходомером топлива АИР-50. Одновременно системой газового анализа проводился контроль состава отработавших газов и содержание в них сажи [4].

Индицирование рабочего процесса дизеля производилось пьезокварцевым датчиком давления PS-01 после чего сигнал с датчика поступал на усилитель АQ05-А.1.001, усиленный сигнал поступал на персональный компьютер через аналогово-цифровой преобразователь ЛА-2 USB. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 1.

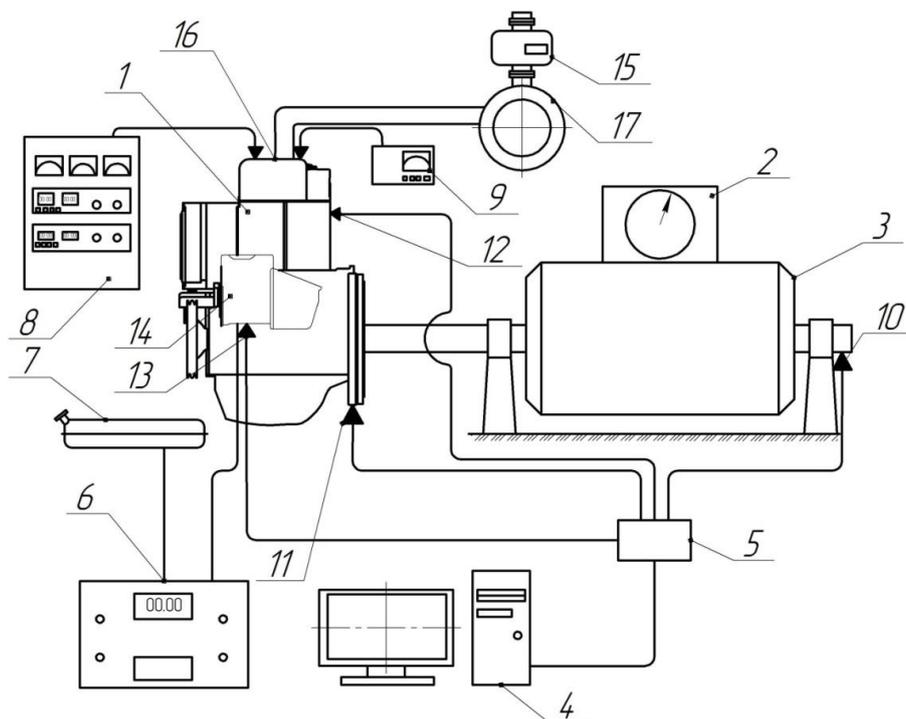


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

- 1 – дизель 2Ч10,5/12,0; 2 – весовой механизм Rapido; 3 – электротормозная балансирная машина SAK-N-670; 4 – персональный компьютер;
- 5 – аналогово-цифровой преобразователь ЛА-2; 6 – электронный расходомер топлива АИР-50; 7 – топливный бак; 8 – система газоанализа АСГА-Т;
- 9 – дымомер; 10 – датчик частоты вращения КВ; 11 – датчик ВМТ; 12 – датчик давления в цилиндре PS-01; 13 – датчик давления топлива ТДТ;
- 14 – топливный насос высокого давления; 15 – расходомер воздуха РГ-250; 16 – датчик температуры ОГ; 17 – ресивер

Для двигателей наземного транспорта скоростная характеристика является основной, в связи с этим показательными являются результаты влияния применения этанола и рапсового масла на содержание токсичных компонентов в ОГ в зависимости от изменения частоты вращения коленчатого вала дизеля 2Ч 10,5/12,0 в сравнении с работой дизеля на ДТ, представленные на рисунке 2.

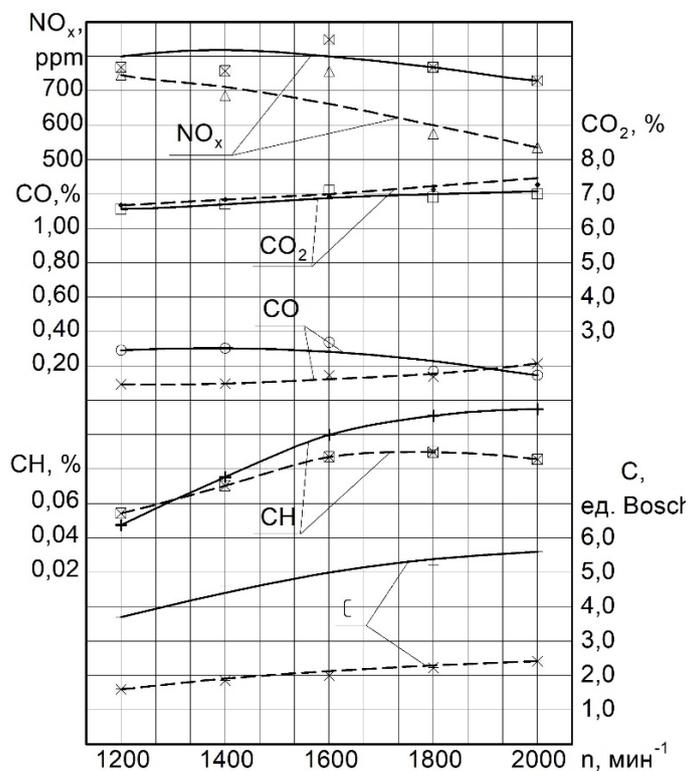


Рис. 2. Влияние применения этанола и рапсового масла в быстроходном тракторном дизеле 2Ч 10,5/12,0 на состав отработавших газов в зависимости от изменения частоты вращения; ————— дизельный процесс; — — — — этанол и рапсовое масло

Частота вращения коленчатого вала дизеля влияет на содержание всех токсичных компонентов в ОГ дизеля. Так, при уменьшении частоты вращения коленчатого вала дизеля увеличивается продолжительность сгорания, а также длительность периода с высокой температурой в цилиндрах. Таким образом, концентрация NO_x уменьшается с ростом частоты вращения.

Можно отметить, что при работе дизеля на этаноле и РМ, значительно снижается концентрация NO_x в ОГ на всех исследуемых скоростных режимах по сравнению с работой на ДТ. Так, при частоте вращения 1800 мин⁻¹ концентрация оксидов азота в ОГ уменьшается на 22%.

Результаты множества исследований однозначно говорят, что в процессе сгорания в ДВС большая часть суммарных оксидов азота термические (90–95%), образованные по механизму Зельдовича, и лишь малую часть 5–10% составляют топливные оксиды азота и быстрые оксиды, образованные по механизму Фенимора [5]. Согласно расширенному механизму Зельдовича, образование NO в значительной степени зависит от температуры горения и кон-

центрации кислорода, снижение содержания суммарных оксидов азота в ОГ дизеля при работе на этаноле и РМ можно объяснить сниженными локальными температурами в камере сгорания (КС), а также меньшей продолжительностью активного тепловыделения.

Содержание сажи в ОГ дизеля, работающего на РМ и этаноле, по сравнению с опытным двигателем, снижается на 44–52% в зависимости от частоты вращения. Уменьшение содержания сажи в ОГ дизеля при работе на этаноле и РМ возможно объяснить меньшей склонностью этанола и РМ к сажеобразованию, обусловленной составом данных топлив.

Содержание CO_2 в ОГ дизеля увеличивается с частотой вращения. Поведение кривых содержания CO_2 в ОГ дизеля при работе на этаноле и РМ и при работе на ДТ схоже, однако абсолютные значения содержания CO_2 при работе на этаноле и РМ больше, на 1–5% в зависимости от скоростного режима.

Содержание суммарных углеводородов CH_x при работе дизеля на ДТ выше практически для всех скоростных режимов. При увеличении частоты вращения концентрация CH_x растет как для дизеля, работающего на ДТ, так и при работе на РМ и этаноле.

Содержание в ОГ продуктов неполного сгорания топлива (угарного газа – CO и суммарных углеводородов – CH_x), работающего на ДТ, при увеличении нагрузки растет, что объясняется увеличением количества топлива, участвующего в процессе сгорания и, следовательно, роста числа переобогащенных топливом зон, а также снижением локальных коэффициентов избытка воздуха. Рост концентрации суммарных углеводородов (CH_x), при уменьшении нагрузки на двигатель, работающий на РМ и этаноле, обусловлен множеством факторов: на малых нагрузках процесс распространения фронта пламени и весь процесс сгорания в целом протекает более вяло, способствуя неполному сгоранию топлива, часть которого может попадать на стенки КС, имеющие низкую температуру и в холодные пристеночные области. Также, имеет место гашение диффузионного пламени, связанное с резким снижением температуры и давления в процессе расширения. Вероятно, может происходить и ухудшение процесса топливоподачи, связанное с малыми цикловыми порциями топлива, что приводит образованию крупных капель, прогрев и испарение которых затянутся [6].

В результате проведенных стендовых испытаний дизеля, работающего на этаноле и рапсовом масле, было достигнуто значительное снижение токсичности ОГ путем уменьшения концентрации основных токсичных компонентов, таких как сажа и оксиды азота. Кроме того, была доказана возможность полного замещения традиционного нефтяного топлива альтернативными.

Библиографический список

1. World energy balances 2019: overview // International Energy Agency (IEA). 2019. 735 p.

2. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Биотопливо или дымящие автомобили? // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 228–236. doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-228-236
3. Романюк В., Лиханов В. А., Лопатин О. П. Снижение экологической опасности автомобилей конвертацией на природный газ // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 3. С. 27–32. doi: 10.25750/1995-4301-2018-3-027-032
4. Лиханов В. А., Козлов А. Н., Арасланов М. И. Работа дизеля на этаноле и рапсовом масле : монография. Киров : Вятская ГСХА, 2018. 172 с.
5. Кавтарадзе Р. З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы : учебник для вузов. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. 589 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей : учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М. : Машиностроение, 1983. 372 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДНОЙ ЭКСТРАКЦИИ ПОЛИФЕНОЛОВ И АНТИОКСИДАНТОВ ИЗ ПРОПОЛИСА

*М. В. Дробков, А. И. Фокина, А. В. Ёлкина
Вятский государственный университет, verybigbrain788@gmail.com*

В статье представлен опыт изучения особенностей водной экстракции полифенольных соединений и антиоксидантов в 1,0; 2,5 и 5,0% суспензиях из прополиса в течение 60 минут при температуре 25 °С под воздействием и без воздействия ультразвука. Установлено, что оптимальным из всех изученных вариантов является экстракция под действием ультразвука в течение 60 минут в 5% суспензии.

Ключевые слова: прополис, полифенолы, антиоксиданты, ультразвук, суспензия, водный раствор.

В условиях загрязнения окружающей среды и повышенного стресса, организм человека нуждается в поддержке, в том числе за счет употребления биологически активных веществ (БАВ) способных нормализовать процессы жизнедеятельности. К таким веществам относятся полифенолы и антиоксиданты, содержащиеся в прополисе [1]. Большое количество прополиса остается на рамках после откачки меда. Для экстракции БАВ в литературе предлагается множество способов. Самыми распространенными экстрагентами являются этиловый спирт и вода. В водный раствор, по сравнению со спиртовым, переходит меньше БАВ. Примерно 50–70% массы прополиса может быть растворено в 70% этаноле и только до 5% в воде. Особый интерес представляет получение экстрактов на водной основе, так как это позволяет расширить диапазон их использования [2].

Актуален вопрос поиска простого и экспрессного способа получения водного экстракта, проявляющего биологическую активность. Представляет интерес изучение особенностей экстракции БАВ из прополиса при темпера-

туре близкой к комнатной в течение непродолжительного времени. Известно, что ускорить процесс экстракции позволяет применение ультразвука (УЗ) [3].

Использовали прополис, собранный на частной пасеке в селе Юрьево (Котельничский район Кировской области) летом 2022 г. Предварительно прополис замораживали при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 40 минут, измельчали в фарфоровой ступке.

БАВ экстрагировали в водный раствор в течение 60 минут (отбирали фильтраты проб через 15, 30, 45 и 60 минут после начала экстрагирования) при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. В литературе встречаются данные о том, что водный экстракт, получаемый из суспензий прополиса с концентрацией 2% и более имеет лечебные свойства [4]. Поэтому использовали 1,0; 2,5 и 5,0% суспензии, не прибегая к большой доле прополиса в суспензии. Исследования вели в двух сериях: с ультразвуковой обработкой суспензий (35 кГц) и без обработки. Повторность эксперимента двукратная. В отобранных пробах определяли концентрацию полифенолов, так как в литературе указывается на активную антимикробную роль этой группы соединений [5, 6] и сумму антиоксидантов. Метод определения полифенолов основан на реакции окисления полифенольных соединений прополиса реактивом Фолина-Чокальтеу и последующим фотометрированием образующейся «сини» при длине волны 765 нм. В качестве внутреннего стандарта используют галловую кислоту [7]. Сумма антиоксидантов определена методом перманганатометрии [8].

В результате эксперимента установлено, что есть тенденция к положительному влиянию УЗ-обработки, доли прополиса в суспензии и продолжительности экстракции для перехода полифенолов и антиоксидантов в водный раствор (табл. 1, 2). Следует отметить, что в 1% суспензиях прополиса не удалось обнаружить антиоксидантов ни в одной из отобранных в ходе эксперимента проб. Отсутствие УЗ-обработки сказалось и на том, что антиоксиданты не были обнаружены в водных растворах 2,5% суспензий (табл. 2).

Таблица 1

Влияние ультразвука и продолжительности экстракции на концентрацию полифенолов (мг/50 г водной суспензии прополиса)

Продолжительность экстракции, мин	Массовая доля прополиса в суспензии, %		
	1,0	2,5	5,0
Ультразвуковая экстракция + термостатирование			
15	1,5±0,4	3,5±0,9	4,3±1,1
30	1,6±0,4	4,4±1,1	6,0±1,5
45	1,7±0,4	4,9±1,2	7,1±1,7
60	1,7±0,4	5,2±1,3	7,2±1,8
Термостатирование			
15	0,62±0,15	2,1±0,5	4,3±1,1
30	1,26±0,31	3,8±0,9	5,0±1,2
45	1,34±0,33	3,8±0,9	5,6±1,4
60	1,6±0,4	3,8±1,1	5,7±1,4

**Влияние ультразвука и продолжительности экстракции
на концентрацию антиоксидантов (мг/50 г водной суспензии прополиса)**

Продолжительность экстракции, мин	Массовая доля прополиса в суспензии, %		
	1,0	2,5	5,0
Ультразвуковая экстракция + термостатирование			
15	–	2,3	2,6
30	–	2,6	3,2
45	–	2,7	3,3
60	–	3,4	3,7
Термостатирование			
15	–	–	–
30	–	–	2,4
45	–	–	2,8
60	–	–	2,9

Примечание: «–» – менее предела обнаружения.

В литературе представлены разные режимы экстракции из образцов прополиса, отобранных в различных местах, поэтому очень сложно сопоставить данные. Кроме того, авторы применяют достаточно длительную экстракцию, от нескольких часов, при достаточно жестких условиях.

В целом, при анализе литературных данных ясно, что значения концентраций полифенолов и антиоксидантов, полученных в нашем исследовании, несколько ниже литературных.

Например, известен способ получения водного экстракта прополиса с доказанной эффективностью в соотношении вода : прополис равном 5 : 1 (в нашем эксперименте 99 : 1, 49 : 1 и 19 : 1), применением УЗ и нагреванием до температуры кипения воды в течение 3–6 часов (в нашем случае с УЗ, $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и продолжительность – 15–60 мин.). Автор гарантирует получение концентрации фенольных соединений в растворе не менее 0,41% (из 17% суспензии прополиса) [9]. Такой способ позволяет получить на 1 г прополиса не менее 20,5 мг фенольных соединений. В нашем случае, используя 5% суспензию через час УЗ-воздействия при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ экстрагируется 2,9 мг фенольных соединений из 1 г прополиса, при этом концентрация фенольных соединений составила в растворе 0,02%. Установлено, что количество БАВ, экстрагируемых таким способом, достаточно, чтобы предотвратить развитие плесневелых грибов на желатиновом геле.

Библиографический список

1. Ярован Н. И., Ивлева Н. А., Долганова А. В. Прополис, как средство адаптогенного действия // Химические элементы – основа жизни : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Орел : ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ им. Н. В. Парахина», 2020. С. 212–215.

2. Liaudanskas M. L., Kubilienė, Žvikas V. Comparison of Ethanolic and aqueous-polyethylenglycolic propolis extracts: Chemical composition and antioxidant properties Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2021. P. 1–7. doi: 10.1155/2021/5557667

3. Вахонина Е. А., Лапынина Е. П. Антиокислительная активность прополиса, подмора пчел и их фракций // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022. Т. 14. № 2. С. 17–24. doi: 10.36508/RSATU.2022.54.2.002
4. Сазхиев Р. Г., Токарев И. Н., Карев А. Ю. Патент RU 2090089C1. Способ приготовления экстракта прополиса и экстракт прополиса [Электронный ресурс]. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2090089C1/nl> (дата обращения: 1.11.2022).
5. Природные полифенолы: биологическая активность, фармакологический потенциал, пути метаболической инженерии (обзор) / В. В. Теплова, Е. П. Исакова, О. И. Кляйно, Д. И. Дергачева, Н. Н. Гесслер, Ю. И. Дерябина // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. № 3. С. 215–235. doi: 10.7868/S0555109918030017
6. Ibrahim M. E. E.-D., Alqurashi R. M. Anti-fungal and antioxidant properties of propolis (bee glue) extracts // International Journal of Food Microbiology. 2022. Vol. 361. 109463. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109463
7. ГОСТ 55488-2013 Прополис. Метод определения полифенолов [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104875> (дата обращения: 29.10.2022).
8. Патент Способ определения антиокислительной активности RU 2 170 930 C1. [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2170930C1_20010720 (дата обращения: 30.10.2022).
9. Хисматуллин Р. Г. Патент RU 2185181 C1. Способ получения водного экстракта прополиса ЭЙ-ПИ-ВИ [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2185181C1_20020720 (дата обращения: 30.10.2022).

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Т. А. Мусихина, В. Н. Пугач, Р. М. Костицын, У. С. Сергеева
Вятский государственный университет,
mtamta1@mail.ru

Системы обращения отходов складываются в зависимости от классов опасности отходов, а также источников их образования. Регулирование отношений в этой сфере, в том числе, осуществляется законодательными и нормативно правовыми актами, которые совершенствуется параллельно с развитием рынка обращения отходов и в соответствии с проводимой государственной экологической политикой, которая во многом определена в стратегиях экологической и национальной безопасности Российской Федерации и направлена на решение задач по снижению объемов образования отходов производства и потребления, развитию индустрии их утилизации и вторичного использования.

Ключевые слова: отходы, класс опасности отходов, законодательство.

Указом Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176 утверждена Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, которой установлено, что экологическая безопасность является составной частью Национальной безопасности Российской Федера-

ции. В свою очередь, Указом Президента РФ от 02.07.2021 г. № 400 утверждена Стратегия Национальной безопасности Российской Федерации, которая устанавливает, что достижение целей обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования осуществляется путем реализации государственной политики, направленной на решение ряда задач, в которые входит, в том числе задача по снижению объемов образования отходов производства и потребления, развитие индустрии их утилизации и вторичного использования [1].

1. Основу законодательного регулирования сферы обращения с отходами составляют два закона Российской Федерации «Об охране окружающей среды» и «Об отходах производства и потребления». В развитие этих законов принят целый ряд соответствующих подзаконных актов и нормативно-методических документов [2]. Кроме того, в этой сфере действуют и другие законы, например, Федеральный закон №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», в котором отражены санитарно-эпидемиологические требования к сбору, накоплению, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов производства и потребления. Так, например, медицинские отходы в зависимости от степени их эпидемиологической, токсикологической и радиационной опасности, а также негативного воздействия на среду обитания подразделяются на классы опасности:

Класс А – эпидемиологически безопасные отходы, приближенные по составу к твердым бытовым отходам (далее – ТКО);

Класс Б – эпидемиологически опасные отходы;

Класс Г – токсикологически опасные отходы 1–4 классов опасности.

При этом следует отметить, что отходы класса А, с одной стороны, приближены по составу к ТКО, а с другой – их обращение невозможно по существующим правилам путем заключения договора с региональным оператором по обращению с отходами. Однако, учитывая, что иного порядка по обращению с медицинскими отходами класса А санитарно-эпидемиологическим законодательством РФ не установлено, действие закона №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» возможно распространить и на медицинские отходы класса А, поэтому заказчик как собственник отходов класса А, образующихся в процессе его деятельности, в силу п. 4 ст. 24.7 закона № 89-ФЗ обязан заключить с регоператором договор на оказание услуг по обращению с ТКО (медицинскими отходами класса А). Указанная позиция подтверждается судебной практикой [3].

Можно также привести некоторые другие законы Российской Федерации, содержащие нормы в области охраны окружающей среды, в том числе при обращении с отходами. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ГрК РФ), который содержит статью 5.2. «Перечень мероприятий, осуществляемых при реализации проектов по строительству объектов капитального строительства», согласно которой выполнение

инженерных изысканий и осуществление архитектурно-строительного проектирования могут включать следующие мероприятия:

1) проведение экспертизы проектной документации объектов капитального строительства и (или) результатов инженерных изысканий;

2) проведение государственной историко-культурной экспертизы проектной документации на проведение работ по сохранению объектов культурного наследия в случае, предусмотренном частью 6 статьи 49 ГрК РФ;

3) проведение государственной экологической экспертизы проектной документации.

Предметом законодательного регулирования Федерального закона от 27.12.2002 №184-ФЗ «О техническом регулировании» являются отношения между юридическими и физическими лицами, государственными органами, возникающие, изменяющиеся или прекращающиеся по поводу установления обязательных технических норм и правил, подтверждения соответствия продукции, процессов (методов) ее производства обязательным требованиям, стандартизации, аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), привлечения к ответственности в случаях несоответствия требованиям технических регламентов и финансирования работ в области технического регулирования. Предмет регулирования Федерального закона от 07.12.2011 N 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» – это отношения в сфере водоснабжения и водоотведения, куда входят забор воды из водного объекта и сброс сточных вод в водный объект. Ответственность за несоблюдение норм природоохранного законодательства, в том числе и в сфере обращения с отходами, предусмотрена нормами Административного и Уголовного кодексов.

2. Основные принципы государственной политики и экономического регулирования в области обращения с отходами отражены в статьях 3 и 21 Федерального закона от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Среди них можно выделить следующие:

– охрана здоровья человека, поддержание или восстановление благоприятного состояния окружающей среды и сохранение биологического разнообразия;

– научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов общества в целях обеспечения устойчивого развития общества;

– использование наилучших доступных технологий при обращении с отходами;

– комплексная переработка материально-сырьевых ресурсов в целях уменьшения количества отходов;

– максимальное использование исходных сырья и материалов;

– предотвращение образования и сокращение количества образования отходов, а также снижение класса опасности отходов в источниках их образования;

– уменьшение количества отходов и вовлечение их в хозяйственный оборот;

- обработка, утилизация и обезвреживание отходов;
- платность размещения отходов, использование методов экономического регулирования и стимулирования деятельности в области обращения с отходами в целях уменьшения количества отходов и вовлечения их в хозяйственный оборот.

В последние годы остро встает вопрос об эффективности государственной модели регулирования, направленной на максимальное возвращение вторичных материальных ресурсов в хозяйственный оборот и минимизацию объемов захоронения отходов потребления, что во многом может быть связано с повышением эффективности механизмов расширенной ответственности производителей и импортеров товаров (далее – РОП), поскольку согласно официальным сведениям об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления, которые формируются на основании формы федерального статистического наблюдения № 2-ТП (отходы), утвержденной приказом Росстата 09.10.2020 № 627 в 2019 г., доля направленных на утилизацию отходов ТКО составила 4,4% от объема образованных, в 2021 г. доля утилизации увеличилась незначительно до 6,5%, в годовом выражении рост составил 1,05% [1]. При этом РОП должна являться основой формирования в Российской Федерации экономики замкнутого цикла, поэтому является крайне важным не только сформировать систему администрирования, минимизирующую возможность ухода от ответственности недобросовестных производителей, импортеров товаров, но и сформировать систему, направленную на обеспечение максимального объема утилизации отходов от использования товаров, глубины их утилизации, что в итоге приведет к снижению полигонного захоронения таких отходов. РОП должен быть основан на принципах экономики замкнутого цикла, основой которой является принцип цикличности продукции, то есть достижения максимальной глубины переработки отхода.

Главная цель института РОП – это не фискальная нагрузка, а увеличение объема утилизированных отходов, а также, что наиболее прозрачным способом, позволяющим проверить фактическое достижение производителем нормативов утилизации, является непосредственное исполнение обязательств самим производителем товаров, упаковки путем организации собственных объектов по сбору, накоплению и утилизации отходов или на основании прямого договора с утилизатором [1].

3. Современная национальная система управления обращением с отходами во многом носит многоуровневый характер и опирается на классификацию отходов по степени их негативного воздействия на окружающую среду.

Конституционно и законодательно закреплено, что в сфере обращения отходов предусматривается государственное управление на федеральном и региональном уровнях, а также некоторые функции переданы органам местного самоуправления. В таблице 1 сопоставлены основные полномочия соответствующих уровней власти в рассматриваемой сфере.

**Основные полномочия органов власти в сфере обращения
с отходами производства и потребления**

Федеральный уровень	Региональный уровень
Разработка экологической политики Российской Федерации	Участие в проведении государственной политики в области обращения с отходами на территории соответствующего субъекта Российской Федерации
Установление норм и правил, направленных на обеспечение безопасного обращения с отходами	Установление нормативов образования отходов и лимиты на их размещение в регионе
Установление нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, порядка их разработки и утверждения применительно к хозяйственной и (или) иной деятельности индивидуальных предпринимателей, юридических лиц (за исключением субъектов малого и среднего предпринимательства), в процессе которой образуются отходы на объектах, подлежащих федеральному государственному экологическому надзору	Установление нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, порядка их разработки и утверждения применительно к хозяйственной и (или) иной деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей (за исключением субъектов малого и среднего предпринимательства), в процессе которой образуются отходы на объектах, подлежащих региональному государственному экологическому контролю (надзору)
Установление порядка проведения уполномоченными органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации конкурсного отбора региональных операторов по обращению с твердыми коммунальными отходами	Регулирование деятельности региональных операторов, за исключением установления порядка проведения их конкурсного отбора
Установление порядка разработки, рассмотрения, общественного обсуждения, утверждения, корректировки территориальных схем обращения с отходами и порядка разработки, утверждения и корректировки федеральной схемы обращения с твердыми коммунальными отходами, а также требований к составу и содержанию таких схем	Разработка и утверждение территориальной схемы обращения с отходами в субъектах Российской Федерации

Полномочия органов местного самоуправления в области обращения с твердыми коммунальными отходами определяются федеральными законами: «Об охране окружающей среды», «Об отходах производства и потребления» и «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». В основном их полномочия относятся к сфере обращения с твердыми коммунальными отходами:

- создание и содержание мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов, за исключением установленных законодательством Российской Федерации случаев, когда такая обязанность лежит на других лицах;
- определение схемы размещения мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов и ведение реестра мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов;

– организация экологического воспитания и формирования экологической культуры в области обращения с твердыми коммунальными отходами.

Таким образом, разделение полномочий в сфере обращения с отходами предусматривает, что:

– в сфере создания нормативной базы по управлению отходами производства и потребления участвуют федеральные и региональные власти. Органы местного самоуправления таких полномочий не имеют;

– Российская Федерация разрабатывает единую государственную политику в области обращения с отходами, а субъект федерации участвует в проведении государственной политики;

– федеральные органы власти устанавливают нормы и правила, нормативы, направленные на обеспечение безопасного обращения с отходами;

– субъекты Российской Федерации устанавливают региональные нормативы образования отходов и лимиты на их размещение, порядок их разработки и утверждение применительно к хозяйственной и (или) иной деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей.

Деление отходов производства и потребления на V классов опасности составляет основу управления отходами. В таблице 2 представлены основные положения управления отходами относительно классификации отходов по степени опасности.

Таблица 2

Система управления отходами относительно классификации отходов по степени опасности

Класс опасности, уровень управления	Субъекты управления	Примечание
1	2	3
I–II Федеральный уровень	ФГУП «Федеральный экологический оператор» (ФГУП «ФЭО»)	ФЭО определяется Правительством Российской Федерации по предложению Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», согласованному с уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти.
III–IV промышленные отходы	Субъекты экономики (отходообразователи, транспортные компании и предприятия по переработке отходов)	Субъекты экономики (отходообразователи, транспортировщики и переработчики отходов) самостоятельно занимаются вопросами утилизации промышленных отходов

1	2	3
V (ТКО)	РЭО – российский экологический оператор РО – Региональный оператор	ППК РЭО создан Постановлением Правительства РФ «О публично-правовой компании по формированию комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами «Российский экологический оператор» Региональный оператор осуществляет полный комплекс услуг по обращению с твердыми коммунальными отходами на территории субъекта федерации, выбирается в ходе конкурсного отбора

ФГИС ОПВК объединяет почти 50 тыс. участников: отходообразователей из разных отраслей промышленности, транспортные компании и предприятия по переработке отходов. Это позволит наладить учёт, контроль, избежать образования стихийных свалок. Задача – организация обращения с 485 видами опасных и особо опасных отходов. В свою очередь Минприроды России проводит мониторинг работы системы, и вместе с Росатомом работают над необходимыми поправками в законодательство регулирующее отношение с отходами I и II классов опасности, в целях сохранения существующих цепочек взаимодействия к работе привлекается бизнес.

Таким образом, из таблицы видно, что, нормативные, контрольные, административные и экономические методы государственного управления промышленными отходами I и II классов опасности, а также отходов ТКО V класса опасности имеются и активно используются на практике, то рынок отходообразователей разных отраслей промышленности, транспортных компаний и предприятий по переработке промышленных отходов III и IV классов опасности еще не сложился. Например, особого внимания требуют вопросы управления этими потоками отходов в части информационного обеспечения как отходообразователей, так участников рынка, занимающихся переработкой отходов.

Библиографический список

1. РОП: проект обновленных изменений к закону об отходах // Научно-практический журнал Обращение с отходами. 2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://news.solidwaste.ru/2022/10/rop-proekt-obnovlennyh-izmenenij-k-zakonu-ob-otnodah/?gcmes=29987565999&gcmlg=8940920> (дата обращения: 30.10.2022).

2. Мусихина Т. А. Обращение отходов производства и потребления. Правовой и управленческий аспекты // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Киров, 2020. С. 21–26.

3. Беяева Н. С. Медицинские коммунальные отходы / Научно-практический журн. Твердые бытовые отходы. 2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://news.solidwaste.ru/2022/10/meditsinskie-kommunalnye-othody/?gcmes=30284981602&gcmlg=9008349> (дата обращения: 27.10.2022).

4. Петрова А. С. Новые условия обращения с отходами I–II классов опасности. Перспективы для бизнеса и государства // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 203–209. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-203-209

5. Корольков М. В. Государственная информационная система учёта и контроля за обращением с отходами I и II классов опасности // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 242–243.

СЕКЦИЯ 2 ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И РЕЦИКЛИНГ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

АППАРАТУРНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ БЕСХЛОРНЫХ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОНВЕРСИИ ФОСФОГИПСА И ХЛОРИДА КАЛИЯ В АММИАЧНОМ РАСТВОРЕ

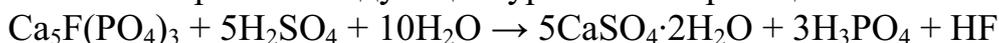
Ю. Н. Терентьев¹, Н. В. Сырчина²

¹ *Уральский федеральный университет, teryun@yandex.ru*
² *Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

Предложена аппаратурная схема производства сульфата калия конверсией фосфогипса и хлорида калия в водном растворе аммиака. Схема, в основном, ориентирована на использование типового оборудования отечественного производства. Побочным продуктом конверсии является хлорид кальция, который может быть реализован в качестве антигололедного реагента.

Ключевые слова: отходы производства, конверсия фосфогипса, сульфат калия, бесхлорные удобрения, аппаратурная схема конверсии.

Фосфогипс (ФГ) представляет собой побочный продукт производства фосфорной кислоты разложением фосфатного сырья серной кислотой. Выработка каждой тонны H_3PO_4 (в пересчете на P_2O_5) сопровождается образованием 4–6 т ФГ. Химическую сущность сернокислотной экстракции H_3PO_4 из фосфатов можно выразить следующим уравнением реакции:

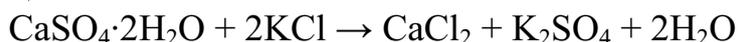


Сложный состав природного сырья и наличие в нем большого количества различных примесей значительно усложняют процесс и приводят к загрязнению образующегося ФГ соединениями, затрудняющими его дальнейшую переработку. К числу вредных примесей в ФГ можно отнести разнообразные фосфаты, сульфаты, фториды, остаточные кислоты, тяжелые металлы, радиоактивные элементы и др. [1]. В период с 2014 по 2021 гг. мировой уровень производства ФГ варьировал от 260 до 150 млн т [2], из них на долю России приходилось около 14 млн т [3].

Основным направлением переработки ФГ является производство гипсовых вяжущих и строительных материалов на их основе. Несмотря на значительные потребности строительной отрасли в соответствующих материалах, для их получения используется не более 5% образующегося ФГ [4], осталь-

ные объемы отправляются в отвалы для долгосрочного хранения. В результате ФГ становится отходом производства. Низкий уровень переработки ФГ обусловлен экономическими факторами, т.е. низкой рентабельностью производства товарных продуктов на его основе. К настоящему времени на территории РФ в отвалах накоплено более 300 млн т ФГ и эта цифра с каждым годом увеличивается [5]. Складирование ФГ в отвалах приводит к отчуждению значительных территорий для хранения этого отхода, дополнительным затратам предприятий на обустройство и содержание полигонов, снижению рентабельности производства за счет нерационального использования природных ресурсов, загрязнению окружающей среды фосфатами, фторидами, солями Sr, Rb, Ga, редкоземельных элементов и др. [6]. Таким образом, проблема включения ФГ в экономический оборот, разработка рентабельных технологий переработки соответствующего сырья в востребованные на рынке продукты приобретает особую актуальность.

Одним из перспективных направлений использования ФГ может стать производство бесхлорных калийных удобрений. В ряде работ [7, 8] показано, что в определенных условиях (при пониженной температуре в присутствии NH_3 или спирта) ФГ взаимодействует с KCl в соответствии со следующим уравнением реакции:



В работах ученых Института общей и неорганической химии НАН Беларуси описаны условия, при которых на основе ФГ и KCl возможно получение K_2SO_4 с содержанием основного вещества до 92–93%. Получаемый таким образом K_2SO_4 пригоден для использования в качестве бесхлорного калийного удобрения [9].

В настоящее время для переработки KCl в K_2SO_4 широко используется метод Мангейма, согласно которому кристаллический KCl смешивается с H_2SO_4 и нагревается в муфельных печах при температуре 600–700°C. В соответствующих условиях нелетучая серная кислота вытесняет газообразный хлороводород из KCl . К недостаткам соответствующего метода следует отнести высокую энергоемкость, быстрое разрушение оборудования под воздействием сильных кислот, экологические проблемы, обусловленные образованием газообразного HCl . С точки зрения минимизации отрицательного воздействия на окружающую среду, разработка технологии замены H_2SO_4 на ФГ в процессах конверсии KCl может иметь серьезные преимущества.

Цель настоящей работы состояла в разработке аппаратурной технологической схемы получения бесхлорных калийных удобрений на основе конверсии фосфогипса и хлорида калия в аммиачном растворе и оценке экономической целесообразности реализации соответствующего процесса в производственных условиях.

При разработке аппаратурной схемы руководствовались следующими принципами: ориентация на использование инфраструктуры действующих предприятий по производству минеральных удобрений; применение типового оборудования отечественного производства; снижение энергоемкости за счет

максимальной утилизации низкопотенциального тепла, пара и горячей воды в технологическом процессе.

Аппаратурная технологическая схема производства K_2SO_4 на основе ФГ и KCl приведена на рисунке.

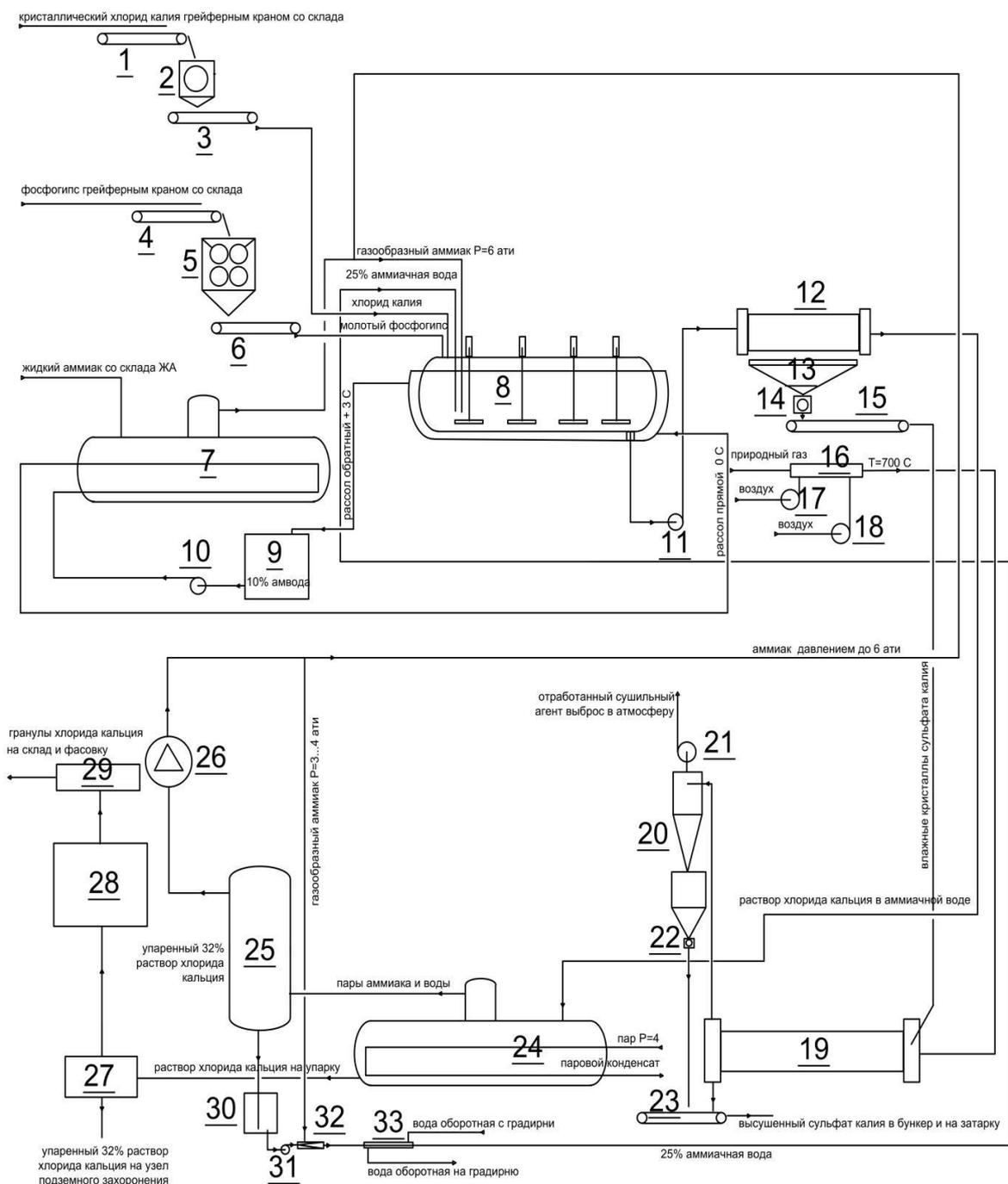


Рис. Аппаратурная технологическая схема производства K_2SO_4 на основе ФГ и KCl : 1, 3, 4, 6, 15, 23 – ленточный конвейер; 2 – молотковая дробилка; 5 – двухуровневая двухвальная дробилка; 7 – испаритель жидкого аммиака; 8 – реактор автоклавного типа с вертикальными турбинными мешалками и рубашкой охлаждения; 9 – сборник рассола; 10 – циркуляционный насос; 11 – абразивно-химический насос; 12 – фильтр-пресс рамный; 13 – бункер влажного сульфата калия; 14 – роторный питатель; 16 – газовый калорифер;

17 – вентилятор подачи воздуха на сжигание природного газа;
18 – вентилятор подачи воздуха на разбавление топочных газов;
19 – барабанная сушилка прямоточная; 20 – циклон с бункером;
21 – вытяжной вентилятор; 22 – роторный питатель; 24 – испаритель аммиака из фильтрата; 25 – сепаратор капельной влаги; 26 – ротационный компрессор аммиака; 27 – вакуумный выпарной аппарат хлорида кальция;
28 – распылительная сушилка хлорида кальция; 29 – турболопастной гранулятор хлорида кальция; 30 – сборник сконденсировавшейся аммиачной воды; 31 – насос; 32 – эжектор смешения; 33 – холодильник труба в трубе.

ФГ завозится на предприятие автомобильным транспортом, флотационный KCl – железнодорожными вагонами. Оба компонента поступают на склад, оборудованный грейферным краном. Жидкий NH_3 транспортируется железнодорожными цистернами и выгружается в шаровые резервуары под давлением. KCl и ФГ измельчаются в дробилках (2, 5) до фракции 1 мм и менее и подаются ленточными конвейерами непрерывного действия (1, 4) в реактор автоклавного типа с вертикальными турбинными мешалками и рубашкой охлаждения (8). Необходимость применения автоклава для проведения конверсии обусловлена использованием в процессе 40% водного раствора NH_3 . Соответствующий раствор в интервале температур 0–30 °С может существовать только под давлением 2–5 ата. Для автоклавного реактора конверсии принимаем следующие параметры: рабочее давление: 4 ата; рабочая температура: 5–15 °С. Автоклав оборудован рубашкой охлаждения обратным рассолом в виде 10% аммиачной воды. Охлаждение рассола осуществляется в испарителе жидким аммиаком. Испаренный NH_3 направляется на получение 40% аммиачной воды в автоклаве с рубашкой охлаждения при повышенном давлении. Поток NH_3 закольцовывается в технологическом процессе. Технологические потери NH_3 будут компенсироваться подпиткой со склада жидкого аммиака.

Принимаем, что время пребывания реагентов в автоклаве составляет 60 минут; рабочий объем автоклава – 12 м³; производительность – 1 т/час конвертируемого фосфогипса.

При смешении 1000 кг CaSO_4 и 1324 кг KCl (120% от стехиометрического расчета) на фоне 4000 кг аммиака (или 10000 кг 40% водного раствора NH_3) на выходе будет получено 1177 кг кристаллического K_2SO_4 (содержание основного вещества: 92%) и 757 кг CaCl_2 (в растворе). Содержание твердой фазы в пульпе составит 13–15% масс, массовая доля CaSO_4 – около 7%. Содержащая кристаллическую фазу пульпа подается абразивно-химическим насосом (11) на фильтр-пресс (12). На 1 т/час кристаллического K_2SO_4 требуется 24 м² поверхности фильтр-пресса при давлении 5 ати.

Полученный на фильтр-прессе влажный кек K_2SO_4 с примесью CaSO_4 выгружается в бункер (13) и подается роторным питателем (14) на прямоточную барабанную сушилку (19). Прямой сушильный агент после газового калорифера принимается с температурой 700 °С, поэтому процесс сушки идет

быстро. Высушенный продукт может быть использован в качестве самостоятельного K₂S-удобрения или переработан в комплексное NPKS гранулированное удобрение путем смешивания с упаренным раствором фосфатов и NH₄NO₃ с последующим гранулированием смеси в барабанном грануляторе-сушилке.

Фильтрат, содержащий CaCl₂ и NH₃, направляется в испаритель для отгонки аммиака (24). Нагрев испарителя осуществляется подаваемым в рубашку паром. Продукты отгонки направляются в полый сепаратор (25) для отделения капельной влаги и паров NH₃ с водой. Пары NH₃ с водой сжимаются центробежным компрессором (26) до давления 6 ати и возвращаются в автоклав (8). Отсепарированная капельная влага донасыщается возвратным NH₃ и в виде возвратной аммиачной воды также поступает в автоклав (8).

После отгонки NH₃ раствор CaCl₂ направляется на вакуум-выпарной аппарат (27), в котором массовая доля CaCl₂ повышается до 40%. Концентрированный раствор CaCl₂ подается на распылительную сушилку (28). Получаемый кристаллический продукт (кристаллогидраты CaCl₂) гранулируется, охлаждается, фасуется в биг-беги и используется в качестве антигололедного реагента. В период отсутствия спроса на соответствующие реагенты, концентрированный раствор CaCl₂ (с массовой долей не менее 30%) может захораниваться на специализированных полигонах (закачиваться в подземные поглощающие горизонты) в соответствии с СТО Газпром 18-2005 и ГОСТР 57817–2017. Детализация технологического процесса рациональной утилизации побочного CaCl₂ должна выполняться в контексте возможностей промышленной площадки конкретного завода.

Переработки ФГ в K₂SO₄ в соответствии с описанной аппаратурной схемой может быть осуществлена на типовом оборудовании отечественного производства. Из импортного оборудования потребуется только автоклав с мешалками и рубашкой охлаждения. Соответствующие автоклавы в настоящее время производятся в КНР.

Снижению себестоимости получаемого K₂SO₄ и повышению эффективности производства могут способствовать следующие условия:

- низкая стоимость ФГ;
- размещение производства на промышленных площадках заводов комплексных минеральных удобрений, позволяющее использовать склады хлорида калия, жидкого аммиака, пар от котельной, оборотную воду от градирни, электроэнергию от существующих подстанций, то есть действующие инженерные сети;
- использование заводских низкопотенциальных паров давлением до 7 ати в технологическом процессе отгонки аммиака из фильтрата CaCl₂, позволяющее утилизировать указанные пары более эффективно;
- возможность реализации побочного продукта производства – CaCl₂.

Получение K₂SO₄ по предлагаемой в настоящей статье технологии можно рассматривать в качестве альтернативы реализуемому в КНР на предприятии Lubei методу разложения ФГ в цементных барабанных печах с полу-

чением клинкер цемента и возвратной серной кислоты (<http://www.lubei.com.cn/product-6830-5654-9685.html>), которая повторно используется для вскрытия фосфорита.

Библиографический список

1. Jia R., Wang Q., Luo T. Reuse of phosphogypsum as hemihydrate gypsum: The negative effect and content control of H_3PO_4 // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. No. 174. P. 105830. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105830
2. Gypsum production worldwide from 2010 to 2021. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/1006964/global-gypsum-production/> (дата обращения 10.10.2022).
3. Radiation Protection and Management of NORM Residues in the Phosphate Industry // IAEA Safety Report Series. 2013. No. 78. 288 p.
4. Гончаров В. М., Скориков С. В. Проблемы и пути утилизации фосфогипса с разработкой эффективных технологий и новых стройматериалов с соответствующими потребительскими характеристиками // *Евразийский Союз Ученых*. 2014. № 7–1. С. 50–52.
5. Абраменко А. А., Буймарова Т. К., Соловьева Е. А. Энергоэффективная комплексная технология переработки фосфогипса // *Инновационные, информационные и коммуникационные технологии*. 2018. № 1. С. 618–621.
6. Мещеряков Ю. Г., Федоров С. В. Проблемы промышленной переработки фосфогипса в РФ, состояние и перспективы // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 6–2. С. 273–276.
7. Получение сульфата калия путем конверсии фосфогипса и хлорида калия в аммиачном растворе / И. И. Гончарик, З. А. Готто, А. Л. Навныко, Н. В. Колбун // *Журнал прикладной химии*. 2020. Т. 93. Вып. 3. С. 341–346. doi: 10.31857/S0044461820030056.
8. Ennaciri Y., Bettach M., El Alaoui-Belghiti H. Phosphogypsum conversion into calcium fluoride and sodium sulfate // *Ann. Chim. Sci. Matériaux*. 2020. No. 44. P. 407–412. doi: 10.18280/acsm.440606
9. Conversion of phosphogypsum to potassium sulfate, Part I. The effect of temperature on the solubility of calcium sulfate in concentrated aqueous chloride solutions / A. Aagli, N. Tamer, A. Atbir, L. Boukbir, M. El Hadek // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2005. Vol. 82. P. 395–399. doi: 10.1007/s10973-005-0908-y

ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФОРИТОВ ВЯТСКО-КАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ В ПОЧВЕ ВОДОРАСТВОРИМОГО КАЛИЯ

Н. В. Сырчина¹, Н. Н. Иванова², С. Г. Скугорева³

¹ *Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

² *ЗАО «НПП «Факмакс», bogatyreva_n1994@mail.ru*

³ *ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, skugoreva@mail.ru*

Внесение глауконитсодержащих хвостов обогащения фосфоритов (ХО) в почву приводит к повышению содержания наиболее доступных для растений водорастворимых форм калия (K_{BR}). Эффект накопления К в почвенном растворе развивается во времени. Результаты исследований свидетельствуют о целесообразности использования ХО в сельском хозяйстве в качестве натуральных бесхлорных калийных удобрений пролонгированного действия.

Ключевые слова: фосфориты, хвосты обогащения фосфоритов, калийные удобрения, натуральные удобрения, органическое земледелие.

Фосфоритовые руды Вятско-Камского месторождения являются перспективным сырьем для производства минеральных и органоминеральных удобрений для органического земледелия [1–3]. Агрохимическую ценность представляют такие компоненты руды, как богатые фосфором желваковые фосфориты и содержащие калий глаукониты [4]. Массовая доля калия в верхнекамских глауконитах составляет 4,7–6,4% [5].

До настоящего времени добываемые на месторождении фосфориты использовали для производства дешевого фосфорного удобрения – фосфоритной муки (ФМ). Глаукониты в составе пустой породы сбрасывали в хвостохранилище [6]. Особенностью вятскокамских фосфоритов является образование трудноразделимых сростков с другими минералами, в том числе с глауконитами, благодаря чему часть глауконитов при размоле попадает в ФМ, а часть фосфатных материалов – в пустую породу. В настоящее время добычные работы на Вятско-Камском месторождении не ведутся, однако расширение масштабов почвосберегающего и органического земледелия должно вернуть интерес к добыче и комплексной переработке соответствующей руды [7].

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния ФМ, а также натуральных и молотых глауконитсодержащих хвостов обогащения фосфоритов на содержание водорастворимого калия в почве.

Калий входит в число основных элементов минерального питания растений. Согласно классификации И. Г. Важенина и Г. И. Карасевой, в почвах выделяют 4 основные формы калия: калий почвенного раствора (водорастворимый); обменный; необменный; минеральный (структурный). Водорастворимый калий ($K_{вр}$) является наиболее доступной формой для поглощения корневой системой растений.

Экспериментальные исследования влияния ФМ, натуральных (НХ) и молотых (МХ) глауконитсодержащих ХО на содержание $K_{вр}$ в почве проводили в лабораторных условиях. Химический состав МХ был аналогичен НХ. Массовая доля K_2O в ФМ – 0,8%; в НХ и МХ – 3,7%. Содержание глауконита в НХ и МХ – $62 \pm 5\%$.

Варианты эксперимента: 1) почва без добавок (контроль); 2) почва + ФМ; 3) почва + НХ; 4) почва + МХ. Все добавки вносили в норме 0,25 г на 1 кг воздушно сухой почвы. Образцы почвы (легкий суглинок) для проведения исследований отбирали на пахотном поле с глубины 0–25 см. Данные о свойствах почвы приведены в таблице 1.

Почву с добавками тщательно перемешивали, помещали в пластиковые контейнеры, увлажняли деионизированной водой до влажности 60%, накрывали микроперфорированной полипропиленовой пленкой и выдерживали в течение всего эксперимента при температуре 21 ± 2 °С в условиях естественного освещения. Отбор и анализ проб проводили 2 раза: через 14 и 28 суток по-

сле внесения добавок. Содержание K_{BR} в почве без добавок составляло $1,8 \pm 0,4$ мг/кг.

Таблица 1

Свойства почвы

№	Показатели	Значение	Метод определения
1	pH_{KCl} , ед. pH	$6,1 \pm 0,1$	ГОСТ 26483-85
2	Органическое вещество, %	$2,8 \pm 0,7$	Метод Тюрина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26213
3	Подвижные соединения фосфора (P_2O_5), мг/кг	45 ± 9	Фотометрический метод в соответствии с ГОСТ Р 54650
4	Обменный калий (K_2O), мг/кг	105 ± 16	Фотометрический по ГОСТ 26210-91

Содержание K_{BR} определяли методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» в почвенной вытяжке при соотношении почва : деионизированная вода 1 : 5, затем пересчитывали содержание ионов K^+ на сухую почву. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Содержание ионов калия в водной вытяжке из почвы

Вариант эксперимента	Содержание K^+ , мг/кг	
	через 14 суток	через 28 суток
1 (Контроль)	$1,8 \pm 0,4$	$1,9 \pm 0,8$
2 (Почва + ФМ)	$3,3 \pm 0,7^*$	$2,4 \pm 0,5$
3 (Почва + НХ)	$3,3 \pm 0,7$	$4,3 \pm 0,9$
4 (Почва + МХ)	$3,7 \pm 0,8$	$3,9 \pm 0,9$

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

Согласно полученным результатам, через 14 дней после начала эксперимента все добавки привели к статистически значимому увеличению содержания K^+ в водной вытяжке из почвы по сравнению с контролем. Значимых различий между добавками выявлено не было. Через 28 суток содержание K_{BR} в варианте с добавкой ФМ снизилось, а в вариантах с добавками НХ и МХ продолжало повышаться. Соответствующий эффект может быть обусловлен более высоким содержанием К в НХ и МХ по сравнению с ФМ.

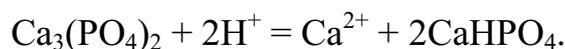
Переход K^+ в раствор при внесении добавок НХ и МХ в почву можно объяснить обменным вытеснением соответствующих катионов из глауконита ионами Ca^{2+} . В таблице 3 приведены данные о влиянии добавок на содержание ионов Ca^{2+} в водной вытяжке.

Таблица 3

Содержание ионов Ca^{2+} в водной вытяжке из почвы

Вариант эксперимента	Содержание Ca^{2+} , мг/кг	
	через 14 суток	через 28 суток
1 (Контроль)	110 ± 11	114 ± 11
2 (Почва + ФМ)	121 ± 12	134 ± 13
3 (Почва + НХ)	100 ± 10	98 ± 10
4 (Почва + МХ)	98 ± 12	98 ± 12

Согласно приведенным в таблице 3 данным, при внесении в почву NH и MX наблюдается тенденция к снижению содержания водорастворимого Ca²⁺. Внесение ФМ приводит к увеличению содержания Ca²⁺ в растворе, что обусловлено переходом фосфатов в гидрофосфаты в присутствии почвенных кислот:



Результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что глауконитсодержащие ХО Вятско-Камского месторождения могут найти применение в качестве калийных удобрений пролонгированного действия. При внесении традиционных водорастворимых калийных удобрений (KCl, K₂SO₄ и др.) в почву наблюдается быстрый переход ионов K⁺ из водного раствора в связанное состояние. Закрепление калия в почве снижает эффективность соответствующих удобрений и приводит к дополнительным материальным затратам. В этом отношении глауконитсодержащие ХО имеют существенные преимущества.

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 // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 102–106. doi: 10.25750/1995-4301-2021-2-102-106
2. Перспективы использования хвостов обогащения фосфоритов в качестве удобрений для органического земледелия / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 160–166. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-160-166
3. 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.
4. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние хвостов обогащения фосфоритов, используемых в качестве удобрения, на почвенные альгоцианобактериальные сообщества // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 174–180. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-174-180
5. Глаукониты Вятско-Камского фосфоритоносного бассейна / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырева, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 117–122. doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-117-122
6. Сырчина Н. В., Козвонин В. А., Сазанов А. В. Глауконитовые пески Вятско-Камского месторождения и перспективы их практического использования в сельском хозяйстве // Почвы России: вчера, сегодня, завтра : сб. статей по материалам Всерос. с междунар. участием науч. конф., посвящ. году экологии и 90-летию со дня рождения проф. В. В. Тюлина. Киров : ВятГУ, 2017. С. 108–113.
7. 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 // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 102–108. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-102-108
8. Химический состав и перспективы использования хвостов обогащения верхнекамского фосфоритного рудника в органическом земледелии / А. Г. Торская, Д. Б. Гуров, Н. В. Сырчина, Н. Н. Богатырёва // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. Кн. 1. Киров : ВятГУ, 2020. С. 48–53.

РЕЦИКЛИНГ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ ХИМИЧЕСКОГО НИКЕЛИРОВАНИЯ

Н. Е. Суксин, М. А. Шумилова

*Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
suxin@udman.ru, shumilovama@udman.ru*

Предложен реагентный метод утилизации отработанных растворов химического никелирования с приготовлением рабочих растворов на основе полученных гидроксида и оксида никеля. Соответствие произведенных электролитов технологическим требованиям устанавливали по качеству нанесенного никелевого покрытия.

Ключевые слова: отработанный раствор химического никелирования, рециклинг, гидроксид никеля, оксид никеля.

В настоящее время процессы химического никелирования в слабокислых растворах получили широкое распространение, поскольку позволяют получать качественные (технические и декоративные) покрытия на разных типах материалов [1]. Однако в процессе никелирования образуются достаточно концентрированные жидкие отходы, содержащие от 3 до 20 г/дм³ ионов никеля. Согласно литературным данным [2], установка производительностью 1000 м²/год при средней толщине покрытия 18 мкм с отработанными растворами гальванического никелирования теряет 105 кг никеля. В связи с этим исследования по совершенствованию технологий и методов извлечения никеля из отходов гальванических производств являются актуальной научной и практической задачей. Известно, что утилизацию никельсодержащих отходов осуществляют различными методами: осаждение в виде малорастворимых соединений [3, 4], выделение в ходе ионного обмена [5, 6], сорбцией [7, 8], цементацией [9], совместными электрохимическим и экстракционным методами [10], автокатализом [11]. Однако для выполнения большинства методик требуется дорогостоящее оборудование и проведение сложных технологических процессов.

Целью данной работы является поиск доступных решений по применению простого и экономичного реагентного метода утилизации никельсодержащих отходов, осуществляемых при минимальных затратах и позволяющих провести эффективную очистку отработанных растворов ионов никеля с извлечением ценного металла.

Изучение процесса утилизации проводилось на основе отработанного раствора химического никелирования (ОРХН) одного из промышленных предприятий Удмуртии, применяющего серноокислотное никелирование. Состав рабочего раствора никелирования приведен в таблице 1. Для извлечения из ОРХН ионов никеля в виде осадка использовали 10% раствор NaOH. Гидроксид натрия был выбран в качестве осадителя, поскольку гидроксид никеля

характеризуется одним из самых низких значений произведения растворимости для соединений никеля [12], обеспечивая наиболее полное выделение Ni^{2+} из ОРХН. Исходную и остаточную концентрацию ионов никеля в исследуемых растворах определяли прямым трилонометрическим титрованием ионов металла в присутствии мурексида.

Таблица 1

Состав рабочего раствора химического никелирования (рН 4~5)

Компонент	Содержание, г/дм ³
NiSO_4	20–30
NaH_2PO_3	25–30
CH_3COONa	10–15
CH_3COOH	5–10
$\text{CS}(\text{NH}_2)_2$	0,001–0,0005

Произвести теоретический расчет необходимого количества щелочи для полного осаждения ионов металла из ОРХН не представляется возможным из-за присутствия в растворе уксусной кислоты и фосфитов, которые также вступают в реакцию со щелочью. Для выбора оптимальной величины рН и определения количества осадителя, позволяющего осуществить наиболее полное осаждение ионов никеля, было произведено потенциометрическое титрование ОРХН 10%-ным раствором гидроксида натрия. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Извлечение ионов Ni^{2+} из ОРХН в зависимости от рН

рН	9	10	11	12
$C_{\text{остаточная}}$, г/дм ³	0,2252	0,2236	0,0895	0,0324
Степень извлечения, %	93,13	93,18	97,27	99,01

На основании полученных данных установлено, что практически полное извлечение ионов никеля происходит при рН 12. Таким образом, определённый экспериментальным путем расход щёлочи для доведения 1 м³ ОРХН до рН 12 составляет 19 кг NaOH.

Осадки гидроксида никеля, полученные при разных значениях рН, были идентифицированы с помощью ИК-спектроскопии. Наличие широких полос поглощения в области волновых чисел 3400 см⁻¹ соответствует валентным колебаниям ОН-групп молекул воды, связанных водородными связями, и характерны для α -модификации $\text{Ni}(\text{OH})_2$, содержащей в межслоевом пространстве молекулы воды. Большая интенсивность полосы в области 1576 см⁻¹ свидетельствует о значительном количестве неструктурной воды в полученных осадках, при этом зафиксирован острый узкий максимум при 3640 см⁻¹, относящийся к колебаниям ОН-ионов, не связанных водородной связью, и характерный для β - $\text{Ni}(\text{OH})_2$. На спектрах также зафиксированы деформационные колебания $\delta(\text{Ni}-\text{O}-\text{H})$ при 515 см⁻¹, характерные для α -формы гидроксида никеля.

Для выяснения характера процессов, происходящих при термической обработке полученных осадков, проведено их исследование методом дифференциального термического анализа (ДТА). При температуре ≈ 230 °С зафиксирован значительный эндотермический эффект, соответствующий дегидратации гидроксида никеля, потеря массы образца составляет 20,1%. Полученный чёрный дисперсный порошок оксида никеля был также исследован методом ИК-спектроскопии. Полоса при 457 см^{-1} соответствует валентным колебаниям связи Ni-O. Полоса поглощения 1446 см^{-1} свидетельствует о присутствии в составе осадка карбонат-ионов, обусловленных внесением данных ионов в качестве примесей с раствором гидроксида натрия. В спектре исследуемого образца, несмотря на термообработку, наблюдаются полосы воды 1633 см^{-1} и 3447 см^{-1} , принадлежащие её деформационным и валентным колебаниям соответственно. Таким образом, проведённые исследования показали, что полученные соединения никеля обладают достаточной чистотой для приготовления исходных растворов химического никелирования.

На основании проведенных исследований предложен следующий вариант переработки ОРХН: осаждение ОРХН в виде осадка гидроксида никеля при pH 12 небольшими порциями 10%-ного раствора гидроксида натрия при комнатной температуре и постоянном перемешивании. Пятикратная декантация осадка и его тщательная промывка на фильтре «синяя лента». Для улучшения качества регенерируемого электролита и уменьшения расхода реагента серной кислоты в осадок предварительно добавляли раствор комплексообразователя – ацетата натрия в количестве, соответствующем его концентрации в исходном растворе химического никелирования (РХН). В рамках совершенствования технологической схемы утилизации ОРХН промытый и подсушенный осадок гидроксида никеля переводили в оксид, нагревая в муфельной печи LOIP LF (Россия) при температуре 500 °С до постоянной массы. К полученному оксиду также сначала добавляли расчётное количество комплексообразователя, а затем – все остальные компоненты РХН.

Для оценки качества РХН, приготовленных двумя способами, в них были помещены латунные изделия на два часа при постоянном перемешивании и нагреве 90 °С. Толщина никелевого покрытия, измеренная на металлографическом микроскопе МЕТАМ Р-1(Россия), в растворе, приготовленном из гидроксида, равнялась 12,8 мкм, а из оксида – 16,0 мкм. Следовательно, более эффективной является утилизация ОРХН до оксида никеля с последующим получением из него востребованных продуктов с добавленной стоимостью, в частности РХН.

Предлагаемая схема утилизации ОРХН реагентным методом позволяет решить проблему обращения с отходами гальванического производства, снижая негативное воздействие на окружающую среду, получая при этом востребованные товарные продукты – гидроксид и оксид никеля, широко применяемые в различных производствах.

Библиографический список

1. Вышенков С. А. Химические и электрохимические способы осаждения металлопокрытий. М. : Машиностроение, 2005. 273 с.
2. Лобанова Л. Л., Баталова Е. В., Хранилов Ю. П. Реагентные технологии утилизации никеля из отработанных растворов химического никелирования // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81, № 2. С. 213–217.
3. Ашуйко В. А., Кандидатова И. Н., Новикова Л. Н. Получение никельсодержащих пигментов осаждением из отработанных электролитов никелирования // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических материалов и веществ. 2015. № 3. С.127–131.
4. Чепрасова В. И., Залыгина О. С. Отработанные электролиты никелирования как вторичный сырьевой ресурс // Природные ресурсы. 2017. № 2. С. 126–133.
5. Хазель М. Ю., Лют Петер, Зародин Г. С. Способ извлечения никеля из отработанных растворов гальванических производств // Патент RU 2 125 105 С1. Заявление: 96123204/02, 12.06. 1996. Дата публикации: 1999.01.20.
6. Хазель М. Ю. Процессы комплексообразования в фазе полиамфолитов при сорбции ионов никеля из сложных многокомпонентных растворов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Химия. Биология. Фармация. 2008. № 1. С. 55–63.
7. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство. М. : Глобус, 2002. 352 с.
8. Кузьмин Д. В., Кузьмин В. И. Сорбция цветных металлов из пульп хелатонами // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2013. Т.6, №2. С. 151–157.
9. Ковчур А. С., Москалец Р. А. Применение металлической струи для цементационного извлечения никеля из отходов гальванических производств // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2011. Т. 21. С. 107–113.
10. Разработка процесса регенерации и утилизации отработанных растворов химического никелирования / А. Ф. Губин, В. Ю. Гусев, В. А. Колесников, В. В. Ильин // Химия и химическое производство. 2010. № 2. С. 74–77.
11. Шмель И. Г., Останин А. Н. Физико-химические основы автокаталитического осаждения никеля из отработанных растворов химического никелирования // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 11 (65). С. 87–91. doi: 10.23670/IRJ.2017.65.005
12. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М. : Химия, 1979. 480 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТ ПО РАЗРАБОТКЕ УЧАСТКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПО ОБРАБОТКЕ, УТИЛИЗАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ОТХОДОВ I И II КЛАССОВ ОПАСНОСТИ «ГОРНЫЙ», «МАРАДЫКОВСКИЙ», «ЩУЧЬЕ», «КАМБАРКА»

***В. А. Бродский, Д. А. Сахаров, А. В. Колесников, П. Н. Кисиленко,
А. Р. Яворский***

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

Представлены данные по реализации технических и технологических решений для участка физико-химической обработки производственно-технических комплексов (ПТК) «Горный», «Марадыковский», «Щучье» и «Камбарка», разработанных в Российском химико-технологическом универ-

ситете имени Д. И. Менделеева. Приведены основные технические решения, ключевые этапы реализации проекта и достигнутые результаты. Показано, что совместное использование современных физико-химических методов (химических, электрохимических, мембранных, сорбционных) позволяют проводить утилизацию и обезвреживание техногенных отходов I и II классов опасности с получением товарной продукции, при этом эффективность извлечения токсичных компонентов из жидких отходов достигает 99 %.

Ключевые слова: техногенные отходы, жидкие отходы, утилизация, обезвреживание, переработка, экология.

В настоящее время примерная общая площадь всех российских свалок – более 4 млн га. Ежегодный прирост оценивается примерно на уровне 10% от этой величины, около 0,4 млн га. Это соответствует практически общей площади Москвы и С.-Петербурга. В соответствии с докладом Президента РФ, в настоящее время в России накоплено около 100 млрд т бытовых и производственных отходов, которые занимают порядка 4 млн га. Деятельность промышленных предприятий приводит к ежегодному увеличению количества твёрдых техногенных отходов более чем на 5 млрд т. Суммарно, на наиболее токсичные отходы I и II Класса опасности приходится около 0,02% от общего количества накопленных отходов, что в численном выражении на 2020 год составляет 12 тыс. т отходов I класса и 182 тыс. т отходов II класса по данным Росстата [1].

Таким образом, возникла острая необходимость в переработке отходов I и II классов опасности. При этом было выдвинуто требование к переработке – обезвреживание отходов до соединений IV или V классов и получение продукции с повышенной добавленной стоимостью. В соответствии с паспортом национального проекта «Экология» и федеральным проектом «Инфраструктура для обращения с отходами I и II классов опасности» [2, 3], реализация проекта возложена на Госкорпорацию «Росатом». К выполнению проекта, в рамках сотрудничества с ФГУП ФЭО привлечены специалисты Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева (РХТУ).

Объектами применения разработанных технологий являются сточные воды и отработанные технологические растворы гальванических производств, участков и цехов электрохимической размерной обработки, производств печатных плат электронной техники, полупроводниковых материалов, изделий из металла (обработка поверхности), химических источников энергии, а так же предприятий горнорудной, металлургической и обрабатывающей отраслей в целом. Представленные предприятия – источники загрязнения окружающей среды тяжёлыми и цветными металлами, концентрированными растворами электролитов, комплексообразователями, органическими веществами.

Специалисты РХТУ разработали, испытали и внедрили целый ряд систем регенерации отработанных растворов травления черных и цветных металлов, высокотоксичных электролитов хромирования и кадмирования, рас-

творов травления печатных плат. Разрабатываются системы улавливания и возврата в технологические процессы ценных компонентов, системы очистки и возврата в производственный цикл воды. Решения защищены патентами РФ (табл.).

Таблица

Запатентованные технические решения по очистке и утилизации жидких техногенных отходов I и II классов опасности

Номер патента	Название
Патент на полезную модель № 192215 от 05.01.2019	Устройство для очистки жидких отходов электрофлотационным и ионообменным методами
Патент на изобретение № 2700532 от 21.03.2019	Способ экстракции ионов меди (II) из медно-аммиачных водных растворов
Патент на изобретение № 2677583 от 16.02.2018	Способ регенерации медно-хлоридного травильного раствора
Патент на полезную модель № 185094 от 13.10.2017	Устройство для извлечения ионов меди из аммиачных сред методом мембранной жидкостной экстракции
Патент на изобретение № 2603522 от 27.11.2016	Способ электромембранной регенерации раствора снятия кадмиевых покрытий и устройство для его осуществления
Патент на полезную модель № 172690 от 26.07.2016	Устройство для электрофлотомембранной очистки сточных вод от органических загрязнений с коррекцией кислотности среды
Патент на изобретение № 2610864 от 16.11.2015	Способ извлечения ионов церия (IV) из водных растворов

Примеры практической реализации разработанных технологий и технических решений представлены на рисунках 1 и 2.

Разработана концепция обезвреживания и утилизации отходов I-II класса опасности, включающая 2 основные задачи:

Задача 1 – «Безопасность отходов», направлена на решение экологических проблем и включает шесть направлений:

- Уменьшение объёма жидких отходов;
- Перевод растворимых соединений в нерастворимые осадки;
- Перевод отходов I и II класса в IV класс;
- Концентрирование солевых компонентов;
- Обезвреживание электролитов с комплексообразователями и лигандами;
- Организация замкнутых систем (водооборот, вторичное использование реагентов).

Задача 2 – «Вторичные ресурсы», направлена на выделение ценных компонентов из отходов и включает четыре направления:

- Анализ вторичных ресурсов (объём, состав, поставки);
- Утилизация цветных металлов (Cu, Ag и др.);
- Утилизация смеси оксидов (Fe, Al, Ni, Cr и др.);

– Утилизация солевых концентратов (хлориды, сульфаты, нитраты).



Рис. 1. Участок переработки кислотно-щелочных, хром и циан-содержащих сточных вод: а – общий вид; б – электрофлотатор (разработчик П. Н. Кисиленко)



Рис. 2. Установка для переработки медно-аммиачных растворов травления печатных плат (технология SX-EW): а – общий вид; б – электролизёр для выделения меди (разработчик А. Ф. Губин)

Предложены основные технические решения:

1. Переработка жидких отходов: кислотно-щелочные отходы нейтрализуют растворами кислот и щелочей с термическим переводом гидроксидов металлов в форму нерастворимых оксидов; хромсодержащие отходы нейтрализуются восстановителями с термическим переводом гидроксида хрома (III) в форму нерастворимых оксидов; циансодержащие отходы нейтрализуются окислителями с термическим переводом гидроксидов металлов в форму нерастворимых оксидов; растворы с органическим компонентом сепарируются с отделением нерастворимой органической фазы, водная фаза подвергается сорбционной очистке для извлечения растворимых органических компонентов, органическая фаза и сорбент сжигаются; растворы с комплексообразова-

телями нейтрализуют окислителями или восстановителями с последующим переводом комплексных соединений в осадок и термическим обезвреживанием с получением нерастворимых оксидов.

2. Переработка медно-аммиачных растворов осуществляется методом жидкостная экстракция – электролиз (технология SX-EW) с получением металлической меди или медного купороса, сульфата аммония и хлорида аммония.

3. Переработка серебросодержащих отходов осуществляется методом цементации с получением металлического серебра.

4. Водоочистка и водоподготовка – методами напорной и микрофильтрации, сорбции и обратного осмоса.

При реализации представленных технических решений можно получить следующие основные продукты: аммоний хлористый (технический), натрия гипохлорит раствор водный (технический), медь металлическая (катодная), натрий хлористый раствор водный, натрий хлористый (соль техническая), оксиды цветных и тяжёлых металлов индивидуально и в смеси, натрия сульфат 10-водный (технический), серебросодержащий концентрат.

Предложенная схема отвечает современным требованиям к переработке отходов I и II классов опасности с получением вторичных продуктов (гидроксидов хрома (III)), пригодных для последующей переработки [4].

Путь переработки отходов I-II класса должен включать:

1. Приёмку и накопление – усреднение и анализ состава;
2. Химическую обработку (нейтрализация, окисление, восстановление, экстракция, электролиз, цементация);
3. Отделение дисперсной фазы (осаждение, фильтрация, центрифугирование, электрофлотация, декантация) от солевого концентрата;
4. Сушку осадка, термическую обработку дисперсной фазы с получением материалов IV класса;
5. Мембранное извлечение солевого компонента после отделения дисперсной фазы (обратный осмос);
6. Кристаллизацию солевого концентрата (выпаривание);
7. Организацию водооборота промышленного предприятия;
8. Складирование и реализацию продуктов переработки.

Этапы реализации проекта, выполненные при непосредственном участии РХТУ им. Д. И. Менделеева:

- Разработаны исходные данные для проектирования (2020 г.);
- Подготовлена документация на новую технику и технологии (2021 г.);
- Разработана Проектная документация (2021 г.);
- Документация прошла экспертизу ФАУ «Главгосэкспертиза» (2021 г.);
- Разработана Рабочая документация (2022 г.);
- Начало капитального строительства (2022 г.).

На рисунке 3 представлена 3D визуализация участка физико-химической обработки на примере ПТК «Камбарка» (Республика Удмуртия).

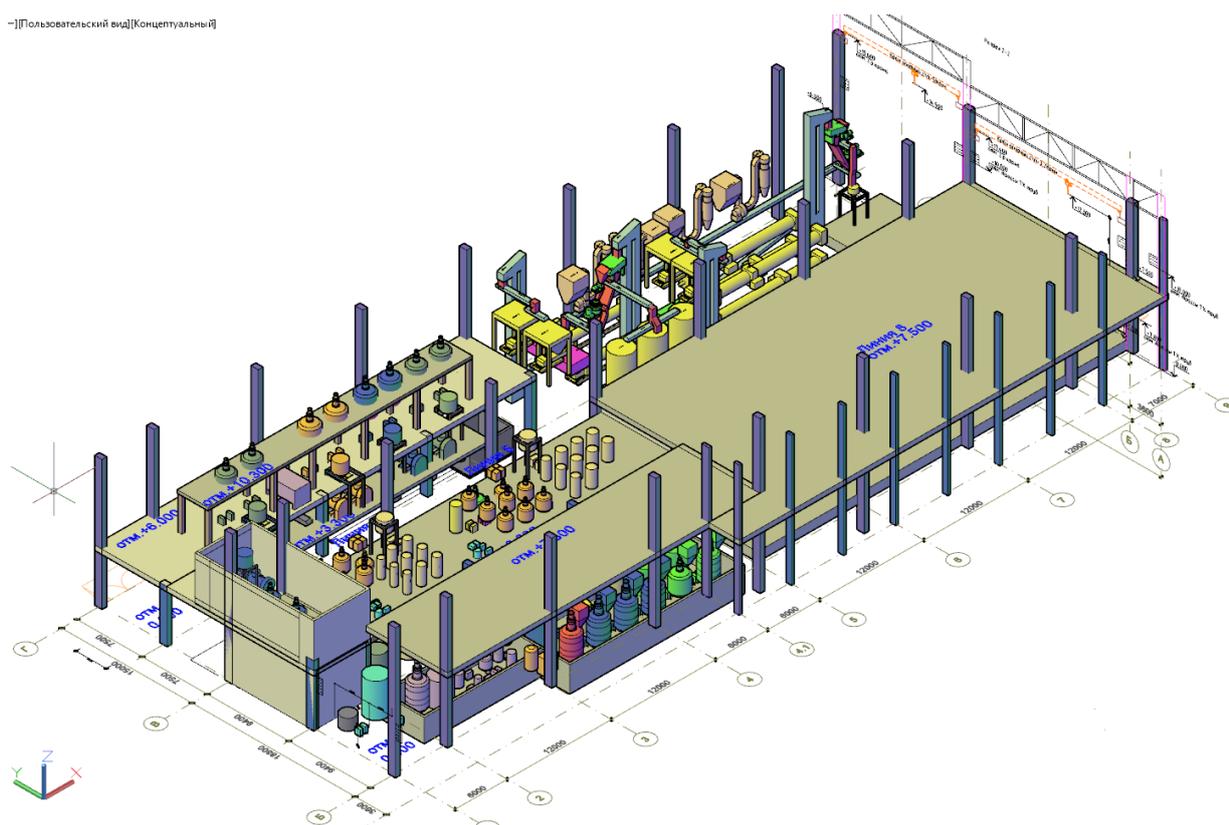


Рис. 3. 3D визуализация участка физико-химической обработки
ПТК «Камбарка»

Общая максимальная мощность участка физико-химической обработки жидких отходов I и II классов опасности достигает 24800 т/год при реализации всех технологических линий (данные варьируются для ПТК «Горный», «Марадыковский», «Щучье», «Камбарка» в зависимости от количества технологических линий).

РХТУ им. Д. И. Менделеева достигнуты следующие результаты в технологии, проектной и рабочей документации:

1. Архитектурные решения;
2. Конструктивные и объёмно-планировочные решения;
3. Инженерное оборудование, сети инженерно-технического обеспечения, инженерно-технические мероприятия, технологические решения (системы электроснабжения, водоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования, также тепловые сети, сети связи, и т.д.);
4. Системы газоснабжения;
5. Технологические решения;
6. Мероприятия по обеспечению энергетической эффективности;
7. Сметные расчёты;
8. Требования к обеспечению безопасной эксплуатации;
9. Автоматизированные системы управления технологическим процессом;

10. Управление производством и предприятием, организация труда работников;

11. Сметы на строительство объектов капитального строительства.

Работа выполнена при финансовой поддержке РХТУ им. Д.И. Менделеева в рамках ВИГ-2022-073.

Библиографический список

1 Основные показатели охраны окружающей среды. Статистический бюллетень. федеральная служба государственной статистики (Росстат). М., 2021. 110 с.

2. Паспорт национального проекта «Экология» (утвержден президиумом Совета при президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам от 24.12.2018 № 16) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_316096/ (дата обращения: 30.10.2022).

3. Федеральный проект «Инфраструктура для обращения с отходами I и II классов опасности» (постановление Правительства Российской Федерации от 30.04.2019 № 540) [Электронный ресурс]. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201905070009> (дата обращения: 30.10.2022).

4. Техногенные отходы I–II классов опасности – ресурс для получения вторичных продуктов / А. Г. Мажуга, В. А. Колесников, Д. А. Сахаров, М. В. Корольков // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4 С. 61–67. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-061-067

К ВОПРОСУ ОБ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ ОТ ДИХРОМАТ-ИОНОВ СОРБЕНТОМ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

*М. Г. Мухамедиев, Д. Ж. Бекчанов, С. Х. Ботиров,
Н. М. Кутлимуратов, Г. К. Бобожонова*

*Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека,
mtmukamediev@mail.ru*

Рассмотрена возможность удаления ионов Cr(VI) из сточных вод гальванических цехов ионообменным методом. Показано, что процесс адсорбции ионов Cr(VI) анионитами на основе поливинилхлорида предпочтительно протекает по закономерностям кинетической модели псевдо- второго порядка. Найденные значения DN^0 и ΔS^0 свидетельствует о протекании реакции ионного обмена между ионами Cr(VI) раствора и ионом Cl⁻ на сорбенте в процессе адсорбции.

Ключевые слова: анионит на основе ПВХ, ионы Cr(VI), адсорбция, кинетика, термодинамика

Ионообменные материалы на основе поливинилхлорида (ПВХ) широко используются в различных отраслях промышленности. Среди них гидрометаллургия, медицина и биотехнология, фармацевтическая промышленность и другие [1]. Ионообменные материалы получают путем взаимодействия гранулированного ПВХ с различными аминами, в частности

полиэтиленполиамином [2]. Одной из областей, которая широко использует подобные материалы, является экология. Особый интерес привлекает их использование в промышленной водоподготовке с целью получения обессоленной воды [3], а также в очистке сточных вод от токсичных ионов тяжёлых металлов [4]. Поливалентные металлы, например, хром, используются в основном в качестве легирующих добавок и антикоррозийных покрытий при производстве изделий из черных металлов. При этом в процессе покрытия изделий в гальванических цехах образуются сточные воды, содержащие хром и его соединения, особенно хроматы и дихроматы, которые токсичны для биоты.

При очистке сточных вод наиболее целесообразно использовать ионообменные методы, что также предполагает выделение ценных соединений хрома и их использование в последующем производстве [5].

Данные, приведённые в таблице 1, свидетельствуют о том, что процесс адсорбции дихромат-ионов адсорбентом на основе ПВХ протекает преимущественно по закономерностям кинетической модели псевдотортого порядка с величинами коэффициента детерминации ($R^2 = 0,857-0,999$) выше, чем для модели псевдопервого порядка.

Таблица 1

Кинетические параметры процесса сорбции дихромат-ионов адсорбентом на основе ПВХ

Исходная концентрация, моль/л	Псевдопервый порядок			Псевдотортого порядка			
	q_e , мг/г	k_1 (мин ⁻¹)	R^2	q_e , мг/г	k_2 , г/(мг · мин)	H , г/(мг · мин)	R^2
0,01	26,3	0,0076	0,846	24,6	0,00015	0,0367	0,8573
0,025	34,04	0,0062	0,849	37,7	0,00015	0,2157	0,9755
0,05	51,6	0,0071	0,941	56,8	0,00014	0,4664	0,9947
0,075	90,6	0,0087	0,895	80,0	0,00012	0,7814	0,9967
0,10	150,5	0,0096	0,839	117,6	0,00012	1,3477	0,9958
0,125	89,8	0,0069	0,909	175,4	0,00012	3,7341	0,9988
0,25	148,6	0,0092	0,892	232,5	0,00012	6,6578	0,9993

Положительное значение ΔH^0 свидетельствует об эндотермическом характере процесса адсорбции обычно наблюдаемом при ионном обмене, а значение энтропии системы (табл. 2) свидетельствует о протекании реакции ионного обмена на сорбенте.

Таблица 2

Изменение значения термодинамических функций в процессе сорбции дихромат-ионов адсорбентом на основе ПВХ

T, К	q_{max} , мг/г	R^2	ΔG , кДж/моль	ΔH , кДж/моль	ΔS , Дж/моль
293	194	0,9215	-3,28	16,63	67,97
303	203		-3,96		
313	218		-4,64		

Таким образом, проведённые исследования позволяют сделать вывод о возможности использования анионита на основе поливинилхлорида для удаления дихромат – ионов из водных растворов.

Библиографический список

1. Lieberzeit P., Bekchanov D., Mukhamediev M. Polyvinyl chloride modifications, properties, and applications: Review. Polym Adv Technol, 2022. P. 1–18. doi: 10.1002/pat.5656.
2. Mukhamediev M. G., Bekchanov D. Zh. New anion exchanger based on polyvinyl chloride and its application in industrial water treatment // Russ. J. Appl. Chem. 2019. Vol. 92. No. 11. P. 1499–1505. doi: 10.1134/S1070427219110053
3. A new sulfonic acid cation-exchange resin based on polyvinyl chloride and its evaluation in water softening / M. G. Mukhamediev, D. Z. Bekchanov, M. M. Juraev et al. // Russ. J. Appl. Chem. 2022. Vol. 94. No. 12. P. 1594–1601. doi: 10.1134/S1070427221120041
4. Sorption of cobalt (II) and chromium (III) ions to nitrogen- and sulfur-containing polyampholyte on the basis of polyvinylchloride / D. Bekchanov, H. Kawakita, M. Mukhamediev, S. Khushvaktov, M. Juraev // Polym. Adv. Technol. 2021. Vol. 32. P. 2700–2709. doi: 10.1002/pat.5209
5. Polyvinylchloride-based anion exchanger for efficient removal of chromium (VI) from aqueous solutions / D. Bekchanov, M. Mukhamediev, P. Lieberzeit, G. Babojonova, S. Botirov // Polym. Adv. Technol. 2021. P. 1–10. doi: 10.1002/pat.5403

РАБОТЫ КАФЕДРЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ВЯТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА В ОБЛАСТИ ПРИКЛАДНОЙ ЭКОЛОГИИ

*Ю. П. Хранилов, В. А. Лихачёв, Л. Л. Лобанова,
В. И. Мамаев, Т. В. Еремеева, И. Ю. Михайлова
Вятский государственный университет, khran-yurij@yandex.ru*

Проведён краткий обзор выполненных на кафедре ТЭП ВятГУ работ в области прикладной экологии (применительно к гальваническим производствам) по следующим разделам: внедрённые разработки; разработанные технологии; контакты с предприятиями; информационная работа; учебный процесс.

Ключевые слова: кафедра ТЭП, прикладная экология, внедрённые технологии, разработанные технологии.

Созданная в 1969 г. кафедра технологии электрохимических производств (ныне кафедра технологии неорганических веществ и электрохимических производств, с прежним сокращённым наименованием ТЭП) первые два десятилетия своей работы основное внимание уделяла подготовке специалистов и научным исследованиям в областях гальванотехники и химических источников тока. В конце 80-х годов прошлого века остро встали вопросы охраны окружающей среды, в связи с чем промышленность, наука и образование стали уделять повышенное внимание экологическим проблемам. Не осталась

в стороне и кафедра ТЭП, – во многом благодаря инициативному руководству профессора Шишкиной С.В., возглавлявшей кафедру с 1986 г. более 30 лет. Ниже приведён обзор работ кафедры по вопросам прикладной экологии.

Внедрённые разработки. В конце 80-х годов для автооператорной линии никелирования завода «Сельмаш» (г. Киров) доцентами В. А. Лихачёвым и В. И. Мамаевым была разработана установка возврата химикатов из ванн непроточной промывки в ванну покрытия [1]. Принцип её работы заключается в том, что на дозированную промывку покрытых деталей подаётся такое количество воды, которое испаряется с зеркала электролита ванны никелирования. В результате более 90% химикатов возвращается в ванну покрытия, а не сбрасывается в сточные воды. Установка была изготовлена и эксплуатировалась на заводе несколько лет.

В 1991 г. по хоздоговору с заводом ОЦМ (г. Киров) был спроектирован электролизёр (разработчики Ю. П. Хранилов, О. В. Носков, Т. В. Урванцева) для извлечения меди из травильного серноокислотного раствора. Сущность работы электролизёра заключалась в том, что сила тока была пропорциональна количеству стравливаемой в единицу времени с медного проката окалины. Это позволило избежать накопления меди в травильном растворе с последующим образованием солевого осадка и резко снизить расход химикатов на нейтрализацию отработанного травильного раствора. Электролизёр имел максимальную производительность до 30 тонн катодной меди в год. Извлечённая при электролизе медь использовалась в собственном производстве завода. Электролизёр эксплуатировался около 7 лет, до тех пор, пока травление окалины не было заменено её механическим удалением методом фрезерования.

В начале 2000-х годов для ОАО «Куприт» (г. Киров) была разработана технология переработки многочисленных отработанных технологических растворов гальванотехники, содержащих соединения шестивалентного хрома, в пигмент для лакокрасочной промышленности – свинцовый крон. Теоретические основы процесса были изучены в диссертационной работе Т. В. Горевой (Еремеевой) (руководитель Ю. П. Хранилов) [2]. Электролизёр для получения крона работал несколько лет в ОАО «Куприт»; впоследствии хромосодержащие отходы стали перерабатывать на железо-хромовый сурик.

Разработанные технологии. В диссертационной работе Л. Л. Лобановой (руководитель Ю. П. Хранилов) была разработана технология утилизации никеля из отработанных растворов химического никелирования, корректируемых для поддержания рН аммиаком [3]. Доказана возможность перевода соединений никеля последовательно в гидроксид, затем в сульфат, с последующим использованием для приготовления или корректировки раствора и получением качественных покрытий.

В диссертационной работе М. Н. Боброва (руководитель Ю. П. Хранилов) разработана технология получения меди высокой чистоты из отработанных медноаммиачных растворов травления печатных плат (или шламов этих растворов). Технология основана на обработке отходов щёлочью с подогре-

вом, в результате чего получается оксид меди (II), последующем растворении оксида в серной кислоте и электроэкстракции меди [4, 5].

В диссертационной работе И. Ю. Маслениковой (Михайловой) (руководитель профессор С. В. Шишкина) разработана технология электродиализной обработки раствора из ванны улавливания после цинкования в аммиачном электролите [6]. В результате такой обработки получается концентрированный по цинку раствор, которым компенсируется испарение воды в ванне цинкования, и обессоленный раствор с минимальным содержанием цинка, направляемый на очистные сооружения. Таким образом, уменьшается сброс цинка с промывными водами и уменьшается расход химикатов на очистку сточных вод. Лабораторная установка для электродиализа по данной технологии используется в лабораторном практикуме по «Экологии электрохимических производств».

Следует отметить, что: 1) все рассмотренные технологии разработаны на инициативной основе, без финансирования от возможных заинтересованных организаций; 2) при разработке технологий использовались реальные производственные растворы и отходы.

Контакты с предприятиями. В середине 90-х годов сотрудники кафедры ТЭП (С. В. Шишкина, В. И. Мамаев, Ю. П. Хранилов) совместно с главным технологом ОАО «Куприт» А. А. Жуковым провели по распоряжению городской администрации экологический аудит гальванических производств на большинстве предприятий г. Кирова. Уже в процессе посещения заводов обнаруживались отдельные нарушения экологических норм. Так, на одном из заводов В. И. Мамаевым было обнаружено, что детали детской коляски вместо цинка покрывались кадмием – металлом с повышенной токсичностью. По результатам аудита были высказаны конкретные предложения по работе цехов и очистных сооружений.

В 1999 г. во исполнение решения городской администрации кафедрой разработаны методика расчёта водопотребления в гальваническом производстве и методика балансового расчёта количества тяжёлых металлов в жидких и твёрдых отходах гальванического производства [7, 8]. Эти методики позволяют работникам гальванического производства: сопоставить реальный расход воды на промывные операции с технически обоснованным расходом и во многих случаях сократить водопотребление, что позволит снизить нагрузку на очистные сооружения; уменьшить расход воды на промывку, применяя относительно несложные технологические решения; оценить полноту использования тяжёлых металлов и их соединений в производстве; разработать систему внутривоздушных мероприятий, исключающих сверхнормативные сбросы тяжёлых металлов в окружающую среду. Разработанные методики были переданы на предприятия г. Кирова.

Информационная работа. Кафедра ТЭП с 1971 по 2012 гг. организовала и провела 15 Всесоюзных (Всероссийских) совещаний «Совершенствование технологии гальванических покрытий» с привлечением ведущих специалистов Советского Союза (с 1994 г. – России и стран СНГ) и с изданием тези-

сов докладов. И уже начиная с 1977 г. в материалах совещания публикуются работы по очистке сточных вод гальванических цехов. В материалах конференции 1989 г. из 28 работ по очистке и регенерации сточных вод 4 работы принадлежат сотрудникам кафедры ТЭП. За период с 1989 по 2012 гг. из опубликованных в материалах совещаний 741 работы 194 работы относились к вопросам экологии (в том числе 61 работа, выполненная сотрудниками кафедры ТЭП ВятГУ).

Учебный процесс. На кафедре ТЭП организован лабораторный практикум по «Экологии электрохимических производств», в рамках которого студенты выполняют лабораторные работы по ионному обмену, реагентной очистке, электродиализу и регенерации травильных растворов. При подготовке бакалавров читаются различные лекционные курсы экологической направленности (к сожалению, из-за постоянных изменений в учебных планах их перечисление затруднительно). В курсе «Оборудование гальванических производств» разработана отдельная тема «Совместное проектирование гальванических цехов и очистных сооружений». При подготовке магистров читается лекционный курс «Расчёт и конструирование оборудования для очистки стоков» и выполняется курсовой проект на тему «Проектирование электрокоагулятора». Электрокоагулятор – нестандартное оборудование, предназначенное для очистки стоков от соединений шестивалентного хрома.

При прохождении производственной практики студенты знакомятся с работой очистных сооружений предприятия, а при написании отчёта отдельный раздел посвящают этому вопросу.

При подготовке курсовых проектов и выпускных квалификационных работ, посвящённых проектированию гальванических участков, выполняется раздел «Очистка сточных вод и утилизация ценных компонентов». Около ста выпускников кафедры выполняли выпускные научно-исследовательские работы экологической направленности.

На кафедре ТЭП разработано различное методическое обеспечение для изучения курсов экологической направленности, в частности [9, 10]. Подготовлено к изданию учебно-методическое пособие «Сборник задач по прикладной экологии» (автор Ю. П. Хранилов).

Таким образом, кафедра ТЭП является одной из ведущих в Вятском государственном университете в области прикладной экологии.

Библиографический список

1. Лихачёв В. А., Мамаев В. И. Установка для локальной очистки промывных вод на линии никелирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 1994. Т. 3. № 3. С. 54–56.
2. Горева Т. В., Хранилов Ю. П. Теоретические основы и технология электрохимического способа получения свинцового крона из отходов гальванического производства // Журнал прикладной химии. 2007. Т. 80. Вып. 1. С. 63–66.
3. Лобанова Л. Л., Баталова Е. В., Хранилов Ю. П. Реагентные технологии утилизации никеля из отработанных растворов химического никелирования // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81. Вып. 2. С. 213–217.

4. Хранилов Ю. П., Еремеева Т. В., Бобров М. Н. Использование электролиза для переработки некоторых отходов гальванических производств // Мир гальваники. 2016. № 1. (Вып. 32). С. 54–59.
5. Утилизация никеля, хрома и меди из некоторых отходов гальванических производств / Ю. П. Хранилов, Л. Л. Лобанова, Т. В. Еремеева, М. Н. Бобров // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : ВятГУ, 2019. С. 35–39.
6. Шишкина С. В., Масленикова И. Ю. Электролиз растворов, моделирующих промывные воды после цинкования из слабокислых аммонийно-хлоридных электролитов // Гальванотехника и обработка поверхности. 1998. Т. 6. № 3. С. 41–46.
7. Шишкина С. В., Мамаев В. И., Хранилов Ю. П. Методика балансового расчета количества тяжелых металлов в жидких и твердых отходах гальванического производства. Киров : Изд-во ВятГТУ, 1999. 116 с.
8. Шишкина С. В., Мамаев В. И., Хранилов Ю. П. Методика расчета нормативов водопотребления в гальваническом производстве. Киров : Изд-во ВятГТУ, 1999. 81 с.
9. Хранилов Ю. П. Экология и гальванотехника: проблемы и решения. Киров : Изд-во ВятГТУ, 2000. 97 с.
10. Хранилов Ю. П. Проектирование электрокоагулятора. Киров : ВятГУ, 2016. 47 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАМОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*А. А. Лопарев, А. А. Комаровских, Н. А. Новосад, К. В. Чухланцев,
К. О. Камалов, Е. А. Земцова*
Вятский государственный университет,
stud124693@vyatsu.ru, stud126874@vyatsu.ru, stud126891@vyatsu.ru,
stud124694@vyatsu.ru, usr00705@vyatsu.ru, ea_zemtsova@vyatsu.ru

Рассмотрена проблема утилизации отходов металлургического производства, возникающая в результате деятельности промышленного предприятия. Приведены результаты изучения свойств мелкодисперсной металлургической пыли, на основании которых дана рекомендация по её использованию.

Ключевые слова: металлургическая пыль, цементно-песчаная смесь, металлургический завод, окружающая среда, отход, строительство.

Высокие темпы роста производственных сил усложняют задачи оптимизации эколого-экономических систем. Совершенствование материально-технической базы, а также условий организации и осуществления основных технологических процессов в производственных циклах приводит к необходимости не только улучшения применяющихся методов в системе локальной очистки предприятий от образующихся выбросов, сбросов и твердых отходов, но и разработке новых подходов для снижения уровня негативного воздействия на окружающую среду.

На металлургических предприятиях одним из видов отходов является мелкодисперсная пыль, которая улавливается газоочистными фильтрами и складывается, занимая все большие площади. В доменном производстве вы-

деляются дополнительно сероводород и оксиды азота, в прокатном – аэрозоли травильных растворов, пары эмульсий и оксиды азота. Наибольшее количество выбросов – в коксохимическом производстве. Здесь кроме перечисленных загрязнителей можно отметить пиридиновые основания, ароматические углеводороды, фенолы, аммиак, 3–4-бензопирен, синильную кислоту и др. Важной проблемой для предприятий металлургии является загрязнение ландшафтов. На территориях заводов накапливается очень большое количество твердых отходов и шламов. Шламохранилища порой достигают по площади 200 га. Поверхность шламонакопителей со временем высыхает и ветер разносит пыль по прилегающим к завода территориям, а поллютанты, попадающие в почвенные горизонты в результате инфильтрации, приводят к загрязнению подземных вод.

Требуется поиск новых путей и подходов к решению проблем накопления отходов, связанных с промышленным производством. Это должен быть целый комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предотвращение или снижение неблагоприятного воздействия производственной деятельности на окружающую среду и, как следствие, на здоровье человека.

Целью данной работы являлась разработка методики утилизации мелкодисперсной металлургической пыли, образующейся при производстве чугуна и стали.

При подготовке рекомендаций по применимости той или иной технологии утилизации отходов производств прежде всего ориентируются на тот набор химических, физико-химических и иных показателей, которые определяют возможность их использования или позволяют позиционировать их в качестве вторичных материальных ресурсов.

В данной работе методом энергодисперсионной спектроскопии с использованием электронного микроскопа JEOL JSM-6510 LV со встроенным энергодисперсионным спектрометром INGA Energy 350X-Max 20 Premium установлен элементный состав металлургической пыли. Результаты анализа проб представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты энергодисперсионного анализа (в весовых %)

Спектр	O	F	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Zn
1	32,30	6,47	15,69	2,71	0,60	0,92	2,71	16,05	7,05	4,26	1,54	9,30	0,51
2	32,90	6,10	14,50	2,55	0,35	1,03	2,65	16,51	7,59	4,13	1,90	8,96	0,84
3	31,53	5,59	14,83	3,19	0,85	1,02	2,72	15,86	6,89	4,92	1,74	9,97	0,89
Ср.	32,21	6,05	15,00	2,28	0,60	0,99	2,69	16,14	7,18	4,44	1,73	9,41	0,75

Согласно литературным данным, в составе такой пыли соединения металлов находятся преимущественно в оксидной форме, при этом наличие серы и хлоридов в анализе, вероятно, свидетельствует о присутствии примесей их сульфатов, сульфидов и хлоридов [1].

На основании полученных данных можно делать вывод о применимости данной пыли в качестве компонентой добавки в строительные смеси, ори-

ентированные на получение элементов дорожной инфраструктуры (бордюры, тротуарная плитка и т. п.).

Результатом научно – исследовательской работы является выявление оптимального соотношения компонентов цементно-песчаной смеси, в состав которой входит металлургическая пыль, образующейся при производстве чугуна и стали. В результате выявления оптимального состава ожидается улучшение эксплуатационных свойств цементно-песчаной смеси.

Формование образцов происходило при комнатной температуре в течение 14 суток.

Изучение влаговбираемости полученных образцов осуществлялось по ГОСТ 7025-91 [2]. Каждый образец помещался в отдельный стакан с дистиллированной водой, отмечался уровень воды. Стаканы ставились на электрическую плиту, где производился нагрев воды до кипения, с последующей их выдержкой в условиях кипения и поддержания постоянного уровня воды в течение восьми часов. После чего образцы извлекались из стаканов, с их поверхности удалялись излишки влаги и осуществлялось их взвешивание.

Измерение микротвердости имеет широкое распространение и в заводских лабораториях, и в практике научных исследований. Метод основан на вдавливании индентора в испытываемую поверхность. Объем, деформируемый вдавливанием, должен быть меньше объема (площади) измеряемого зерна; поэтому прилагаемая нагрузка выбирается небольшой (0,005–0,5 кгс). Для определения микротвердости использовался микротвердомер ПМТ-3М [3].

В таблице 2 представлен состав опытных образцов исследуемых смесей.

Таблица 2

Состав исследуемых смесей (в % от общей массы)

№ смеси	№ образца	Песок	Металлургическая пыль	Цемент	Пластификатор	Фторгипс	Вода
1	1	54	30	15	1	0	До вязкого состояния
	2	54	25	20	1	0	
	3	54	20	25	1	0	
2	1	18	20	34	1	0	27
	2	18	15	39	1	0	27
	3	18	0	54	1	0	27
3	1	18	15	26	5	9	27

В таблице 3 представлены результаты изучения функциональных характеристик изучаемых образцов.

Таблица 3

Результаты исследования полученных образцов

№ смеси	№ образца	Влаговбираемость, масс. %	Микротвердость, Н/мм ²
1	2	3	4
1	1	частичное разрушение образца	72,819
	2		74,457
	3		64,928

1	2	3	4
2	1	13,12	143,795
	2	16,69	172,71
	3	17,66	60,332
3	1	разрушение образца	–

По результатам исследований на влаговбираемость и микротвёрдость, было установлено, что наилучшими показателями обладают образцы, приготовленные на основе 2 смеси.

По результатам исследований оптимальным получился состав, в который входит: песок – 18%, металлургическая пыль – 15%, цемент – 39%, вода – 27%, пластификатор (лигносульфонат) – 1%. При этом количестве такие свойства смеси, как твёрдость и влаговбираемость, незначительно ухудшаются по сравнению с цементно-песчаной смесью марки М150, в состав которой входят (в % от общей массы): песок (18%), цемент (54%), вода (18%).

Для повышения анализируемых функциональных характеристик необходимо скорректировать состав, предположительно увеличив долю вяжущего в составе смеси.

Библиографический список

1. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека / С. З. Калаева, К. М. Муратова, Я. В. Чистяков, П. В. Чеботарёв // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2003. № 3. С. 40–63.
2. ГОСТ 7025-91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
3. Герасимова Н. С., Головачева Ю. Г., Московских Л. А. Определение микротвёрдости. Методические указания по выполнению лабораторной работы по курсу «Специальные главы материаловедения». Калуга, 2017. С. 4–16.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАМОВ

А. М. Фоминых, А. А. Кушков, К. О. Камалов
Вятский государственный университет,
alex_mf@inbox.ru, Kushkov_alexey@mail.ru, usr00705@vyatsu.ru

В статье представлены результаты исследований содержания различных химических элементов (Fe, Zn и др.) в металлургических шламах, возможные способы их извлечения и повторного использования. Определён анализ исходного шлама, представлен наиболее оптимальный способ избирательного извлечения данных элементов. Разработана схема повторного использования всех составляющих процесса переработки шлама.

Ключевые слова: шлам, кислотная вытяжка, спектрофотометрический анализ, рентгенофлуоресцентная спектроскопия, энергодисперсионная спектроскопия, выщелачивание, оксиды металлов.

Все известные технологические процессы производства чугуна, стали и их последующего передела сопровождаются образованием большого количества отходов в виде шламов [1–3], содержащих различные химические компоненты, которые загрязняют окружающую среду. В настоящее время разработано достаточно методов и технологий переработки шламов, однако широкого практического применения они не получили. Одной из причин такого ограничения является малоизученность компонентного состава шламов применительно к обоснованию выбора метода переработки.

Объектом исследований являлся металлургический шлам, образующийся при производстве чугуна и стали, невозможность непосредственной переработки которого является проблемой для предприятий. Были рассмотрены различные методики, но ввиду энергоёмкости или опасности большинства из них, для исследования была выбрана обработка шламов кислотой для получения нерастворимых оснований, более удобных для выведения из раствора и перевода их в оксиды [4]. Данный способ позволяет избирательно получать основания выбранных металлов при изменении кислотности, а также он является дешёвым по сравнению с другими способами обработки шламов.

Предварительно были проведены анализы исходного шлама для определения содержания в нем различных элементов и их концентраций методом рентгенофлуоресцентной и энергодисперсионной спектроскопии. Также были проверены литературные источники, не дающие точных значений ввиду уникальности отхода каждого предприятия, но утверждающие, что среднее содержание ионов железа в шламе составляет от 50 до 60% [5]. Непосредственные анализы с помощью электронного микроскопа JEOL JSM-6510 LV со встроенным энергодисперсионным спектрофотометром INGA Energy 350X-Max 20 Premium показали следующие значения (табл. 1).

Таблица 1

Количественное содержание химических элементов в образце шлама

Элементы	O	Mg	Fe	Zn	Al	Mn
Спектр 1, %	32,2	2,71	9,30	0,51	0,60	1,54
Спектр 2, %	32,9	2,55	8,96	0,84	0,35	1,90
Спектр 3, %	31,5	3,19	9,97	0,89	0,85	1,74
Усреднённые значения	32,3	2,81	9,41	0,75	0,60	1,73

Примечание: данные содержания показаны в чистом виде, соединения этих элементов прибором не учитываются [6].

Рентгенфлуоресцентный анализ, проведённый с помощью рентгенфлуоресцентного спектрометра EDX-720P фирмы Shimadzu, также показал отличающиеся результаты [7] (табл. 2).

Таблица 2

Рентгенфлуоресцентный анализ образцов шлама

Элемент	Результат содержания, %
Fe	63,192
Ca	18,078
Mn	9,100
Zn	6,134
Pb	1,498
Cu	1,131
Cr	0,866

Данный анализ демонстрирует содержание металлов как в чистом виде, так и в виде оксидов и других соединений, что приводит к выводу – усреднённое содержание железа в исследуемом шламе около 60%.

Исследование образцов шлама велось с помощью растворов H_2SO_4 двух концентраций (1Н, 3Н). На 10 г исследуемого шлама приходился объём 100 мл кислоты, после чего смесь помещали в установку, поддерживающую постоянную температуру с помощью плитки и оборудованную мешалкой для постоянного перемешивания. Опыты проводили при различных интервалах времени (30 минут и 1 час). Полученную кислотную вытяжку фильтровали, брали пробу в 1 мл, разводили в 100 раз дистиллированной водой и проводили спектрофотометрический анализ содержания железа в пробах для определения практического выхода ионов металла в раствор. Полученные данные, а также условия проведения опытов были обработаны и представлены ниже (табл. 3).

Таблица 3

Результаты опытов по выведению ионов железа в раствор и их условия

Вариант опыта	Концентрация кислоты, Н	Время, мин	Концентрация ионов Fe, %	Приблизительная масса осадка, г
Опыт № 1	1	60	9,87	6,78
Опыт № 2	1	30	3,32	7,65
Опыт № 3	3	30	4,83	11,13
Опыт № 4	3	60	7,45	11,03

Уменьшение концентрации ионов железа с повышением концентрации кислоты скорее всего является следствием пассивации металла, возникающей при концентрации кислоты выше 75% и снижающей взаимодействие металла с кислотой ввиду образования плотной оксидной плёнки [8]. По этой причине не рекомендуется использование в данном процессе кислоты с концентрацией больше 1 Н.

Теоретическое значение выхода железа в раствор составляет примерно 10%, однако ввиду содержания в образце вытяжки других металлов данное значение не было достигнуто и выход железа при оптимальных условиях составляет 98,7 г железа на 1 кг шлама в растворе. Поскольку выходу железа препятствует наличие других металлов, необходимо установить содержание как минимум одного из них в растворе для дальнейшей работы. Выбор пал на

цинк, как наиболее простой в нахождении металл и имеющий практическую ценность в качестве легирующей добавки. Содержание цинка было установлено титрованием трилоном Б, полученные результаты анализа представлены ниже (табл. 4).

Таблица 4

Результаты титрометрического определения содержания цинка в исследуемых пробах

Номера проб	Концентрация Zn, г/л	Количественное содержание Zn, %
1	15,4±3,2	7,6±1,6
2	17±4	8,3±2,1
3	15±4	7,7±2,0
4	13,8±3,5	6,9±1,7

Примечание: пробы под №1–4 были получены в ходе опытов 1–4.

С учётом вышеописанных результатов исследований в качестве возможного варианта решения проблемы металлургических заводов была разработана следующая схема переработки металлургического шлама (рис.).

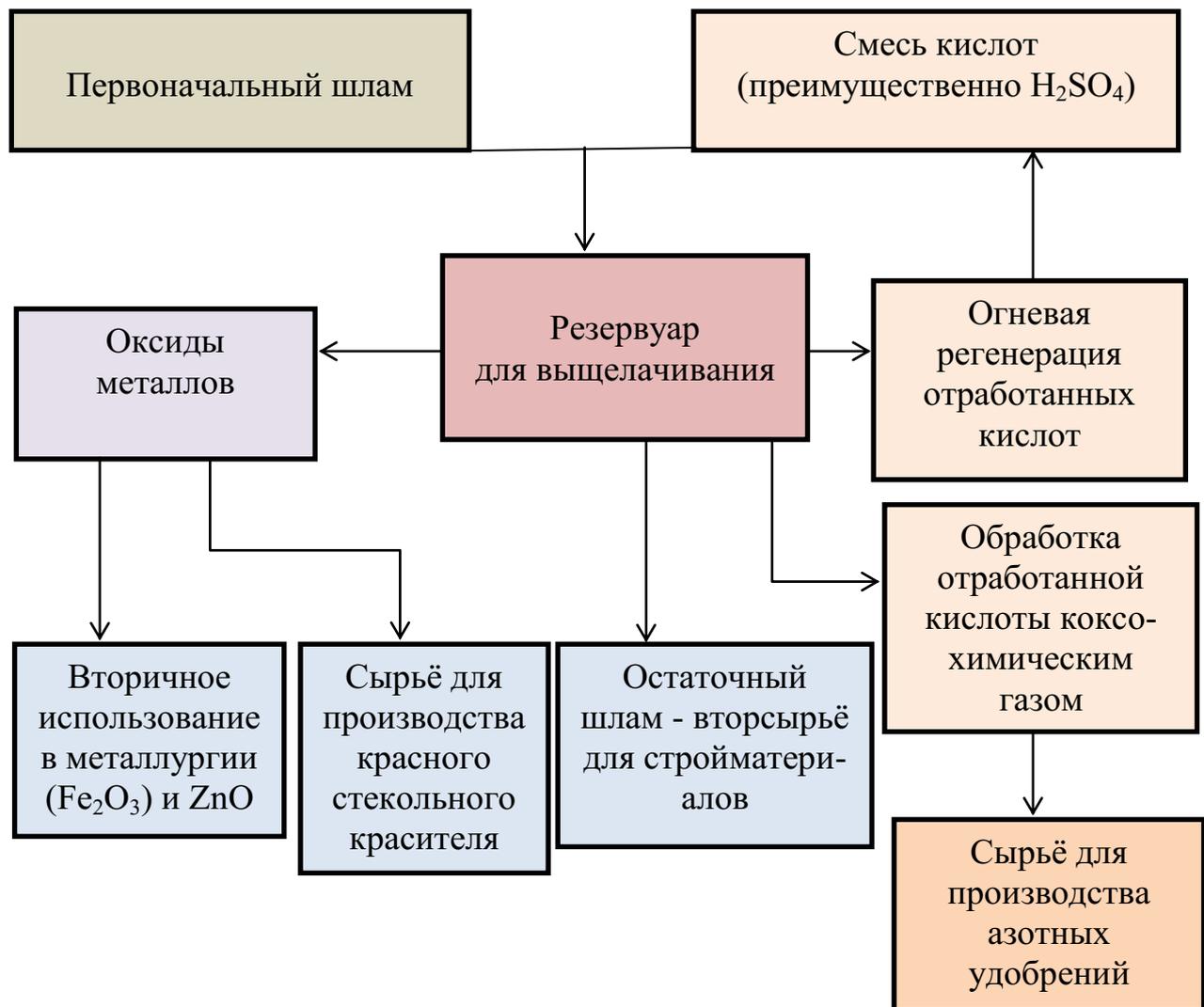


Рис. Функциональная схема переработки металлургических шламов

Исходный шлам поступает в резервуар для выщелачивания и смешивается с раствором кислот. Полученный раствор постоянно перемешивается при поддерживаемой температуре 50–60 °С от 30 минут до 2 часов. На протяжении данного процесса значение рН должно составлять от 0,8 до 1,2, при значениях выше начнётся преждевременное образование гётита (FeOOH), которое на данной стадии нежелательно. После прохождения стадии окисления мы получаем раствор с ионами Fe³⁺, Zn²⁺, Pb²⁺ и других металлов. Для выведения железа из раствора в виде гётита значение рН необходимо повысить до 2–3 единиц путём добавления щелочных добавок. После этого гётит и другие твёрдые вещества могут быть удалены из раствора. Для выведения из раствора ионов более тяжёлых металлов, таких, как Zn и Pb, значение рН необходимо повысить до 9,5 единиц. После этого, твёрдые вещества и концентрат тяжёлых металлов можно также удалить фильтрованием, а отходящий раствор направить на два возможных пути обработки. Варианты обработки представлены: огневой регенерацией в печах, где при высоких температурах можно заново получить кислоты очень высокой чистоты и концентрации, и обработкой коксохимическим газом для получения аммиачных соединений – сырья для производства азотных удобрений.

Концентраты металлов после очистки от соединений кислот переходят в оксидную форму, в данной форме они могут как использоваться повторно в металлургии, так и стать сырьём для производства стекольного красителя (Fe₂O₃).

Твёрдый остаток может быть применён в качестве вторсырья для производства стройматериалов.

Библиографический список

1. Лемешев Д. О., Протасов А. С., Колесников В. А. Перспективы повторного использования и безопасной утилизации металлосодержащих отходов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 140–147. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-140-147
2. Энерго- и ресурсосберегающие технологии утилизации металлосодержащих гальваношламов / Л. Н. Ольшанская., Е. А. Татаринцева, Е. Н. Лазарева, Е. В. Яковлева, О. А. Арёфьева // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 167–173. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-167-173
3. Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я., Кантор Г. Я. Получение неорганических пигментов из отходов гальванических производств // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 22–29. doi: 10.25750/1995-4301-2021-1-022-029
4. Способ переработки железосодержащего шлама [Электронный ресурс]. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2680767C1/ru> (дата обращения: 25.10.2022).
5. Лисин В. С., Юсфин Ю. С. Ресурсно-экологические проблемы XXI века и металлургия. М. : Высшая школа, 1998. 447 с.
6. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергодисперсионная_рентгеновская_спектроскопия. (дата обращения: 25.10.2022).
7. Лекция 6. Рентгеноспектральный анализ в РЭМ. Программа INCA Energy [Электронный ресурс]. – URL: <http://ism-data.misis.ru/index.php/lectures-rma/lektsiya-6>

rentgenospektralnyi-mikroanaliz-v-rem-programma-inca-energy?start=2 (дата обращения: 25.10.2022).

8. Железо пассивированное – Справочник химика 21 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.chem21.info/info/132775> (дата обращения: 25.10.2022).

ПЕРЕРАБОТКА КИСЛОТНЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА НИТРАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА АЗОТНО-КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Р. Х. Хузиахметов, А. О. Харенко, М. А. Быстров, Р. Х. Фазуллин
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
gafiat2013@mail.ru

Представлены результаты исследований по переработке отработанных кислотных смесей производства нитрата целлюлозы на НК(S)-удобрения. Удобрения имеют оптимальное соотношение элементов питания $N:K_2O \approx 1:(0,5 \div 1,5)$ мас. при уравновешенном отношении $S:(N+K_2O) \approx 0,2 \div 0,3$ мас.

Ключевые слова: отработанная кислотная смесь (ОКС), нейтрализация, азотно-калийное удобрение, сульфатонитрат аммония, рецептура.

Для производства 1 ц зерна яровой пшеницы требуется: N – 4,8–6,1 кг, P_2O_5 – 1,6 кг, K_2O – 2,6–3,0 кг [или $N:P:K = (4,8-6,1):0,7:(2,2-2,5)$ кг]. В пересчете на 1 га при средней урожайности зерновых 10-25 ц/га вынос $N:K_2O \approx 120:100$ кг/га, вынос остальных макроэлементов составляет в пределах $Ca:Mg:S \approx (5-35):(2-10):30$ кг/га [1].

Одной из основных задач технологии минеральных удобрений заключается в разработке комплексных удобрений с уравновешенным соотношением не только главных (НК, NP, KP, NPK), но и основных элементов питания.

Универсальным безбалластным НК-удобрением является KNO_3 , однако в нем содержание калия значительно превосходит азот – $N:K=14:39 \%$ = 1:2,8 мас. (для большинства зерновых оптимум – $N:P_2O_5:K_2O=1:0,9:0,7$ мас.).

НК-удобрения получают преимущественно смешением азотсодержащего компонента [NH_4NO_3 , $(NH_2)_2CO$, $(NH_4)_2SO_4$] с калийсодержащим компонентом (K_2SO_4 , KCl) до их оптимального соотношения. В работах [2–4] предложены способы получения НК(S)-удобрений с высоким суммарным содержанием элементов питания. Однако они имеют неуравновешенный состав $N:K_2O:S \approx 1:(0,1-3,9):(1-1,5)$ мас. (значительный избыток серы относительно азота может препятствовать поступлению главных элементов питания в растения).

В производстве минеральных удобрений в настоящее время большое внимание уделяется использованию отходов различных производств (т.к. при этом возможно снижение себестоимости удобрений, а также решение экологических проблем предприятий, где эти отходы образуются: уменьшение га-

зообразных выбросов, снижение объемов сточных вод и т.д.). Так, например, отработанные кислотные отходы производства нитратов целлюлозы предложено перерабатывать на N(S)-удобрение нейтрализацией смеси $H_2SO_4+HNO_3$ аммиаком [5]. Образующийся продукт [сульфатонитрат аммония $(NH_4)_2SO_4 \cdot 3NH_4NO_3$] имеет оптимальное отношение S:N $\sim 0,2$ мас. (при N = 30–31,5%, S = 5,5–7%) и соответствует ТУ 218-036-00205311-08.

Однако данный способ позволяет получить удобрение, содержащее только один главный элемент питания (N). Следует подчеркнуть, что в полученном N(S)-удобрении соотношение $NH_4NO_3:(NH_4)_2SO_4 = 3:1$ моль (чем больше NH_4NO_3 , тем больше чувствительность к влаге, а также к детонации).

Целью данной работы является разработка технологии получения на основе ОКС гранулированного серосодержащего азотно-калийного удобрения с оптимальным соотношением главных элементов питания (N:K) и оптимальным отношением серы к указанным элементам.

Образцы NK(S)-удобрений получали нейтрализацией отработанной кислотной смеси (ОКС) раствором KOH и NH_4OH по схеме, представленной на рисунке 1 (для сравнения получали также сульфатонитрат аммония нейтрализацией ОКС раствором NH_4OH). Методика проведения опытов и анализа полученных удобрений подробно описана нами в работе [6].

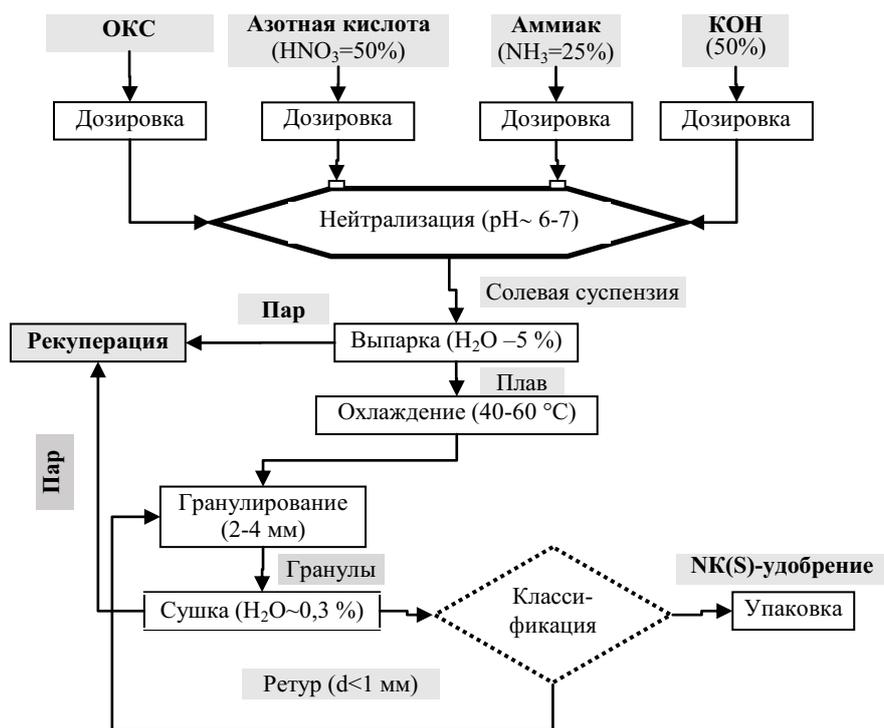


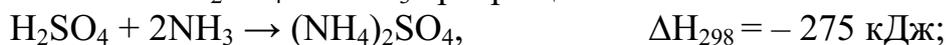
Рис. 1. Блок-схема получения NK(S)-удобрений

Опыты проводили преимущественно с азотно-сернокислотными отходами одного из предприятий по производству нитратов целлюлозы ($H_2SO_4:HNO_3:H_2O \approx 40\%:18\%:42\%$ при $H_2SO_4:HNO_3 = 2,2$ мас.). В качестве нейтрализаторов ОКС использовали аммиак водный технический (ГОСТ 9-92) и калия гидрат окиси (ГОСТ 9285-78).

При нейтрализации ОКС раствором KOH протекают реакции:



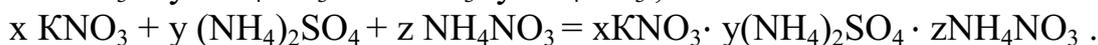
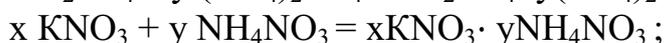
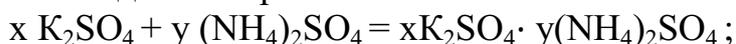
При последующей донейтрализации смеси раствором NH_3 оставшиеся количества H_2SO_4 и HNO_3 превращаются в соли аммония:



За счет тепла нейтрализации температура смеси возрастает (50–90 °С), избыток воды при этом испаряется, и, по мере загустевания смеси, происходит совместная кристаллизация солей аммония:



При этом калийные соли также могут образовать с солями аммония сложные соединения различного состава:



Состав ОКС на различных предприятиях меняется в широких пределах ($\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HNO}_3 \approx 1:(0,4-2)$ мас.). Следовательно, для получения удобрения с преимущественным содержанием СНА-2, без остаточных примесей $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ или NH_4NO_3 , необходимо сначала оптимизировать отношение $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HNO}_3$ добавлением раствора H_2SO_4 или HNO_3 (СНА-3 нежелателен, т.к. обладает повышенной влагоемкостью). Нейтрализаторы (раствор KOH и NH_4NOH) добавляют в количестве, обеспечивающем в НК(S)-удобрениях оптимальное соотношение главных элементов питания «N:K₂O» при оптимальном отношении «S:(N+K₂O)».

При этом в качестве основных критериев установлены следующие показатели: минимальное содержание азота в НК(S)-удобрениях – 20%,

оптимальное отношение $\text{N}:\text{K}_2\text{O} = 1:(0,5-1,5)$ мас.

Состав НК(S)-удобрений, получаемых из исходного ОКС ($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O} = 18\%:40\%:42\%$), а также с добавлением HNO_3 , представлен в таблице (при проведении расчетов сырья предполагали, что преимущественно будет образоваться NH_4NO_3 , который затем перекристаллизуется в СНА-2).

Как видно из таблицы, в системе «ОКС– NH_4OH » получается N(S)-удобрение с высоким отношением серы к азоту ($\text{S}:\text{N} \sim 0,66$ мас.) при неуравновешенном соотношении $\text{N}_{\text{NH}_4}:\text{N}_{\text{NO}_3} \sim 1:0,27$ мас.

Разбавление ОКС раствором HNO_3 (до отношения $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HNO}_3 = 0,77$ мас.) приводит к уменьшению серы до оптимальных значений $\text{S}:\text{N} \sim 0,38$ мас. при уравновешенном соотношении $\text{N}_{\text{NH}_4}:\text{N}_{\text{NO}_3} \sim 1:0,5$ мас.

РФА анализ N(S)-удобрения (система «ОКС– HNO_3 – NH_4OH ») показывает, что реальный продукт представляет собой не только сульфатонитрат аммония состава $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{NH}_4\text{NO}_3$ (68%), а его смесь с СНА-3 (11%) [остаток $\text{NH}_4\text{NO}_3 \sim 20\%$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \sim 2\%$] (рис. 2 а).

В системе «ОКС–КОН–NH₄ОН» при H₂SO₄:HNO₃ = 2,2 мас. для выбранных критериев N:K₂O = 1:(0,5–1,5) мас. получается NK(S)-удобрение так же с высоким содержанием серы S:(N+K₂O) ≈ 1:(0,4–0,5) мас. [при неуравновешенном соотношении N_{NH₄}:N_{NO₃} ~ 1:(0,3–0,4) мас.].

РФА анализ NK(S)-удобрения (система «ОКС–КОН–NH₄ОН») показывает, что продукт представляет собой смесь (NH₄)₂SO₄·2NH₄NO₃ (13%) с различными сложными соединениями: 1,76(NH₄)₂SO₄·0,24K₂SO₄ (~ 52%);

KNO₃·(NH₄)₂SO₄·NH₄NO₃ (~ 23%); 0,92KNO₃·0,08NH₄NO₃ (~ 13%) (рис. 2 б).

Таблица

Состав NK(S)-удобрений на основе отработанной кислотной смеси (ОКС) состава HNO₃:H₂SO₄:H₂O = 18%:40%:42% (рассчитанный на получение СНА-2)

Сырье, г				Состав, %				Элементы питания				
ОКС	HNO ₃ (50 %)	КОН (50 %)	NH ₄ ОН (25 %)	СНА-2	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄	сумма NKS	N:K ₂ O:S	NH ₄ :NO ₃	S:(N+K ₂ O)	
Система «ОКС– NH ₄ ОН» при исходном H ₂ SO ₄ :HNO ₃ =2,2 мас												
100	0	0	75	55,9	0	44,1	0	42,3	<u>25,5:0:16,6</u> 1:0:0,66	<u>20,1:5,4</u> 1:0,27	0,66	44
Система «ОКС– HNO ₃ –NH ₄ ОН» при H ₂ SO ₄ :HNO ₃ = 0,77 масс (для СНА-2 = 100 %)												
100	65	0	109	100	0	0	0	39,7	<u>28,8:0:11</u> 1:0:0,38	<u>19,2:9,6</u> 1:0,5	0,38	43
Система «ОКС–КОН –NH ₄ ОН» при исходном H ₂ SO ₄ :HNO ₃ = 2,2 мас.												
100	0	26	59	52	0	23	25		<u>28:13:15</u> 1:0,67:0,8	<u>15:5</u> 1:0,33	0,48	43
100	0	20	63	53,3	0	27,4	19,3	47,6	<u>21,1:10,4:16</u> 1:0,5:0,76	<u>16:5,1</u> 1:0,32	0,51	43
100	0	36	53	51,4	0	15,1	33,5	51,6	<u>18:18,1:15,4</u> 1:1:0,86	<u>13,1:5</u> 1:0,38	0,43	43
100	0	48	46	50	0	6,5	43,5	54,3	<u>15,8:23,5:15,1</u> 1:1,5:0,96	<u>10,9:4,8</u> 1:0,44	0,38	43
Система «ОКС– HNO ₃ – КОН–NH ₄ ОН» при H ₂ SO ₄ :HNO ₃ = 0,77мас.												
100	65	35	89	58,5	20	0	21,5	45,8	<u>23,8:11,6:10,4</u> 1:0,5:0,44	<u>14,7:9,1</u> 1:0,62	0,29	43
100	65	62	73	28,5	34,4	0	37,2	50,3	<u>20,2:20,1:9,9</u> 1:1:0,5	<u>11,5:8,8</u> 1:0,77	0,25	43
100	65	82	60	8,1	44,1	0	47,8	53,3	<u>17,8:25,8:9,6</u> 1:1,5:0,54	<u>9,3:8,5</u> 1:0,91	0,22	43
Система «ОКС– HNO ₃ –КОН –NH ₄ ОН» при H ₂ SO ₄ :HNO ₃ = 0,58 мас.												
100	100	44	102	40,6	36,3	0	23	45,5	<u>24,4:12,4:8,7</u> 1:0,5:0,36	<u>14,2:10,2</u> 1:0,72	0,24	42
100	100	75	83	12,9	49,3	0	37,8	49,8	<u>21:20,4:8,4</u> 1:1:0,4	<u>11,1:9,9</u> 1:0,89	0,20	43
100	100	90	74	0,2	55,2	0	44,5	51,7	<u>19,4:24,1:8,2</u> 1:1,24:0,42	<u>9,7:9,7</u> 1:1	0,19	43

Для оптимизации отношения $N:K_2O:S$ по критерию $N:K_2O = 1:(0,5-1,5)$ мас. необходимо довести соотношение $H_2SO_4:HNO_3 \approx (0,6-0,8)$ мас. Это приводит к уменьшению серы до оптимальных значений ($S:N \sim 0,2-0,3$ мас.) при уравновешенном соотношении $N_{NH_4}:N_{NO_3} \approx 1:(0,6-1)$ мас.

Гранулы – NK(S)-удобрений, в отличие от механической смеси « $(NH_4)_2SO_4+NH_4NO_3+K_2SO_4$ » обладает улучшенными физико-механическими свойствами. В частности, прочность достигает 4–8 кгс/гранула (при прочности механической смеси 3,5 кгс/гранула), влагопоглощение при влажности воздуха $W=70\%$ в течение 7 сут. составляет всего 1–1,5% (влагопоглощение NH_4NO_3 при аналогичных условиях достигает 6%).

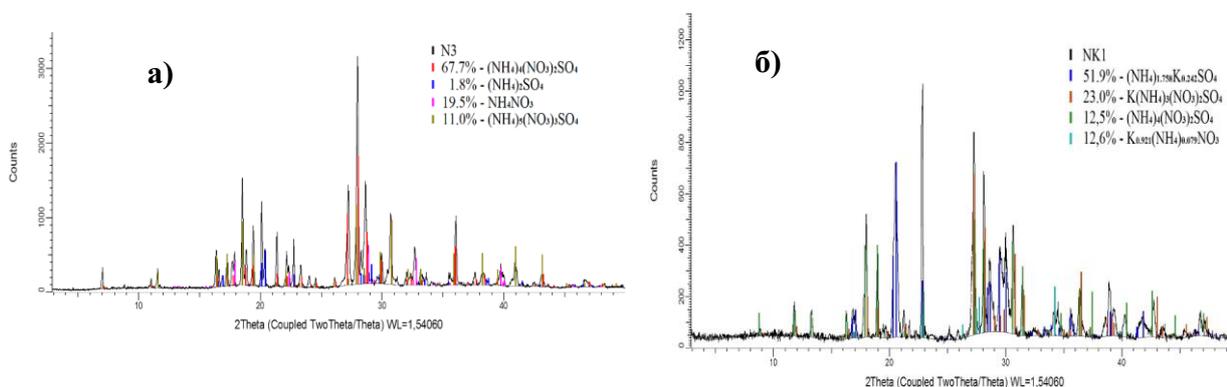


Рис. 2. Дифрактограмма удобрений

а) – N(S)-удобрение (сырьевая смесь ОКС: $HNO_3:NH_4OH = 100:65:109$ г)

б) – NK(S)-удобрение (сырьевая смесь ОКС: $KOH:NH_4OH = 100:26:59$ г)

Величина pH раствора NK(S)-удобрений (для 10 %-ного раствора $pH = 4,8-4,9$) практически идентична pH растворов других азотных удобрений (раствор « $NH_4NO_3+(NH_4)_2SO_4$ » – $pH = 4$, « $NH_4NO_3+Mg(NO_3)_2$ » – $pH = 5$) и близка к кислотности почвенного раствора.

На основании проведенных исследований можно делать следующие выводы:

- предложен способ переработки отработанных кислотных смесей производства нитратов целлюлозы на NK(S)-удобрения (сумма главных элементов питания « $N+K_2O$ » $\approx 36-41\%$, общая сумма NK(S) $\approx 46-51\%$);

- показано, что NK(S)-удобрения характеризуется оптимальным соотношением главных элементов питания (отношение $N:K_2O \approx 1:(0,5-1,5)$ мас.), уравновешенным соотношением аммонийной и нитратной форм азота [$NH_4:NO_3 \sim 1:(0,6-1)$ мас.] и оптимальным содержанием серы по отношению к главным элементам питания (« $S:(N+K_2O)$ » $\approx 0,2-0,3$ мас.);

- гранулы удобрений обладает повышенными физико-механическими свойствами (более высокой прочностью при их меньшей влагоемкости), pH раствора (4,8–4,9) близка к кислотности почвенного раствора.

Библиографический список

1. Агрохимия / под ред. Б. А. Ягодина. М. : Агропромиздат, 1989. 639 с.
2. Серебряков А. И. Азотно-калийное удобрение и способ его получения. Патент № 2198862 РФ. Заявка №2002104130 от 20.02.2003. опубл. 20.02.2003.
3. Пойлов В. З., Колышкин А. С. Способ получения азотно-калийно-сульфатных удобрений. Патент №2217399 РФ. Заявка №2002122597 от 22.08.2002. опубл. 27.11.2003
4. Состав и технология производства серного удобрения с активированным торфом и глауконитовым эфелем / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 134–141. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-134-141
5. Способ получения сульфатонитрата аммония. Патент № 2602097 РФ / Р. А. Халитов, А. Ф. Махоткин, Р. Р. Мадыров, Р. Р. Хайруллин, И. И. Валеев. Заявка № 015120763/05 от 01.06.2015. опубл. 10.11.2016.
6. Анализ способов утилизации отработанных кислот производства нитратов целлюлозы / Р. Х. Фазуллин, Р. А. Халитов, Р. Х. Хузиахметов, А. А. Фазуллина // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 3. С. 147–153. doi: 10.47367/0021-3497-2021-3-147-153

ОЧИСТКА ВОДНЫХ ПОТОКОВ ОТ ИОНОВ НИКЕЛЯ (II) С ПОМОЩЬЮ ДИМЕТИЛГЛИОКСИМА И АДСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

Е. С. Кобликов, С. В. Хитрин, А. А. Юдинцева

Вятский государственный университет,

stud142771@vyatsu.ru, tzb_khitrin@vyatsu.ru, stud115445@vyatsu.ru

В статье рассматривается очистка стоков от Ni^{2+} диметилглиоксимом с доочисткой, в которой используется адсорбция гидролизным лигнином и полифепаном. Выявлены оптимальные условия. Предложены принципиальные технологические решения.

Ключевые слова: промышленные загрязнения Ni^{2+} , реагентная очистка стоков диметилглиоксимом, сорбция, гидролизный лигнин, полифепан.

Важнейшими источниками загрязнения никелем окружающей среды (ОС) являются предприятия горнорудной промышленности, цветной металлургии (89% общего поступления в ОС), машиностроительные, металлообрабатывающие, предприятия химических производств.

Цельнометаллический никель не опасен для человека и других живых организмов. Пыль, пары и свободные ионы в растворе – токсичны. Многие соединения никеля канцерогенны.

Поступление никеля в организм происходит, главным образом, с продуктами питания и питьевой водой. Также никель может проникать с атмосферным воздухом через легкие и кожу.

Задачи очистки воды и получения практически нерастворимых соединений никеля, пригодных для использования, предложено решать с помощью

отечественной реакции Чугаева взаимодействием ионов никеля с диметилглиоксимом (ДМГ), приводящим к образованию при подщелачивании мало-растворимого внутрикомплексного соединения диметилглиоксимата никеля $Ni(C_4H_6N_2O_2)_2$ (ДМГН) [1]. Содержание никеля в исходных стоках и в фильтрате после отделения ДМГН определяли трилонометрическим титрованием. В дополнительных опытах показано, что отделение ДМГН от очищаемых стоков можно эффективно осуществлять также с помощью экстракции летучими отходами получения фторолефинов.

Как видно из таблицы 1, в опытах №1 и 2, когда рН раствора 7,5–8,3 при соотношении ионов никеля и ДМГ 1:2 достигается лучшая очистка. Повышение рН (опыт № 4) нецелесообразно, так как при этом появляется вероятность образования гидроокиси никеля. Также, из полученных результатов, можем сделать вывод, что добавление ДМГ в избытке, меньшем чем 1 : 2 (опыт № 3), неэффективно.

Таблица 1

Результаты очистки никельсодержащих стоков под действием ДМГ

№ опыта	рН	Концентрация никеля в стоках, г/л	Концентрация никеля в фильтрате, г/л	Соотношение никеля и ДМГ
1	7	1,23	0,14	1:4
2	7,5	1,39	0,001	1:2
3	7,5	1,06	0,059	1:1
4	8,3	1,85	0,001	1:2

Более детальные исследования показали возможность получать стабильные показатели очистки, с образованием востребованного ДМНГ, но не удается надежно достигать ПДК_{р.х.}. Мы предлагаем доступную доочистку лигнином, массовым отходом гидролизных производств, показавшим себя эффективным сорбентом тяжелых металлов [2, 3].

Лигнин – это вещество, характеризующее одревеневшие стенки растительных клеток. Сложное полимерное ароматическое соединение, содержащееся в сосудистых растениях (до 30 % сухой массы). Природа лигнина определяется тем, что он образуется в результате полимеризационно- конденсационных превращений трех коричных спиртов: незамещённого фенолпропенового; о-метосизамещённого (кониферилового); о,о¹- диметоксизамещённого (синапового) с промежуточным образованием их димеров (дилигнолов), имеющих различный состав, зависящий от природы древесины. Одревеневшие клеточные оболочки обладают ультраструктурой, которую можно сравнить со структурой железобетона: волокна целлюлозы по своим свойствам соответствуют арматуре, а инкрустирующий их лигнин – бетону. При кислотном гидролизе древесных растений лигно-целлюлозные структуры разрушаются с распадом полисахаридов и образованием сорбционного материала с развитой поверхностью [2].

Лигнин содержащие отходы переработки древесины и другого растительного сырья являются наиболее массовыми источниками поступления в

окружающую среду органических веществ, и должны максимально утилизироваться с наибольшей эффективностью и наименьшим экологическим ущербом.

На предприятиях деревоперерабатывающего, в частности гидролизного производства образуется значительное количество отходов, и лишь небольшая их часть используется в различных отраслях промышленности (от 2 до 20% по направлениям образования), а остальная часть поступает в отвалы и водные объекты, загрязняя окружающую среду. Между тем лигноцеллюлозные отходы – потенциально очень ценное вторичное сырье, рациональное использование которого приобретает все более актуальное значение [1].

Основная трудность утилизации промышленных лигнинов, включая гидролизный лигнин (ГЛ), связана с изменчивостью их состава и характеристик в зависимости от многих факторов, таких как состав сырья, условия транспортировки, технологические режимы получения и т.д. [4].

В настоящее время объемы образования лигноцеллюлозных отходов растут. Однако, еще более высокими темпами растут объемы техногенных выбросов в окружающую среду тяжелых металлов, наиболее радикально – ионов никеля.

Для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов хорошо зарекомендовали себя методы сорбционной очистки с помощью материалов, полученных из отходов переработки растительного сырья. Подобным препаратом может оказаться и ГЛ, который уже используется в небольших объемах в качестве энтеросорбента. Для получения сорбентов ГЛ подвергают химической обработке при невысокой температуре щелочью. В результате получается сорбент, такой, как полифепан (ПФ).

Переработка ГЛ в ПФ включает основные стадии: модификация ГЛ разбавленным раствором щелочи, нейтрализация раствором уксусной кислоты до pH 5,5 и выделение после отмывки и сушки ПФ [3].

При обработке ГЛ в нем взамен эфирных групп в остатках коричных спиртов появляются дополнительные фенольные и спиртовые группы (данные Фурье ИК-спектроскопии). Фенольные группы, особенно расположенные в орто-положении друг к другу, более эффективно образуют комплексы с ионами металлов, что и повышает сорбционную способность.

В процессе получения и модификации ГЛ происходит разрушение остаточных лигноцеллюлозных структур, лигнин становится более рыхлым, благодаря (по данным РСМ) образованию микро- и мезопор.

Лигноцеллюлозные образования при получении ПФ ещё глубже разрушаются. ПФ приобретает развитую, более пористую поверхность. Удельная поверхность достигает десятков квадратных метров на грамм.

Ввиду уникальных сорбционных свойств ГЛ и ПФ по отношению к различным загрязнителям, представляет большой практический интерес переработка отходов лигнина с целью получения его модификаций для очистки сточных вод от загрязнителей различной природы (и их накопления для последующего применения). В настоящее время актуальность такого использованиякратно растет для ионов тяжелых металлов.

Через сорбционную колонку, заполненную лигнином Кировского биохимического завода, пропускали предварительно очищенные с ДМГ стоки, содержащие остаточный никель (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты доочистки никельсодержащих стоков гидролизным
ЛИГНИНОМ**

№ опыта	Объем пропущенный через колонку), мл	Время пропускания, мин	Концентрация Ni ²⁺ , г/л	
			начальная	конечная
1	50	6,44	0,028	0,00001
2	100	9,52		0,00001
3	300	9,50		0,00002

По результатам опытов видно, что доочистка лигнином позволяет достичь качества воды, соответствующего санитарно-гигиеническим нормам для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Также были проведены опыты без реагентной очистки ДМГ, только при помощи сорбции с помощью ПФ.

В ходе эксперимента в качестве сорбента взято две навески: $m_1 = 5,0097$ и $m_2 = 5,0046$ ПФ партии № 1386 г, полученного из ГЛ, отхода производства спирта и дрожжей на Кировском биохимическом заводе. Также для сравнения адсорбционных свойств был взят тот же ПФ, модифицированный интенсивным перемешиванием с 40% формалином в течение 3 часов в присутствии мелового молока (ПФМ), промытый до pH 5,5 и высушенный до постоянного веса: $m_1 = 5,0017$ и $m_2 = 5,0023$ г.

Навески сорбента добавляются в разбавленные стоки гальванического производства, содержащие ионы Ni²⁺ объемом 200 мл и помещаются на магнитную мешалку. Все препараты лигнина сорбируют ионы никеля.

Пробоотбор производился на 10, 20, 40, 60, 80, 100 минуте эксперимента. Концентрация Ni²⁺ в растворе определялась спектрофотометрическим методом (табл. 3).

Таблица 3

Результаты очистки никельсодержащих стоков

Время отбора проб, мин	Концентрация Ni ²⁺ (исх), г/л	Концентрация Ni ²⁺ с ПФ1, г/л	Концентрация Ni ²⁺ с ПФ2, г/л	Концентрация Ni ²⁺ с ПФМ1, г/л	Концентрация Ni ²⁺ с ПФМ2, г/л
0	0,7588	0,7588	0,7588	0,7588	0,7588
10		–	–	0,1110	0,1145
20		0,1864	0,2026	0,0925	0,1041
40		0,1852	0,1922	0,0890	0,0751
60		0,1400	0,1899	0,0740	0,0751
80		0,1817	0,1822	0,0693	0,0844
100		0,1736	0,1875	0,0600	0,0427

Установлено, что концентрация Ni²⁺ во всех случаях гладко уменьшается до равновесной. Более глубокая очистка наблюдается с навесками ПФ, обработанного формалином (ПФМ). В 2–3 раза более высокая степень извлече-

ния никеля объясняется, по-видимому, протеканием заметной конденсации ПФ под действием формальдегида в щелочной среде. Увеличенное содержание в ПФ отрицательно заряженных (сильно донорных) фенолятных групп способствует электрофильному присоединению-замещению в ароматических ядрах. Структурирование ПФ формальдегидом подтверждается данными газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХМС) с пиролитической приставкой (табл. 4). Существенно увеличивается количество 2-метоксифенола при пиролизе более склонного к конденсации с формальдегидом ПФ по сравнению с образованием практически неменяющихся количеств более замещенных 2-метокси-4-метилфенола и 2-метокси-4 винилфенола. Появляются заметные количества карбонильных соединений.

Таблица 4

Данные анализа состава, полученные методом ГХМС

Вещество	Концентрация, %			
	ГЛМ	ГЛ	ПФМ	ПФ
2-метоксифенол	23,82	20,89	35,01	9,81
2-метокси-4-метилфенол	42,57	36,71	23,28	19,49
2-метокси-4-винилфенол	14,48	15,93	17,37	19,97
4-аллил-2-метоксифенолацетат	12,61	12,1	14,81	19,72
3-гидрокси-4-метоксибензальдегид	–	14,37	9,53	31,02

Условия проведения: температура пиролиза – 400 °С, среда – гелий, продолжительность пиролиза – 30 мин.

Полученные данные позволяют ПФ, использованный для очистки от формальдегида, удаляемого из выбросов КБХЗ использовать для последующей очистки никельсодержащих стоков. Отработанный сорбент в этом случае представляется отличным сырьем для получения лигно-формальдегидных, смол пригодных для формования лигносодержащих сорбентов различного назначения.

Выводы: 1. Показано, что эффективным методом очистки никелевых стоков является связывание ионов никеля в устойчивый комплекс под действием двукратного избытка диметилглиоксима при рН 7,5–8,3 и гравитационным удалением диметилглиоксимата никеля.

2. Гарантированную доочистку целесообразно проводить на вертикальном адсорбционном аппарате с использованием формованного адсорбента, из отходов гидролизного лигнина Кировского биохимического завода

3. Полифепан так же является достаточно эффективным сорбентом ионов Ni^{2+} . При этом, сорбционная способность ПФ существенно возрастает после предварительного его использования для сорбции формальдегида из выбросов в атмосферу. Отработанный сорбент в этом случае представляется отличным сырьем для получения лигно-формальдегидных, смол пригодных для формования лигносодержащих сорбентов.

Библиографический список

1. Бушковский А.Л. Способ очистки сточных вод от никеля: пат. 2010012 Рос. Федерация № 5005020/26. заявл. 09.10.1991; опубл. 30.03.1994.
2. Направления и методы утилизации лигнинов / К. С. Хитрин, С. Л. Фукс, С. В. Хитрин, Д. С. Метелёва // Российский химический журнал. 2011. Т. 55. № 1. С. 38–44.
3. Тетесова А. А., Фукс С. Л., Хитрин С. В.. Сорбция катионов тяжёлых металлов из сточной воды модификациями гидролизного лигнина // Общество. Наука. Инновации (НПК-2019) : Сб. статей XIX Всерос. науч.-практ. конф.: в 4-х томах. Киров, 1–26 апреля 2019 года. Киров : Вятский государственный университет, 2019. С. 163–173.
4. Карманов А. П., Кочева Л. С., Борисенков М. Ф. Химический состав и сорбционные свойства энтеросорбентов на основе лигнина // Бутлеровские сообщения. 2016. Т. 45. № 1. С. 76–84.

СЕКЦИЯ 3 ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И РЕЦИКЛИНГ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПОРИСТОГО УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА ИЗ ВЫСОКОСЕРНИСТОГО НЕФТЯНОГО КОКСА

А. А. Кудинова, М. Е. Полторацкая
Санкт-Петербургский горный университет,
kudinovaancka@yandex.ru, mary0509666@mail.ru

В статье рассматривается влияние состава сырья и давления процесса замедленного коксования на качество получаемого в процессе активации гидроксидом калия при 750 °С пористого углеродного материала. Показано, что низкое давление и низкое содержание ароматических углеводородов в сырье благоприятно для получения углеродного материала с наибольшей удельной площадью поверхности.

Ключевые слова: замедленное коксование, химическая активация, нефтяной кокс, удельная площадь поверхности, ИК-спектроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ.

Установка замедленного коксования на нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) позволяет углубить переработку нефти до 95–98%, однако полученный в результате процесса коксования высокосернистый нефтяной кокс не находит применения и складывается на НПЗ или используется в качестве топлива [1, 2]. Такое применение отрицательно сказывается на состоянии окружающей среды, поскольку при его сжигании образуется большое количество сернистых соединений, а при складировании нефтяного кокса нерационально используются большие территории. Для решения этой проблемы необходимо найти альтернативный метод применения нефтяного кокса.

Нефтяной кокс может выступать в качестве сырья для получения высокопористого углеродного материала методом химической или физической активации [3, 4]. Полученный таким методом материал может использоваться как носитель катализатора или адсорбент [5, 6], в том числе для адсорбции углекислого газа [7, 8], что решает актуальную задачу декарбонизации [9, 10]. Активацию проводят с целью увеличения удельной площади поверхности и введения на поверхность углерода кислородных функциональных групп, которые повышают реакционную способность углерода.

Целью данной работы является получение пористого углеродного материала активацией нефтяных коксов, полученных из различных видов углево-

дородного сырья при различных термобарических условиях процесса замедленного коксования.

Для достижения поставленной цели процесс замедленного коксования проводили на лабораторной установке при температуре 500 °С и давлении от 1,5 до 3,5 атм. В качестве исходного сырья коксования использовали гудрон (Г), асфальт (А), тяжелую сланцевую смолу (С) и тяжелый газойль каталитического крекинга (К).

Полученный нефтяной кокс подвергали химической активации КОН. Для этого 5 г нефтяного кокса измельчали на шаровой мельнице, просеивали через сито 125 меш и смешивали в тигле с 15 г КОН. Полученную смесь переносили в муфельную печь, куда подавался поток инертного газа (N₂) 100 мл/мин, и нагревали со скоростью 10 °С /мин до температуры 750 °С. Образцы выдерживали при конечной температуре 1 ч, а затем углеродный материал охлаждали до комнатной температуры в токе азота. Образцы промывали сначала HCl, а затем дистиллированной водой до нейтрального значения pH промывных вод.

Закономерности изменения свойств, структуры, состава полученных коксов и пористых углеродных материалов изучались комплексом независимых методов: рентгенофлуоресцентным анализом (РФА), сканирующей электронной микроскопией (СЭМ), ИК-спектроскопией, методом БЭТ.

Результаты РФА показали, что после активации во всех образцах повышается содержание калия и уменьшается содержание серы за счет выхода легколетучих сернистых соединений при температуре 750 °С, а также за счет реакций с гидроксидом калия и образующимися из него в ходе процесса активации соединениям.

СЭМ-фотографии нефтяного кокса до и после активации (рис. 1) показали, что после активации в частицах нефтяного кокса наблюдается значительное образование трещин и пор, что связано с протеканием химических реакций на поверхности и внутри нефтяного кокса в процессе активации. За счет образования трещин в частицах нефтяного кокса значительно возрастает удельная площадь поверхности и пористость образцов.

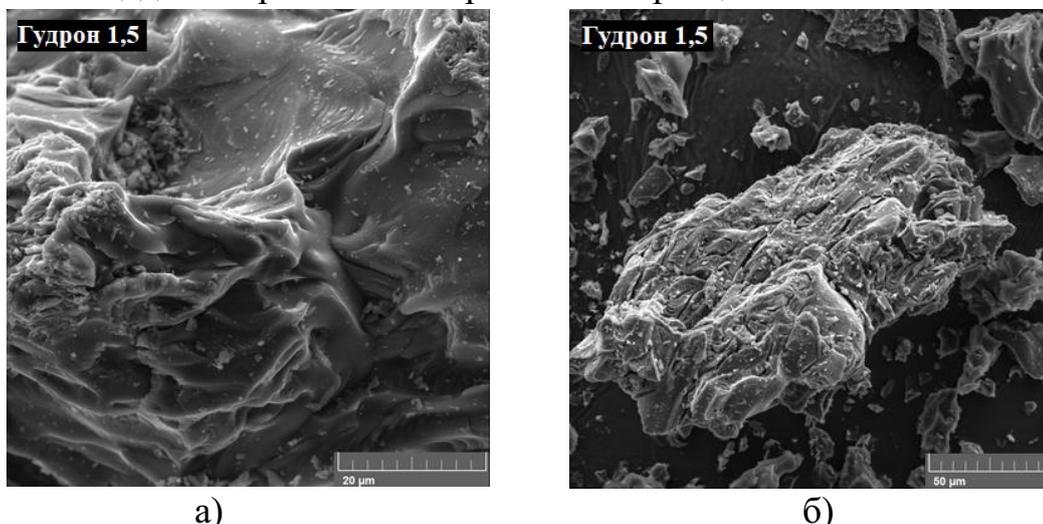


Рис. 1. СЭМ-фотографии нефтяного кокса (а) до и после (б) активации

Удельная площадь поверхности и распределение пор по размерам были исследованы методом БЭТ. Полученные изотермы адсорбции азота представлены на рисунке 2. Изотермы образцов нефтяного кокса до активации отвечают II типу, характерному для непористых или макропористых адсорбентов. После активации тип изотермы меняется на I. Такие типы изотерм присущи, в основном, микропористым образцам с относительно небольшой внешней поверхностью. Таким образом, активация нефтяного кокса КОН приводит к получению микропористого углеродного материала.

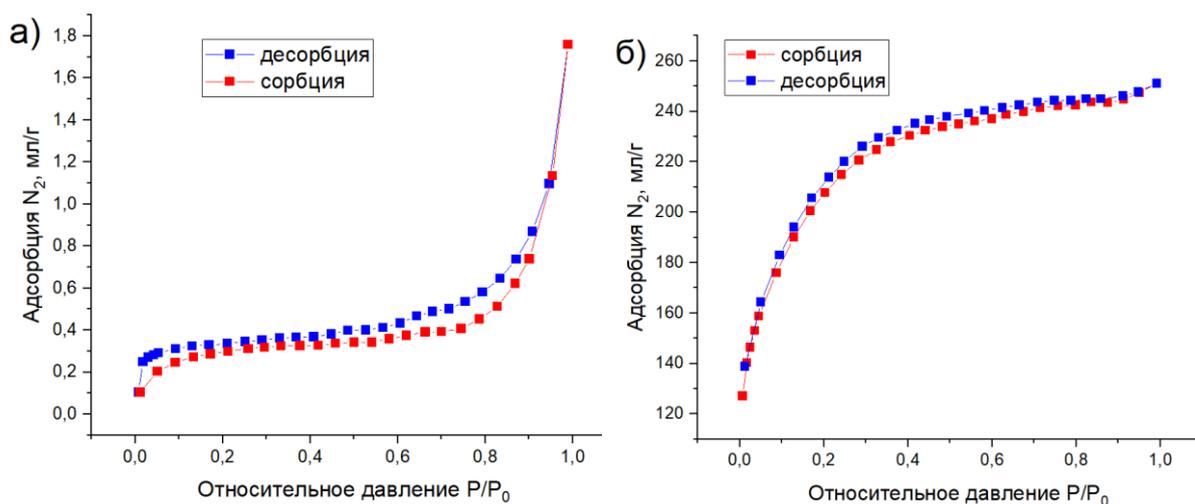


Рис. 2. Изотермы адсорбции азота для нефтяного кокса, полученного из гудрона при давлении 1,5 атм до (а) и после (б) активации

В зависимости от использованного сырья и давления замедленного коксования удельная площадь поверхности всех образцов варьирует от 800 до 2300 м²/г, что сопоставимо со значениями используемых в настоящее время в промышленности активированных углей [5]. Это позволяет использовать полученный материал в качестве адсорбента или носителя катализатора.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Минобрнауки РФ по НИР № 0792-2020-0010 «Развитие научных основ инновационных технологий переработки тяжелого углеводородного сырья в экологически чистые моторные топлива и новые углеродные материалы с регулируемой макро- и микроструктурной организацией мезофазы». Исследования проводили с привлечением лабораторной базы Центра коллективного пользования Санкт-Петербургского горного университета.

Библиографический список

1. Predel H., Srivatsan S. Petroleum Coke // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2014. Vol. 37. No. 6. P. 1–21. doi: 10.1002/14356007.a19_235.pub3
2. Шлёкова И. Ю., Кныш А. И. Снижение выбросов в окружающую среду при производстве нефтяного кокса на установках замедленного коксования // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 96–102. doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-096-102
3. Qiao W., Yoon S. H., Mochida I. КОН activation of needle coke to develop activated carbons for high-performance EDLC // Energy and Fuels. 2006. Vol. 20. No. 4. P. 1680–1684. doi: 10.1021/ef0503131

4. Lee S. H., Choi C. S. Chemical activation of high sulfur petroleum cokes by alkali metal compounds // Fuel processing technology. 2000. Vol. 64. No. 1. P. 141–153. doi: 10.1016/S0378-3820(00)00070-9
5. Impacts of amount of chemical agent and addition of steam for activation of petroleum coke with KOH or NaOH / J. Wu, V. Montes, L. D. Virla, J. M. Hill // Fuel processing technology. 2018. Vol. 181. P. 53–60. doi: 10.1016/j.fuproc.2018.09.018
6. Toebe M. L., Van Dillen J. A., De Jong K. P. Synthesis of supported palladium catalysts // Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. 2001. Vol. 173. No. 1–2. P. 75–98. doi: 10.1016/S1381-1169(01)00146-7
7. CO₂ Capture with activated carbons prepared by petroleum coke and KOH at low pressure / X. Zhu, Y. Fu, G. Hu, Y. Shen, W. Dai, X. Hu // Water, Air and Soil Pollution. 2013. Vol. 224. No. 1. P. 1–12. doi: 10.1007/s11270-012-1387-y
8. Jang E. Development of a cost-effective CO₂ adsorbent from petroleum coke via KOH activation / E. Jang, S. W. Choi, S.-M. Hong, S. Shin, K. B. Lee // Appl. Surf. Sci. 2018. Vol. 429. P. 62–71. doi: 10.1016/j.apsusc.2017.08.075
9. Fedoseev S. V., Tsvetkov P. S. Key factors of public perception of carbon dioxide capture and storage projects // Journal of Mining Institute. 2019. Vol. 237. P. 361–368. doi: 10.31897/PMI.2019.3.361
10. Tsvetkov P. Climate Policy Imbalance in the Energy Sector: Time to Focus on the Value of CO₂ Utilization // Energies. 2021. Vol. 14. No. 411. doi: 10.3390/en14020411

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО МЕТОДА УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПУТЕМ СЖИГАНИЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ ВТОРИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А. Т. Жакинова, В. П. Середина

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
aika_zhakiinova00@mail.ru, seredina_v@mail.ru*

В статье представлены данные анализа основных свойств вторичных продуктов переработки нефтесодержащих отходов, полученных при использовании термического метода утилизации на территории Западной Сибири (ХМАО-Югра). Рассмотрен усредненный химический состав нефтешламов, оцениваются результаты количественного химического анализа продукта переработки нефтешлама (массовая доля нефтепродуктов, биотестирование, удельная эффективная активность E_{pH} , рН, гранулометрический состав, влажность, плотность грунта). Внесены предложения по возможностям рационального применения вторичных продуктов утилизации.

Ключевые слова: нефтешламы, Западная Сибирь, накопление, утилизация, сжигание, грунт минеральный сыпучий, песок мелкозернистый плотный, эксплуатация.

Стремительное развитие нефтегазодобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности на территории Западной Сибири неизбежно влечет за собой ряд проблем, связанных с образованием больших объемов нефтесодер-

жащих отходов, а также ростом числа неликвидированных объектов размещения отходов [1]. По данным Доклада об экологической ситуации в ХМАО-Югре по состоянию на 2021 г. зафиксировано 130 неликвидированных шламонакопителей, которые занимают значительные площади земель [2]. Все это сопровождается интенсивным загрязнением окружающей среды: атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почвенного покрова [3, 4]. К тому же, биodeградация нефти в условиях среднетаёжной зоны Западной Сибири протекает долгое время, что создает опасность загрязнения сопредельных территорий в результате поверхностной внутрипочвенной миграции поллютанта, входящего в состав нефтесодержащих отходов [4]. Нефтешламы представляют собой сложную систему, состоящую из механических примесей (песка, глины и т. д.), минерализованной воды и нефти (нефтепродуктов). Компонентное соотношение может меняться, так как напрямую зависит от источника образования, условий и продолжительности хранения. В среднем они содержат 10–56% нефтепродуктов, 30–85% воды, 1,3–46% твердых примесей [5]. В этой связи актуальность темы обусловлена тем, что на сегодняшний день вопросы рационального использования и переработки нефтесодержащих отходов на территории Западной Сибири все ещё требуют детального комплексного научного подхода и применения экономически выгодных, высокоэффективных методов, а также экологически чистых технологий, позволяющих исключить или минимизировать негативное воздействие на экосистемы.

Цель исследования заключается в анализе и оценке возможностей безопасного и практичного использования вторичных продуктов утилизации нефтесодержащих отходов в производственных целях путем сжигания в условиях Западной Сибири. Объектами исследования являются грунт минеральный сыпучий и песок мелкозернистый плотный, полученные при сжигании нефтешламов в печи УЗГ–1М на территории Ачимовского и Тайлаковского месторождений. Грунты получены в результате высокотемпературного окисления нефтешламов при 600–700 °С внутри жаростойкой камеры сгорания установки УЗГ–1М. Объем отходов, пошедших на утилизацию с Ачимовского месторождения, составил 827 м³, с Тайлаковского месторождения – 1076 м³. В ходе эксплуатации установки сжигания нефтешламов в УЗГ–1М, установлено, что данная технология характеризуется доступностью и простотой используемого оборудования. Для снижения выбросов вредных веществ в атмосферу, печь оснащена устройством обработки отходящих газов с блоком орошения [6]. Во время работы установки необходимо постоянное своевременное регулирование подачи топлива, что является определяющим условием минимизации токсичных выбросов.

При оценке степени эффективности сжигания нефтесодержащих отходов с целью получения готовой продукции и возможности применения грунтов в производственных целях, проведены лабораторные определения основных определяющих показателей грунтов, характеризующих их свойства (табл.).

Результаты лабораторных анализов

Показатель	Фактическое значение		Нормативное значение
	грунт минеральный сыпучий (Ачимовское месторождение)	песок мелкозернистый плотный (Тайлаковское месторождение)	
Массовая доля нефтепродуктов, мг/кг ПНДФ 16.1:2.2.22-98	182	< 50	не более 5 г/кг
Влажность, %	13,8	1,2	не более 20
Насыпная плотность, г/см ³	1,68	1,36	не нормируется
Содержание пылеватых и глинистых частиц, %	–	6,9	не более 15
Удельная активность калия (⁴⁰ K), Бк/кг	458	445	–
Удельная активность тория (²³² Th), Бк/кг	10,1	< 8	–
Удельная активность радия (²²⁶ Ra), Бк/кг	10,9	8,5	–
Удельная активность цезия (¹³⁷ Cs), Бк/кг	< 3	< 3	–
Эффективная удельная активность естественных радионуклидов (A _{эфф}), Бк/кг	63	57	не более 370 Бк/кг (I класс опасности)

На основании данных лабораторного исследования выявлено, что содержание нефтепродуктов в золе ниже установленных нормативов ПДК, что свидетельствует об эффективности технологии с точки зрения значительного снижения концентрации основного поллютанта в полученных продуктах утилизации.

При проведении биотестирования с тест-объектами *Ceriodaphnia affinis* (ракообразные), *Scenedesmus quadricauda* (зеленые протококковые водоросли) выявлено, что при всех кратностях разведения от 1 до 1000 в условиях рН= 6,8–7, грунт минеральный и песок мелкозернистый не оказывают острого токсического действия. Смертность *Scenedesmus quadricauda* в случае грунта минерального составила < 10% при 100-кратном разведении водной вытяжки, в вытяжке из песка мелкозернистого смертность тест-объектов не наблюдалась. Следовательно, оба продукта переработки нефтешламов относятся к V классу и являются не опасными для окружающей среды.

По уровню удельной эффективной активности естественных радионуклидов объекты исследования относятся к I классу (табл.), что позволяет использовать материалы во всех видах строительных работ.

Учитывая низкую фитотоксичность, слабощелочную реакцию среды, соответствие физических характеристик установленным нормативам, рекомендуется использовать данные продукты утилизации при земляных строи-

тельных и рекультивационных работах на основных и вспомогательных объектах нефтегазовых месторождений. Преимущественное вовлечение грунта и песка в работы по отсыпке грунтовых оснований производственных объектов и внутрипромысловых автомобильных дорог, при строительстве полигонов твердых бытовых отходов, в качестве изоляционного уплотнительного слоя для эксплуатации полигонов. Также возможна отсыпка подъездов к местам сбора и откачки нефти, шламовым амбарам, заполнение выработанных песчаных карьеров, а также при проведении технического этапа рекультивации нефтезагрязненных земель. Предлагается использовать грунты в качестве материала при проведении биологического этапа рекультивации. При этом, необходима обязательная добавка органических и минеральных удобрений, исходя из требований засеваемых культур, а также проведение опытов с тест-объектами для определения недостающих компонентов. Соответственно, данное предложение считается рекомендацией, исходя из результатов данных более ранних исследований [2].

Переработка нефтешламов сжиганием отходов на установке УЗГ–1М имеет следующие преимущества: значительное уменьшение объемов отходов (на 30–40% от исходного сырья), отсутствие дорогостоящих стадий разделения; возможность переработки сырья с высокой зольностью; отказ от использования растворителей и микроорганизмов; отсутствие отходов и продуктов, требующих утилизации. Полученные результаты могут быть рекомендованы для утилизации нефтесодержащих отходов с полигонов нефтяных месторождений Западной Сибири путём сжигания на специализированных установках.

Библиографический список

1. Экоотоксикологические характеристики нефтезагрязнённых грунтов (шламов) после их реагентной обработки / О. А. Куликова, В. А. Терехова, Е. А. Мазлова, Ю. А. Нишкевич, К. А. Кыдралиева // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 120–126. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-120-126
2. Жакиинова А. Т., Середина В. П., Косов А. В. Некоторые аспекты утилизации нефтешламов путем сжигания с использованием термического метода (Западная Сибирь) // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны : сб. статей по материалам Междунар. науч. экол. конф. Краснодар : КубГАУ, 2022. С. 102–104.
3. Nosova M. V., Serecina V. P., Rybin A. S. Ecological State of Technogeneuous Saline Soil of Oil-Contaminated Alluvial Ecosystems and Their Remediation Techniques // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 921. P. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/921/1/012018
4. Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири / В. П. Середина, Е. В. Колесникова, В. А. Кондыков, А. И. Непотребный, С. А. Огнев // Нефтяное хозяйство. 2017. № 5. С. 108–112. doi: 10.24887/0028-2448-2017-5-108-112
5. Мухтаров Я. С., Суфиянов Р. Ш., Лашков В. А. Анализ источников образования нефтесодержащих отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2017. № 17. С. 220–223.
6. Прокофьева Н. Г. Разработка природоохранной пиролизной технологии утилизации углеводородсодержащих отходов с получением вторичных полезных продуктов. Тюмень : ТюмГНУ, 2013. 144 с.

ВОЗМОЖНОСТЬ ВОВЛЕЧЕНИЯ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ЦЕПОЧКУ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ЗАВОДА

К. А. Рак, Е. Ю. Сердюкова

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
kseniarak2000@gmail.com, serdyukova.e@gubkin.ru*

Актуальность работы определяется сложившейся ситуацией на мировом энергетическом рынке. Прогресс дефицита энергоресурсов в совокупности с политикой декарбонизации и рядом санкционных условий способствуют изменению структуры топливной индустрии. В работе обосновываются необходимость и возможность трансформации структуры нефтеперерабатывающего завода путем вовлечения возобновляемых источников сырья.

Ключевые слова: биоэнергетика, возобновляемые источники энергии, топливно-энергетический комплекс.

Одним из стимулов изменения структуры нефтегазового сектора в области развития альтернативной энергетики стала концепция глобального потепления, обусловленного деятельностью человека, прежде всего, выбросами парниковых газов.

Растущая озабоченность по поводу истощения запасов ископаемого топлива и выбросов парниковых газов привела к высокому уровню интереса к нетрадиционному топливу. Под термином альтернативная энергетика чаще всего понимают ветровые и солнечные установки, но наравне с ними значительную часть рынка «зеленой» энергетики занимает биоэнергетика. Биоэнергетика – одно из главных направлений развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в котором для получения возобновляемой энергии используются различные виды органической биомассы.

В XXI веке мировые энергетические рынки вступили на дорогу гигантских преобразований. Учитывая экологические проблемы и политику мировых держав в трансформации энергетического сектора, особое внимание уделяется производству биотоплив на основе растительного сырья [1]. Переход на биотопливо поможет обеспечить личную энергетическую безопасность каждой страны, снизив зависимость от импорта нефти.

Ресурсная база для производства биотоплив характеризуется широким спектром сырья биологического происхождения. Биотопливо условно делится на первичное и вторичное. Первичное – это топливо, которое используется в своей природной форме, например, топливная древесина, каменный уголь. Вторичное производится благодаря трансформации биомассы и делится на три поколения. Биотопливо первого поколения изготавливается из сельскохозяйственных культур, которые содержат большое количество сахаров, жиров, крахмала. При его производстве ставится задача об осуществлении продо-

вольственной безопасности для человечества. Из непищевого сырья изготавливается биотопливо второго поколения. Процесс состоит из переработки целлюлозы и лигнина, которые содержатся в древесной или волокнистой биомассе. Для производства биотоплива третьего поколения используются водоросли [2].

Опыт развития биотопливной индустрии зарубежных стран показывает возможность модернизации структуры действующих нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) с целью внедрения блоков по переработке растительного сырья. Итальянскую нефтегазовую компанию Eni можно назвать пионером в этой области. С 2014 г. компания перерабатывает растительное масло и биомассу на своем биоперерабатывающем заводе в Венеции, который является первым в мире примером преобразования обычного нефтеперерабатывающего завода, мощностью 3,5 млн т/год, в биоперерабатывающий завод [3].

Проблематикой проекта состоит в том, что Россия – один из крупнейших в мире производителей древесных гранул. Российская деревообрабатывающая промышленность ориентирована на экспорт. Ежегодно выпускается порядка 3 млн т топливных гранул [4]. В 2021 г. было экспортировано 2,4 млн т, преимущественно в Европу. 10 июля 2022 г. истек срок разрешения на ввоз российской продукции из древесины в Европу по старым контрактам. Из-за резкого снижения экспорта многие предприятия вынуждены остановить производство. При этом в нашей стране существует достаточно острая проблема утилизации отходов, образующихся на деревоперерабатывающих производствах. Чаще всего они складываются на полигонах, следствием, вырастут риски возникновения лесных пожаров.

В связи с этим в качестве сырьевой базы производства биотоплив в работе рассматривалась биомасса, представленная отходами деревообрабатывающих предприятий.

Учитывая особенность преобразования энергетического сектора Российской Федерации, особенно остро стоит вопрос интеграции традиционного и биопроизводства. Это возможно осуществить путем внедрения технологических установок, позволяющих перерабатывать растительное сырье в существующую структуру НПЗ. Примером такой коллаборации могут служить инсталляции установок пиролиза растительного сырья, производства био-ЭТБЭ, биоэтанола, биогаза или «зеленого» водорода в технологическую схему нефтеперерабатывающих предприятий.

Нами была составлена типовая поточная схема НПЗ, в которую внедрен блок по переработке растительного сырья (рис.).

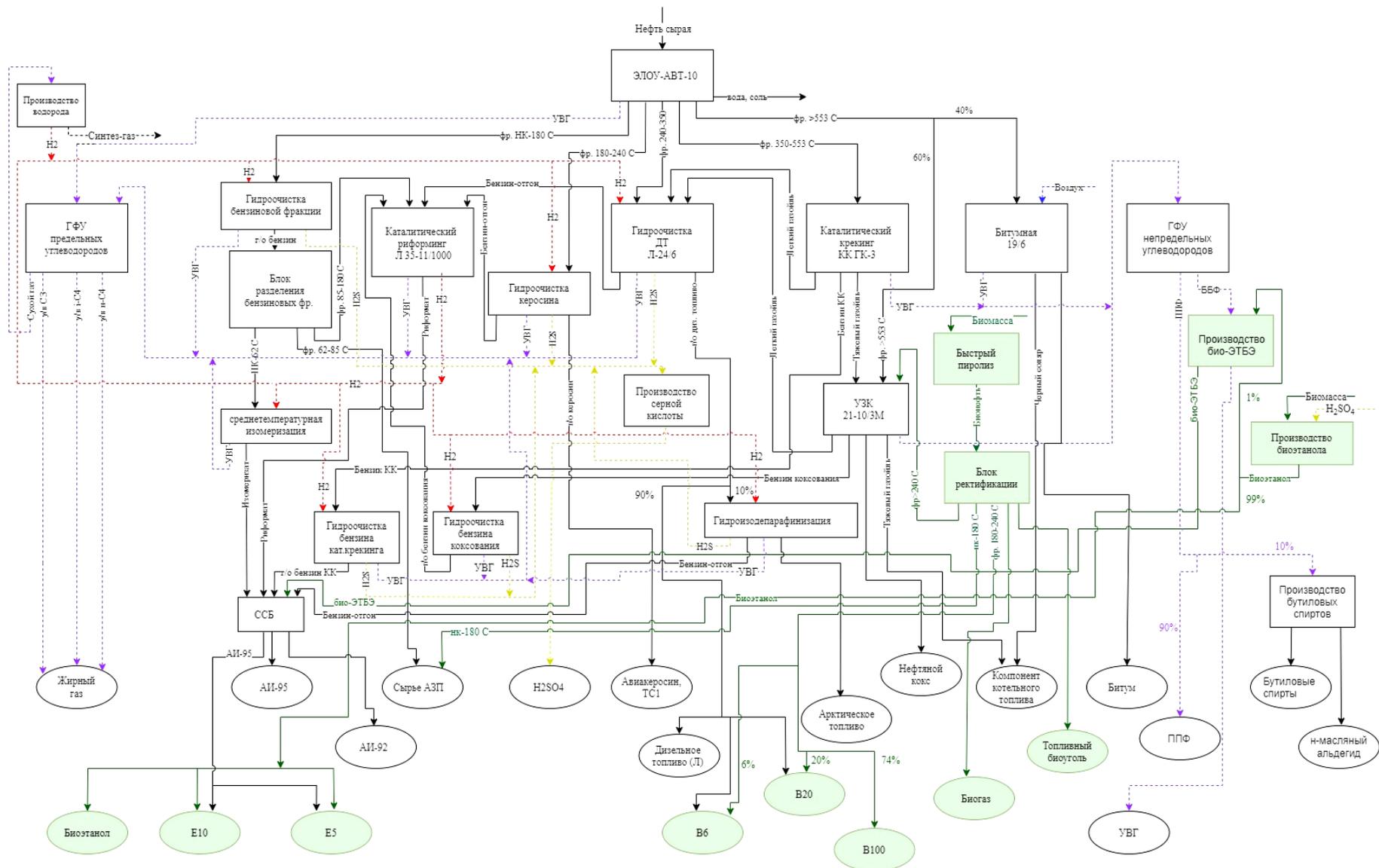


Рис. Поточная схема НПЗ топливно-нефтехимического профиля мощностью 10 млн т нефти в год с внедрением микрогрида

Для оценки экономической эффективности внедрения представленного блока по переработке растительного сырья был проведен анализ, который позволил определить производственную маржу для двух вариантов разработанных поточных схем.

Прогнозируемая прибыль НПЗ с внедренным в его структуру блока по переработке растительного сырья составит порядка 27,8 млрд руб., а производственная маржа традиционного НПЗ – 6,5 млрд руб. (табл.).

Таблица

Анализ эффективности блока по переработке растительного сырья в производственной системе нефтеперерабатывающего завода

	Традиционный нефтеперерабатывающий завод		Модернизированный нефтеперерабатывающий завод	
	количество, тыс. тонн в год	цена, руб/т	количество, тыс. тонн в год	цена, руб/т
Бензин	3451,15		4043,34	
АИ-92	2334,06	41974,00*	1840,79	41974,00*
АИ-95	1117,09	45929,00*	393,5	45929,00*
Е5	–		1055,37	44582,60
Е10	–		753,68	45028,40
ДТ	2566,04		3323,42	
ЛДТ	1322,02	53803,00*	1712,22	53803,00*
АДТ	1244,02	64470,00*	1611,20	64470,00*
В6	–		607,17	53803,00
В20	–		713,43	52352,00
В100	–		112,53	50707,00
Производственная маржа				
6,5 млрд руб			27,8 млрд руб	

Примечание: «–» означает, что на данный момент эта продукция не производится на предприятии.

Кроме экономического эффекта, была рассмотрена имиджевая целесообразность проекта. Принимая во внимание экологические проблемы и политику мировых держав в трансформации энергетического сектора, огромное внимание уделяется ESG-повестке, которая является важнейшим принципом работы ведущих российских корпораций. После Петербургского экономического форума 2021 г. ESG-концепция стала активно обсуждаться в сообществе. Ещё раньше большое количество российских компаний начали задумываться о ESG-подходе в своей деятельности, и это имело большое значение для позиционирования перед инвесторами и стейкхолдерами.

Вопрос развития возобновляемых источников энергии и вовлечение их в структуру ТЭК увеличивается с каждым годом, о чем свидетельствуют проведение многочисленных конференций, касающихся «зеленой» повестки, а также обсуждение данного направления на Петербургском международном экономическом форуме, где было отмечено, что сегодня зеленая энергетика – это новая реальность.

Библиографический список

1. Булаткин Г. А., Митенко Г. В., Гурьев И. Д. Альтернативная энергетика: новые ресурсы биотоплива из растительного сырья // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 2. С. 88–92. doi: 10.25750/1995-4301-2017-2-088-092
2. Информационное агентство Statista. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.statista.com> (дата обращения: 27.08.2022).
3. Официальный сайт нефтегазовой компании Eni. – URL: <https://www.eni.com/en-IT/media/press-release/2018/03/in-venice-the-vaporetti-run-on-eni-diesel.html> (дата обращения: 27.08.2022).
4. Обзор лесопромышленного комплекса России. 2019 год. – URL: <https://rosleshoz.gov.ru/opendata/7705598840-WoodVolume> (дата обращения: 01.09.2022).

ИЗНОШЕННЫЕ ШИНЫ – ВАЖНЫЙ СЫРЬЕВОЙ РЕСУРС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДОРОЖНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. Марьев¹, И. О. Тихонова²

¹ ФАУ «РОСДОРНИИ», maryevVA@rosdornii.ru

² РХТУ имени Д. И. Менделеева, itikhonova.i.o@muctr.ru

Рассматриваются вопросы реализации подходов Федерального проекта «Экономика замкнутого цикла» в части вовлечения вторичных ресурсов в экономический оборот в дорожной отрасли. Утилизация отходов с выпуском строительных материалов становится важнейшим акцентом в современных условиях. В качестве примера представлен технологический цикл утилизации изношенных шин с выпуском резинобитумных мастик.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла, вторичные ресурсы, резиновая крошка.

В настоящее время вопросы ресурсосбережения и ресурсной эффективности с вовлечением вторичных ресурсов в хозяйственный оборот становятся государственными приоритетами в Российской Федерации [1].

Дорожное хозяйство является потребителем значительного количества природных ресурсов. Среди крупнотоннажных отходов производства особо выделяются изношенные шины, которые являются ценным эластомерным сырьём в производстве строительных материалов. В Российской Федерации по разным оценкам ежегодно образуется ~ 0,8–1,0 млн т шин, подлежащих утилизации [2].

В настоящее время происходит систематизация деятельности по сбору и утилизации изношенных шин. Технологические решения по утилизации становятся всё более качественными, а это ведёт к увеличению предложения резиновой крошки, спрос на которую начинает уступать предложению. Весь объём полученной в процессе переработки резиновой крошки может быть использован для производства регенерата и продукции для дорожного строительства: мастик, дорожных вяжущих, гидроизоляционных рулонных матери-

алов. Кроме применения в дорожном строительстве, резиновая крошка может быть использована в производстве термоэластопластов, при этом разработанные уже в настоящее время технологии позволяют получать термоэластопласты, в которых до 85% составляет вторичное сырьё – переработанные пластики и резиновая крошка.

По результатам многолетних наблюдений и исследований доказано на практике [3], что применение резиновой крошки в дорожных вяжущих и мастиках показывает следующие результаты: улучшение физико-механики и реологии асфальтобетонов для покрытий и оснований; увеличение долговечности покрытий; снижение шума в населенных пунктах на 8–12 дБ; увеличение коэффициента сцепления покрытия; возможность снижения толщины конструктивных слоев.

Имеется успешный опыт применения модификатора РБВ-Г в Белоруссии с 2012 г., однако в Российской Федерации применение резинобитумных материалов и асфальтобетона не нашло широкого применения. Это обусловлено, в первую очередь, конкуренцией с битумными вяжущими и мастиками, модифицированными полимерами, а также необходимостью выработки государственной политики в отношении стимулирования применения вторичных ресурсов в строительстве.

Наиболее масштабным по объёму использования изношенных шин, по мнению авторов, может быть получение и применение, главным образом, именно резинобитумных мастик и вяжущих в дорожно-мостовом строительстве. Проведённые авторами исследования показали [4, 5], что производство мастик на основе резиновой крошки должно происходить при непосредственном создании композиционных материалов на основе химических реакций битума и резиновой крошки. Именно это стало для авторов предметом исследований, которые в итоге позволили получить строительные мастики с высокими эксплуатационными характеристиками.

Композиционные материалы «БРИТ», получаемые по двухстадийной технологии, были разработаны специалистами ООО «Ринтек» и прошли практическое апробирование с использованием оборудования стандартного асфальтобетонного завода [5].

В ходе исследований, проведённых в специализированной лаборатории нефтяных вяжущих было установлено, что мастика марки «БРИТ-И» представляет собой однородную вязкую массу, наполненную в основном частицами резиновой крошки размером ~ 0,5 мм и отдельными частицами размером до 2,0 мм, не содержащую посторонних включений; характеризуется достаточно высокой теплостойкостью (температура размягчения выше 60 °С) и морозостойкостью (температура хрупкости от минус 23 до минус 28 °С); способна выдерживать без разрушения усилие растяжения при разных температурах (относительная деформация составила при 25 °С – 300–400%, при 0°С – 100–200%); достаточно высоко эластична (способность к снятию напряжения на 30% за короткий промежуток времени – 3 мин); технологична при использовании (при нагреве до 160 °С при периодическом перемешивании легко

размягчается до текучего состояния; температура вспышки мастики – выше 250 °С) [6].

По результатам проведённых исследований были выданы рекомендации по применению композиционной марки «БРИТ-И» на автомобильных дорогах и строительных объектах при заделке деформационных швов железобетонных мостов; заделке продольных и поперечных швов и трещин цементно-асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог; заливке мелких трещин на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог; заполнении швов в прирельсовом пространстве трамвайных путей; проведении кровельных и гидроизоляционных работ.

Таким образом, вовлечение вторичных ресурсов в строительство и производство материалов является важным акцентом современных процессов. В этой связи становится необходимостью разработка научно-методических и поиск технологических подходов к переработке отходов и вторичных ресурсов с целью достижения стабильности строительных материалов.

Показана перспективность утилизации отработанных покрышек и шин для улучшения свойств асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов, а также щебёночно-мастичных резиноасфальтобетонов, применяемых в дорожном строительстве. Подобный подход может быть реализован в рамках Национального проекта «Безопасные качественные автомобильные дороги» он может способствовать выполнению принципов ресурсосбережения в рамках Федерального проекта «Экономика замкнутого цикла».

Библиографический список

1. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).
2. Вовлечение вторичных ресурсов в экономический оборот как одно из основных направлений реализации экологической промышленной политики в Российской Федерации / Т. С. Смирнова, Р. Г. Куприн, О. Б. Латонова, В. А. Марьев // Экономика устойчивого развития. 2020. № 3 (43). С. 200–206.
3. Ресурсосбережение при строительстве и ремонте дорожных асфальтобетонных покрытий за счет эффективного использования резиновой крошки / В. А. Марьев, А. В. Руденский, Б. М. Слепая, Ж. В. Перлина // Сборник «Дороги и Мосты». 2015. № 33. С. 334–344.
4. Проект СТО ГК «АВТОДОР» «Рациональное природопользование. Технические условия на асфальтобетонные смеси и асфальтобетон, содержащие резиновый модификатор» / В. А. Марьев, А. В. Руденский, Б. М. Слепая, Ю. В. Трофименко, Ж. В. Перлина // Российские автомобильные дороги» на период до 2030 года. Утверждена приказом ГК Автотор № 277 от 04.12.2015. М., 2015. 727. с.
5. Патент 2223990 Российская Федерация. Битумно-резиновая композиция и способ её получения / В. А. Марьев, В. А. Немцев, О. Н. Чернов, А. В. Руденский; Заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «РИНТЕК». № 2002102189/04; заявл. 29.01.2002; опубл. 20.02.2004.

6. Марьев В. А. Экотехнопарки – базовые элементы инфраструктуры экономики замкнутого цикла // Мир и наука в XXI веке: глобальные вызовы и риски : сб. материалов VI и VII междунар. науч. конф. цикла конференций / под общ. ред. проф. С. П. Киселевой. М. : Изд-во МНЭПУ, 2021. С. 77–84.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОКРЕКИНГА В ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ

Е. А. Хороших, Н. А. Толмачева

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
pavlienko_2014@inbox.ru*

В статье описываются существующие методы переработки полимерных отходов и рассматривается новый метод получения топлива из пластиковых отходов – каталитический гидрокрекинг. Проведен сравнительный анализ методов переработки полимерных отходов с целью выявления наиболее эффективных и востребованных способов получения новых материалов и сырья из использованного пластика.

Ключевые слова: полимерные отходы, рециклинг, гидрокрекинг, переработка пластиковых отходов, термическая деструкция.

Во всем мире пластиковые изделия пользуются большим спросом из-за их доступности и долговечности. Пластик используется для производства товаров как бытового, так и промышленного назначения. По данным статистики около 15% всех промышленных изделий в России изготовлены из пластмассы. В последние годы Россия существенно увеличила объемы производства различных видов пластика. Так, в 2014–2019 гг. прирост составил 64,2%.

Рост производства и использования пластмассы сопровождается ростом соответствующих отходов [1]. По данным Минпромторга, в России каждый год образуется около 3,6–5 млн т пластиковых отходов.

Переработка и утилизация пластиковых отходов является одной из самых острых и актуальных проблем для большинства стран мира, а загрязнение окружающей среды пластиковыми отходами – экологической катастрофой. Это связано с воздействием пластика на здоровье человека и окружающую среду, поскольку производство пластика сопровождается выбросами в атмосферу большого числа токсичных химических веществ: бутадиена, бензола, стирола, толуола и др. Многие из этих химикатов представляют особенно серьезную угрозу для здоровья человека, т. к. они приводят к различным заболеваниям, включая рак.

По оценкам Министерства торговли, уровень переработки пластика в России составляет 7–12,5%. При этом, различные эксперты оценивают данный показатель в диапазоне 5–25%, что является очень низким показателем как с точки зрения сохранения окружающей среды и здоровья людей, так и в сравнении с развитыми странами (более 60% в странах Западной Европы,

США, Японии). Остальная часть образующихся отходов пластика попадает на свалки или сжигается. В процессе захоронения твердых коммунальных отходов ежегодно безвозвратно теряется не менее 2 млн т полимерных материалов, что является проблемой как с точки зрения охраны окружающей среды, так и с точки зрения получения экономических выгод [2].

Пластмасса состоит из синтетических или природных высокомолекулярных соединений – полимеров.

Полимеры – вещества, состоящие из повторяющихся групп атомов (звеньев), из которых собираются длинные макромолекулы (полистирол, поливинилденхлорид, целлулоид). Такие звенья соединены между собой цепочками посредством химических связей [3].

Пластиковые изделия после использования сохраняют практически все свои свойства, поэтому вторичная переработка (рециклинг) является наиболее эффективным и экологически чистым способом, который дает вторую жизнь отходам. Полученные в результате переработки пластиковых отходов вторичные полимеры являются сырьем для промышленного выпуска различных товаров, таких как запасные части для автомобилей, упаковки и тары для производственного и бытового назначения и многого другого.

В России существует множество предприятий по приему и переработке вторичных пластиковых отходов и вторичных полимерных продуктов [4]:

1) «ДимАрт» (Эко-Партнер), г. Барнаул. Специализируется на дроблении и гранулировании пластиковых отходов и вторичных полимерных продуктов;

2) ООО «Вторсырьё», Белгородская область, п. Яковлево. Производит плёнку ПВД и ПНД (полиэтилен высокого давления и полиэтилен низкого давления), стретч-плёнку отсортированную, прессованную в кипы;

3) ООО «А-ПРОФИЛЬ», г. Иркутск. Специализируется на переработке полимерных отходов и использовании их в качестве сырья для производства полимерно-песчаной продукции: плитки, колодезных люков, бордюров и т. д.

Существуют различные методы переработки полимерных отходов [5]:

I. Механический рециклинг. Данный метод подразумевает механическое измельчение различных пластиковых волокон, некондиционных лент и отходов литья в крошку или порошок для дальнейшего производства бутылок, искусственного волокна, полимербетона и упаковок. При этом не происходит изменения физико-химических свойств пластика и его структуры. Для осуществления процесса используются дробилки, грануляционные установки, устройства для агломерации вторичных масс, системы замачивания и очистки, автоматизации, подъёмно-транспортное оборудование.

II. Химический рециклинг. Данный метод используется для переработки полимерных молекул, в результате которого образуются новые структуры, впоследствии используемые в двух направлениях: P2P (пластик-в-пластик) и P2F технологии (пластик-в-сырьё). P2P технология рециклинга заключается в переработке пластиковых отходов обратно в сырьё для производства конечных продуктов. P2F технологии создают более длинные циклы переработки,

конвертируя пластиковый мусор в нефтехимические продукты. Химический рециклинг также начинается со сбора и сортировки материала, после чего могут быть использованы несколько технологий, таких как гидролиз, гликолиз, сольволиз, метанолиз и др. Применимость химических методов во многом зависит от типа и строения полимера, его загрязненности и включений других видов пластиков.

III. Термическая деструкция. Термические методы переработки полимерных отходов основываются на способности сырья разрушаться под действием высокой температуры с образованием газообразных, жидких и твердых продуктов. Основными термическими методами переработки полимерных отходов являются пиролиз, газификация и сжигание.

Нефть, как известно, – жизненно важный ресурс для функционирования современного общества и одновременно – ограниченный ресурс. Во всем мире ведется активный поиск новых месторождений нефти, в том числе и альтернативных способов удовлетворения растущих потребностей в энергоносителях. В связи с обострением экологической ситуации утилизации пластиковых отходов исследователи из Центра инноваций в области пластмасс (Center for Plastics Innovation, CPI) при Делавэрском университете разработали новый метод преобразования пластиковых отходов – пластиковых пакетов, пластиковых бутылок и крышек, упаковки и др. в материалы для производства реактивного и дизельного топлива, смазочных материалов путем каталитического гидрокрекинга.

Каталитический гидрокрекинг – известный химический способ в нефтеперерабатывающей промышленности преобразования нефтяных фракций, мазута, гудрона под действием температуры, водорода, катализаторов и давления с целью получения бензина, дизельного и реактивного топлива. Значения давления, температуры, количество водорода и катализаторы устанавливаются в зависимости от желаемого продукта.

Суть использования этого метода для получения топлива из пластмасс состоит в том, чтобы расщепить твердые частицы трудноперерабатываемых пластмасс, известных как полиолефины (класс полимеров) на более мелкие молекулы углерода, а затем «добавить» к ним молекулы водорода для стабилизации материала. Температура протекания процесса 250 °С, катализатором выступает бифункциональный катализатор, который содержит два типа каталитических центров – кислотные и металлические. В качестве катализирующих компонентов выступили цеолиты и оксиды металлов. Цеолиты – минералы, обладающие сорбирующими, каталитическими, ионообменными и другими функциями. Их применяют в качестве адсорбентов в водоочистительном оборудовании, а также для смягчения бытовых моющих средств, где они нейтрализуют минералы, такие как кальций и магний, делая жесткую воду мягкой. В качестве металлического цеолита используются наночастицы платины, нанесенные на вольфрамированный диоксид циркония, они способны расщеплять большие молекулы в заданных пропорциях. Предлагаемый катализатор активен в гидрокрекинге различных видов пластмасс, в том числе

наиболее распространенных полипропилена и полиэтилена, предварительная сепарация отработанного сырья не требуется. Благодаря выбранному катализатору после разрушения пластика материал преобразуется в разветвленные молекулы, из которых напрямую производится конечный продукт – смазочные материалы или топливо [6].

Сравнительная характеристика методов переработки пластиковых отходов представлена в таблице [7–9].

Таблица

**Сравнительная характеристика методов переработки
пластиковых отходов**

Название процесса	Преимущества процесса	Недостатки процесса
Механический рециклинг	Простота и универсальность технологического оформления.	Высокая энергоёмкость процесса; требует более высокого качества поступающего в переработку сырья, любые присадки или красители могут привести как к понижению качества, так и снижению объемов производства.
Химический рециклинг (гидролиз, гликолиз, сольволиз и др.)	Меньшая потребность в сортировке полимерных материалов по сравнению с механической переработкой, иногда можно использовать неочищенные полимерные отходы, степень загрязнения которых исключает возможность механической переработки. Пластмассы, изготовленные способом гликолиза непригодны для пищевого использования.	На ограниченность применения данного метода влияет высокая стоимость комплекса операций, необходимых для восстановления мономера, а также для рециклинга воды, растворителей и реактивов, используемых в процессе переработки.
Каталитический гидрокрекинг	Переработка пластиковых отходов без сортировки, экономичность по энерго- и материалозатратам, относительно малое время протекания процесса.	Использование катализаторов.
Термическая деструкция (пиролиз, газификация)	Эффективное средство уменьшения объема отходов органических материалов; возможность переработки пластика без сортировки; возможность переработки отходов в энергию.	Высокая стоимость оборудования, необходимость дополнительной обработки отходов (сушка, измельчение), невозможность полного уничтожения отходов (зола, шлаки), самый ресурсо- и энергозатратный метод.

Из представленной выше сравнительной характеристики можно сделать вывод, что каждая технология переработки пластиковых отходов обладает преимуществами и недостатками, что позволяет выбрать наиболее оптимальную из них для переработки отхода и производства конкретного продукта. На сегодняшний день самым распространенным методом переработки пластика

является механический рециклинг. Большинство предприятий России используют данный метод для производства вторичных гранул, которые в дальнейшем используются в изготовлении стройматериалов, трубных изделий и т. д. Термическая деструкция является одним из самых эффективных, но при этом дорогостоящих и энергозатратных способов переработки пластика. Пиролиз разрушает 99% вредных сложносоставных веществ, которые входят в состав пластика, что делает его одним из самых экологичных вариантов переработки отходов, однако требует большого количества энергии. Также необходима дорогостоящая очистка отходящих газов.

Наиболее перспективными являются химические методы переработки отходов. Целесообразность использования данных методов заключается в возможности перерабатывать пластик без его предварительной сортировки и очистки от загрязнений. Ввиду сложности сбора раздельного мусора в России данные методы имеют большое преимущество.

Каталитический гидрокрекинг является настраиваемой, низкотемпературной, энергоэффективной технологией, которая не зависит от смешанного сырья и производит один из самых востребованных продуктов – бензин и дизельное топливо.

Таким образом, переработка пластиковых отходов, во-первых, позволяет сократить темпы накопления полимерных отходов в окружающей среде, тем самым снизив негативное воздействие от их размещения, во-вторых, позволяет снизить себестоимость производства новых материалов и изделий за счет экономии первичного сырья, в первую очередь, такого, как нефть.

Библиографический список

1. Бозарова Г. К., Хачатуров А. Е. Место биodeградируемых полимеров в общем объеме производства и использования пластиков // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 93–99. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-093-099
2. Пластик и пластиковые отходы в России: ситуация, проблемы и рекомендации / О. Сперанская, О. Понизова, О. Цитцер, Я. Гурский. М. : Нац. мед. исслед. центр кардиологии, 2021. 92 с.
3. Полимеры [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 12.10.2022).
4. Завод по переработке пластика. Заводы по покупке, переработке пластика отходов пластмасс в России [Электронный ресурс]. – URL: <http://pererabotkatbo.ru/zavodplastik.pg1.html> (дата обращения: 12.10.2022).
5. Переработка пластика [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 12.10.2022).
6. Гидрокрекинг как метод переработки [Электронный ресурс]. – URL: <https://teplokarta.ru/gidrokreking-kak-metod-pererabotki-plastikovyx-otkhodov> (дата обращения: 12.10.2022).
7. Тарамов Ю. Х., Эльмурзаев А. А., Абубакаров М. А. Анализ технологий получения топлива из вторичного сырья // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2019. Т. 15. № 3 (17). С. 78–83.
8. Куликова Ю. В., Тукачева К. О. Анализ технологий утилизации полимерных композиционных материалов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2017. Вып. 4. С. 103–120.

9. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования / В. Н. Шахова, А. А. Воробьева, И. А. Виткалова, А. С. Торлова, Е. С. Пикалов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 11 (2). С. 320–325.

РАЗРАБОТКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА, НАПОЛНЕННОГО ВОЛЛАСТОНИТОМ ИЗ ОТХОДОВ БОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

***С. Б. Ярусова¹, А. А. Охлопкова², Н. В. Гермогенова², С. Н. Данилова²,
П. С. Гордиенко¹***

¹ *Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук,
yarusova_10@mail.ru*

² *Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,
dsn.sakhayana@mail.ru*

В работе показана возможность применения волластонита, синтезированного из техногенных отходов (борогипса), в качестве наполнителя полимерных композиционных материалов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Показано, что введение волластонита в полимер приводит к повышению его прочности и износостойкости.

Ключевые слова: техногенные отходы, борогипс, волластонит, полимерные композиционные материалы, сверхвысокомолекулярный полиэтилен.

В настоящее время сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) является перспективным антифрикционным полимером для разработки деталей узлов трения техники и технологического оборудования, благодаря его высокой ударопрочности, прочности при растяжении и при сжатии, абразивостойкости и низкому значению коэффициента трения [1]. Однако без дополнительного модифицирования СВМПЭ при длительной эксплуатации испытывает значительный износ. Для улучшения относительной износостойкости СВМПЭ все чаще применяют армирующие наполнители. Ранее авторами была показана эффективность применения волластонита, синтезированного в модельной системе $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} - \text{KOH} - \text{H}_2\text{O}$ и из отходов производства борной кислоты (борогипса) [2, 3]. Было установлено, что введение волластонита, полученного как в модельной, так и в техногенной системе (из отходов), приводит к повышению износостойкости СВМПЭ в 5–6 раз. При этом волластонит армирует полимерную матрицу, из-за чего дополнительная внешняя нагрузка передается к наполнителю и участвует в ориентационных эффектах по направлению скольжения при трении. Введение волластонита интенсифицирует трибоокислительные процессы при изнашивании, что способствует формированию вторичных структур, защищающих материал от изнашивания. Кроме этого, в работах Tong J. [4], было показано применение

волластонита для повышения абразивной износостойкости СВМПЭ: абразивная износостойкость повысилась почти в 2 раза при соотношении сторон волокон, равном 20 : 1. Известны различные способы получения волластонита путем низкотемпературной или высокотемпературной обработки реагирующей смеси; с предварительной обработкой реагирующих компонентов с получением промежуточных продуктов в виде гидросиликатов или путем прямых реакций.

В данной работе проведено исследование добавки на основе волластонита, полученной в результате обжига промежуточного продукта щелочной обработки борогипса, на функциональные свойства полимерных композиционных материалов на основе СВМПЭ.

В качестве исходной полимерной матрицы использовали СВМПЭ марки GUR-4022 (Celanese, КНР) с молекулярной массой $5,0 \cdot 10^6$ г/моль. В качестве наполнителя использовали волластонит моноклинной модификации (PDF-2, 01-072-2297), полученный в результате обжига при 900 °С в течение 1 ч промежуточного продукта щелочной обработки борогипса при 25 °С.

Композиты получали стандартным методом переработки СВМПЭ при температуре 175 °С, давлении 10 МПа и при выдержке 20 мин. Физико-механические параметры изготовленных композитов определяли на разрывной машине «Autograph AGS-J» (Shimadzu, Япония). Триботехнические свойства ПКМ исследовали на трибометре UMT-3 (CETR, США). ИК-спектры поверхностей до и после трения композитов получали с помощью ИК-спектрометра Varian 7000 FT-IR (Varian, США).

Физико-механические и триботехнические характеристики образцов приведены в таблице.

Таблица

Свойства полимерных композитов с различным количеством волластонитсодержащей добавки

Композит	$\sigma_{рм}$, МПа	$\varepsilon_{рр}$, МПа	E, МПа	f	I, мг/ч
СВМПЭ	34±2	311±18	588±25	0,38±0,01	0,12±0,01
СВМПЭ+0,5 мас.% вол.	39±2	350±10	734±9	0,38±0,02	0,02±0,02
СВМПЭ+1 мас.% вол.	34±1	298±7	688±33	0,40±0,02	0,11±0,01
СВМПЭ+2 мас.% вол.	35±1	318±11	716±15	0,35±0,01	0,07±0,01
СВМПЭ+5 мас.% вол.	34±1	319±6	702±27	0,39±0,01	0,10±0,01

Примечание: $\sigma_{рм}$, МПа – предел прочности при растяжении; $\varepsilon_{рр}$, МПа – относительное удлинение при разрыве; E, МПа – модуль упругости; f – коэффициент трения; I, мг/ч – скорость массового изнашивания.

Анализ результатов физико-механических исследований показывает, что введение волластонита приводит к повышению предела прочности на 15% и модуля упругости на 24% по сравнению с исходным полимером. Композиты с концентрацией 1, 2 и 5 мас.% волластонита характеризуются сохранением значения предела прочности при растяжении и относительного удлинения на уровне исходного СВМПЭ, т. е. не наблюдается снижения этих параметров.

На основании результатов триботехнических исследований показано, что относительная износостойкость композита, содержащего 0,5 мас.% волластонита, увеличивается в 6 раз по сравнению с ненаполненным СВМПЭ. При фрикционном взаимодействии в зоне металлополимерного контакта формируется пленка переноса из материала, который облегчает сдвиговое напряжение при трении. Далее в процессе повторяющегося механического взаимодействия соприкасающихся тел на поверхности композита формируется вторичная структура, которая защищает материал от дальнейшего изнашивания. Для изучения процессов формирования вторичных структур, провели исследование поверхностей трения методом ИК-спектроскопии. ИК-спектры поверхностей до и после трения СВМПЭ и композитов представлены на рисунке.

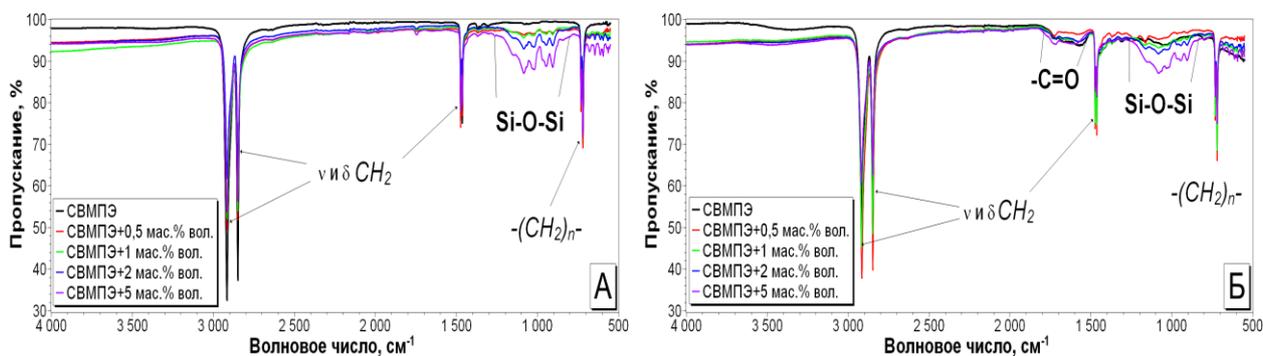


Рис. ИК-спектры композитов до (А) и после (Б) трения

В ИК-спектрах выявлено наличие пиков при 2920 см^{-1} , 2850 см^{-1} и 1450 см^{-1} , соответствующих валентным и деформационным колебаниям CH_2^- группы, и пик при 720 см^{-1} , обусловленный маятниковыми колебаниями полимерной цепи. Кроме того, при введении волластонита наблюдается появление полос поглощения в области $850\text{--}1100\text{ см}^{-1}$, соответствующих симметричным и асимметричным колебаниям связи Si-O-Si тетраэдров кремнекислородного каркаса у волластонита, при этом интенсивность повышается с увеличением содержания наполнителя.

В ИК-спектрах композитов после трения зафиксированы пики, соответствующие кислородсодержащим группам: в области $1560\text{--}1720\text{ см}^{-1}$, которые относятся к валентным колебаниям --C=O связей, и слабая полоса поглощения в области $3241\text{--}3656\text{ см}^{-1}$, вызванная валентными колебаниями O-H связей. С увеличением содержания волластонита в объеме полимера в ИК-спектрах поверхности трения не зафиксировано повышения интенсивности пиков кислородсодержащих групп. Возможно, это обусловлено тем, что наполнитель не интенсифицирует процессы окисления. Кроме того, наблюдается снижение интенсивности пиков кремний-кислородных связей, относящихся к волластониту, по сравнению с ИК-спектрами композитов до трения.

Таким образом, показана эффективность применения волластонита в качестве армирующего наполнителя для повышения относительной износостойкости СВМПЭ. Установлено, что введение 0,5 мас.% волластонита спо-

способствует снижению скорости массового изнашивания в 6 раз и повышению прочности при растяжении на 15% относительно исходного полимера.

Синтез и характеристика наполнителя выполнены в рамках гос.задания ИХ ДВО РАН, проект FWFN(0205)-2022-0002. Исследование функциональных свойств ПКМ выполнены при финансовой поддержке МНи-ВО РФ НИР № FSRG–2023–0010.

Библиографический список

1. Исследование трибологических свойств органопластиков на основе тканого армирующего наполнителя / Г. С. Кулагина, А. В. Коробова, С. В. Зуев, Г. Ф. Железина // Труды ВИАМ. 2016. №. 11 (47). 6 с. doi:10.18577/2307-6046-2016-0-11-6-6
2. UHMWPE/CaSiO₃ Nanocomposite: Mechanical and Tribological Properties / S. N. Danilova, S. B. Yarusova, Y. N. Kulchin, I. G. Zhevtun, I. Yu. Buravlev, A. A. Okhlopko-va, P. S. Gordienko, E. P. Subbotin // Polymers. 2021. Vol. 13. Article No. 570. doi: 10.3390/polym13040570
3. Модифицирование СВМПЭ wollastonитом, синтезированным из отходов борного производства / С. Н. Данилова, С. Б. Ярусова, И. Ю. Буравлев, С. А. Слепцова, Е. Г. Игнатъева, В. Ю. Ягофаров, П. С. Гордиенко, А. А. Охлопкова // Полимерные материалы и технологии. 2021. Т. 7. №. 1. С. 71–82. doi: 10.32864/polymmattech-2021-7-1-71-82
4. Free abrasive wear behavior of UHMWPE composites filled with wollastonite fibers / J. Tong, Y. Ma, R. D. Arnell, L. Ren // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2006. Vol. 37. No. 1. P. 38–45. doi: 10.1016/j.compositesa.2005.05.023

УТИЛИЗАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

В. А. Верховина, К. Б. Пуртова

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
purtova_ksenya@mail.ru*

В статье выполнен анализ современной ситуации в области утилизации древесных отходов лесоперерабатывающего комплекса, рассмотрены инновационные технологии утилизации древесных отходов, нормативные документы, регламентирующие производство, представлены проблемы и перспективы развития данного направления.

Ключевые слова: утилизация, технология, инновации, гранулирование, пеллеты, биоуголь, рациональное использование, ресурсосберегающие технологии.

Одной из главных проблем работы лесопромышленного комплекса России является образование древесных отходов практически на всех стадиях лесозаготовительного и деревообрабатывающего процессов.

Вовлечение в хозяйственный оборот древесных отходов является одним из важнейших и наиболее перспективных экологических направлений, решающих вопросы снижения загрязнений окружающей среды и обеспечивающих внедрение энерго-и ресурсосберегающих технологий [1].

В связи с общемировой тенденцией расширения многоцелевого использования древесины особо актуальными являются вопросы утилизации древесных отходов. Совершенствование технологических процессов на современном этапе необходимо производить на качественно новом уровне, т. е. создавать высокоэффективные технологии и оборудование для комплексной переработки и рационального использования древесного сырья на всех стадиях производственного процесса.

Наиболее остро проблема утилизации древесных отходов встала после запрета экспорта необработанной круглой древесины и на открытое сжигание отходов лесопиления с 1 января 2022 г. Это значит, что объём отходов значительно возрастёт, и всё сырьё нужно будет перерабатывать в полезную продукцию.

Одними из основных проблем утилизации древесных отходов являются следующие:

- не все отходы могут быть использованы для переработки из-за существующих технологических ограничений. Пни, ветви, древесная зелень остаются брошенными на обработанных лесных участках. Кусковые отходы в виде горбыля, порубочных остатков, коры формируют целые свалки, о борьбе с которыми все чаще говорят на уровне Правительства РФ. Также нерешенной остается проблема переработки вторичной древесины – паллет, разобранных деревянных конструкций;

- выбросы углекислого газа со времен промышленной революции выросли на 50% и превратились в глобальную экологическую проблему. CO₂ выделяется в процессе разложения перерабатываемых древесных отходов, и в процессе их сжигания, да и сами по себе многие виды переработки требуют существенных энергозатрат, в процессе которых опять же выделяется углекислый газ.

Истощение ископаемых видов топлива и необходимость снижения выбросов парниковых газов привели к росту использования биомассы, в частности древесных отходов для производства тепла и электроэнергии.

Одним из эффективных современных инновационных подходов к утилизации отходов деревообрабатывающего производства является технология производства древесных гранул – топливных пеллет.

Древесные гранулы – топливные пеллеты, являются твердым энергетическим носителем, произведенным путем механизированного изменения биомассы без химических закрепителей под высоким давлением (80–90 МПа и $t = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$). Их еще называют «улучшенным» (или даже «облагороженным») топливом. В расчет берутся следующие параметры [2]:

- горение гранул в топке котла происходит более эффективно: количество остатков (золы) не превышает 0,5–1% от общего объема используемых гранул;

- при сжигании гранулы не оказывают негативного влияния на окружающую среду;

– гранулы не содержат скрытых пор, склонных к самовоспламенению при повышении температуры.

Огромный лесной фонд России позволяет обеспечить пеллетные предприятия сырьем на долгие годы. Грамотная организация производства и отсутствие монополии на пеллетном рынке открывают широкие перспективы для развития такого бизнеса.

Практически любой вид биомассы можно рассматривать как потенциальное сырьё для изготовления топливных гранул. Однако большинство установок для производства топливных гранул – пеллет, работающих по всему миру, используют древесные отходы (опилки, стружку, щепу, кору, пыль древесную). Подобная биомасса состоит из пяти основных компонентов: лигнинцеллюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, смолы, минералов [2].

Важнейшим компонентом для гранулирования является лигнин [2]. Его можно рассматривать как природный связывающий агент, который удерживает древесные частицы вместе после придания топливному элементу необходимой формы. Чем больше в сырье лигнина, тем прочнее топливные гранулы. Производство качественных гранул только из одного вида древесины затруднительно, поэтому чаще используют различные смеси из пород. Обычно хвойные составляют приблизительно 70% от общего количества сырья из-за высокого содержания лигнина, которого немного в твёрдых лиственных породах, но зато они обладают большой теплотворной способностью.

Древесные гранулы – пеллеты имеют огромные преимущества по сравнению с традиционными видами топлива:

– теплотворная способность их составляет 4,5–4,7 кВт/кг (от 16 МДж/кг), что в 1,5 раза больше, чем у дров, и сравнима с углем;

– конструктивные особенности печей позволяют автоматизировать процесс получения необходимого количества тепловой энергии;

– древесные гранулы, как производные от древесины, являются безопасным сырьем в плане экологичности и антиаллергенности в виду исключения химических соединений при производстве;

– древесные гранулы обладают высокой энергоконцентрацией при незначительном занимаемом объеме, кроме того, гранулы могут перемещаться в автоматических печах и могут вдуваться на склад и транспорт;

– пепел может использоваться как удобрение. Зола составляет до 1% от массы топлива, пепел убирается в современных печах и котлах раз в два года;

– так как гранулы обладают высокой насыпной массой, требуется не много места для складирования.

Основными недостатками являются трудоемкость и капиталоемкость изготовления древесных гранул.

Этапы технологического процесса производства топливных гранул могут отличаться на различных предприятиях. В основном это связано с типом используемого сырья и содержанием в нём влаги. Однако любое производство по гранулированию биомассы включает в себя следующие процедуры:

предварительная обработка, собственно гранулирование, постобработка полученных гранул [2].

Один из ключевых показателей качества пеллет – зольность. Именно этот параметр жёстко контролируется покупателями на европейском и азиатском рынках. Российские экспортёры поставляют в страны Евросоюза и Азии только топливные гранулы зольностью ниже 1,5%.

В настоящее время одновременно в нескольких странах действует целый ряд национальных стандартов на топливные гранулы.

Основным нормативным документом, регламентирующим производство топливных гранул – пеллет, является стандарт Евросоюза EN 14961-2, принятый в январе 2011 г., на основании которого выдаётся международный сертификат качества EN Plus. В соответствии со стандартом выделяют три класса гранулированного топлива:

– ENPlus-A1 – премиум-качества, диаметром до 8 мм, зольностью до 0,7%; другое название «белые гранулы»;

– ENPlus-A2 – зольностью до 1,5%; другое название «индустриальные гранулы», могут производиться из разных пород древесины;

– EN-B – стандартного качества, зольностью до 3%; альтернативное название «агропеллеты».

Наилучшие результаты достигаются из сырья, полученного из древесного ствола. Из него изготавливают механически прочные гранулы высочайшего качества, соответствующие классу A1 согласно европейскому стандарту EN 14961, с небольшим содержанием золы.

Экологические нормы РФ не запрещают производство пеллет зольностью выше 1,5% для внутреннего рынка.

Типичные характеристики пеллет выглядят так: диаметр – 6–12 мм, длина – в 4–5 раз больше диаметра, объёмная плотность – 500–600 кг/м³, содержание влаги – 8–12%, зольность – менее 0,5%, теплотворная способность – 17–18 МДж/кг [2].

Ещё одним перспективным инновационным направлением утилизации древесных отходов лесопромышленного комплекса является технология производства биоугля Green Carbon [3]. В процессе производства биоугля генерируется углерод-нейтральное тепло и может генерироваться электроэнергия (на основе органического цикла Ренкина (ORC)), которые могут использоваться как для собственных нужд предприятия, так и отданы во внешние сети.

В качестве сырья при производстве биоугля может быть использовано практически любое органическое сырьё – кора, измельчённая древесина, в том числе вторичная в виде паллет, поддонов и т. п., щепа, фрезерная и окорочная стружка, круглые лесоматериалы, опилки, спелая древесина и многое другое. При этом влажность сырья может достигать 80%, она лишь повлияет на время предварительной сушки.

Сам технологический процесс максимально автоматизирован и экологичен. Первое технологическое звено – сушка. Специальные контейнеры заполняются сырьём и высушиваются горячим воздухом, получаемым от избы-

точной энергии пиролиза. Процесс занимает порядка 24 ч, в результате чего влажность сокращается до 10–18%. После этого материал подаётся на станцию загрузки, где загружается в реторты. Перед поступлением сырья на пиролиз заполненные реторты автоматически транспортируются к станции предварительного нагрева. Здесь исходный материал нагревается горячим воздухом в течение 4–5 ч при температуре 100–120 °С. Это сокращает время, требуемое на станции пиролиза, и повышает производительность установки.

После предварительного нагрева реторты перемещаются на станцию пиролиза в реакторы. Процесс пиролиза занимает 1–3 ч и проходит при температуре реактора 650–900 °С. Станция получает энергию от сжигания топлива и пиролизных газов в топочном устройстве: при карбонизации выделяются пиролизные газы, которые не выбрасываются в атмосферу, а поступают в топочное устройство, сжигаются там, в результате чего выделяется тепловая энергия. При этом большая часть тепла получается за счёт сжигания пиролизных газов, а древесное топливо используется лишь для поддержания горения в топочном устройстве – для этого требуется всего 3–4% от общего объёма биомассы. По завершению процесса пиролиза реторты транспортируются дальше на станцию охлаждения. После охлаждения без доступа кислорода в течение суток до температуры окружающей среды реторты выгружаются на автоматической станции разгрузки, и полученный биоуголь подаётся на станцию ситовых аппаратов или дробления, что позволяет получать в итоге продукт необходимых размеров и фракций: биоуголь может быть кусковой, в виде брикетов и гранул, а также в виде порошка.

Завершающая весь производственный процесс станция – упаковочная, где продукция фасуется согласно фракционному составу и упаковывается, например, в мешки и мягкую упаковку – биг-беги или другую упаковку по требованию заказчика.

При такой технологии одновременно могут производиться разные виды биоугля из разного сырья при различных требованиях к конечному продукту от потенциальных заказчиков. Например, уголь для барбекю, кормовая добавка, почвенный субстрат и уголь для последующей активации. Все эти продукты имеют совершенно разные требования и к исходному сырью, и к окончательной сортировке, и технология позволяет это учесть, обеспечив прослеживаемость каждой партии, благодаря автоматической записи данных производства в системе управления установкой. Это позволяет без затруднений пройти необходимую сертификацию и разрешения для использования в тех областях применения, где это требуется.

Повышению рентабельности деревообрабатывающего предприятия способствует развитие безотходного производства. На сегодня наблюдается устойчивое увеличение количества потребителей, использующих топливные гранулы – пеллеты, для работы котельных как в промышленности, так и в частных домовладениях.

Увеличение использования вторичных древесных ресурсов является важнейшим звеном в развитии политики ресурсосбережения, рационального природопользования, экологической безопасности производства.

Библиографический список

1. Чубинский А. Н., Варанкина С. Утилизация древесных отходов : методические указания по самостоятельному изучению дисциплины для студентов направления 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств». СПб. : СПбГЛТУ, 2015. 29 с.
2. Проектная документация ООО «Атлант» «Цех прессования пеллет». ООО «СКИП». р. п. Янталь, 2016. 92 с.
3. Отраслевой журнал лесопромышленного комплекса Сибири. «ЛПК Сибири». 2020. № 15 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.biomass.polytechnik.com_LAW_11507/c0a49fc869aeeb5b28ca88d3d37b7d8f7474375f/ (дата обращения: 19.10.2022).

ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БАЗИДИОМИЦЕТА *IRPEx LACTEUS* (FR.) FR. ПРИ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ НА ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛКАХ

О. В. Чемерис

Донецкий национальный университет, chemeris07@rambler.ru

В статье представлены результаты исследования целлюлозолитической активности пяти штаммов дереворазрушающего базидиомицета *Irpex lacteus* в условиях твердофазной ферментации на древесных опилках. Установлено влияние индукторов растительного происхождения (древесных опилок) на биосинтез ферментов целлюлазного комплекса штаммами *I. lacteus*. Оптимальным индуктором для биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса штаммами *I. lacteus* являются опилки яблони.

Ключевые слова: базидиомицет *Irpex lacteus*, целлюлозолитическая активность, твердофазное культивирование, древесные опилки.

Лигноцеллюлозные отходы являются наиболее распространенной биологически возобновляемой биомассой на Земле, и при их гидролизе образуются высоко ценимые редуцирующие сахара [1]. Наиболее благоприятным является ферментативный гидролиз целлюлозы, позволяющий как вернуть углерод в природный цикл, так и уменьшить количество отходов [2]. Ферментные препараты целлюлаз нашли широкое промышленное применение [3, 4].

Базидиомицеты способны к деградации целлюлозы [5]. При этом целлюлозолитические системы грибов отличаются от комплекса целлюлозолитических ферментов бактерий [6]. В последние несколько лет интенсифицировались исследования процесса разложения целлюлозы базидиальными грибами и их целлюлазного комплекса.

Целлюлазы являются индуцируемыми ферментами, и регуляция их биосинтеза тонко контролируется механизмами активации и репрессии [7].

Кроме того, на биосинтез целлюлаз базидиомицетами влияет ряд факторов, таких как вид продуцента [8], состав питательной среды и условия культивирования [9, 10], способ культивирования (твердо- или жидкофазное культивирование) [11] и т. д.

Целью данной работы было исследование влияния индукторов растительного происхождения на биосинтез ферментов целлюлозолитического действия грибом *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. в условиях твердофазной ферментации.

Пять штаммов *I. lacteus* культивировали в колбах Эрленмейера объемом 100 мл на увлажненных опилках хвойных пород (размер частиц 2–3 мм) и яблони (размер частиц 5–7 мм) в течение 30 суток при температуре 32 °С. Экстракцию внеклеточных целлюлозолитических ферментов проводили 20 мл холодной дистиллированной воды в течение 1 ч. Активность ферментов целлюлазного комплекса определяли через каждые 5 суток, начиная с 5-го дня после инокуляции продуцентом относительно следующих субстратов: фильтровальная бумага (Filtrak, плотность 90 г/м²) – общая целлюлозолитическая активность, Na-карбоксиметилцеллюлоза (C5678, Sigma, США) – эндоглюканазная активность. Состав реакционных смесей для определения целлюлозолитической активности и условия проведения реакций соответствовали общепринятым методикам [12–14]. За единицу целлюлозолитической активности (Ед) принимали такое количество фермента, которое образовывало 1 мкмоль редуцирующих сахаров в течение 1 мин в условиях опыта (t=+37 °С). Удельную активность (Ед./мг) определяли отношением общей активности культуральной жидкости (Ед./мл) к содержанию белка в культуральной жидкости (мг/мл). Редуцирующие сахара определяли методом Шомодьи-Нельсона (калибровочный график строили по глюкозе) [12, 13, 15].

Содержание белка в культуральной жидкости определяли по методу Бредфорда [16].

Исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку полученных данных осуществляли методом дисперсионного анализа качественных и количественных признаков, а сравнение средних арифметических величин – по критерию Дункана [17].

Штаммы *I. lacteus* проявили значительные отличия по целлюлозолитической активности при твердофазном культивировании на древесных опилках уже с 5-х суток культивирования. Установлено, что при использовании опилок хвойных пород наблюдалась достаточно высокая общая целлюлозолитическая активность у всех исследованных штаммов *I. lacteus*. Наиболее высокие значения ферментативной активности относительно фильтровальной бумаги отмечены для штамма 2434 – 4,16 Ед./мг, для штаммов 1082, 1631 и 1632 – 2,0–2,49 Ед./мг, для штамма 1080 установлены наименьшие значения – на уровне 0,82 Ед./мг. Дальнейшее культивирование штаммов приводило к снижению активности целлюлаз, за исключением штамма 1631, активность целлюлозолитических ферментов которого возрастала в четыре раза и составила 8,91 Ед./мг на 10-е сутки. Также незначительное повышение активности ферментов целлюлазного комплекса отмечено для штамма 2434.

При использовании опилок яблони в качестве индуктора биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса отмечены более низкие значения удельной целлюлозолитической активности штаммов *I. lacteus* на 5-е сутки твердофазного культивирования по сравнению с культивированием на хвойных опилках. Так, для штаммов-продуцентов 1080, 1082, 1631 и 1632 она была невысокой и составляла 0,44–0,64 Ед./мг. Однако общая целлюлозолитическая активность штамма 2434 в этот период была значительно выше и достигала значений 2,69 Ед./мг. При дальнейшем культивировании штаммов *I. lacteus* общая целлюлозолитическая активность значительно повышалась. Так, для штаммов *I. lacteus* 1080, 1082 и 1631 отмечена высокая активность целлюлаз свыше 4 Ед./мг на 25-е сутки культивирования.

В результате проведенных исследований отмечен разный характер проявления эндоглюканазной активности штаммов *I. lacteus* при твердофазном культивировании на древесных опилках. Так, эндоглюканазная активность штаммов *I. lacteus* при культивировании на хвойных опилках была ниже, чем при использовании опилок яблони в качестве индуктора синтеза целлюлаз. При этом максимальные значения активности ферментов отмечены на 5-е сутки твердофазного культивирования на хвойных опилках штаммов и значения активности эндоглюканаз составили от 27,38 до 43,09 Ед./мг. Дальнейшее культивирование на хвойных опилках приводило к снижению активности эндоглюканаз штаммов *I. lacteus*.

При использовании опилок яблони в качестве индуктора биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса при твердофазном культивировании штаммов *I. lacteus* наблюдался иной характер проявления эндоглюканазной активности. Максимальные значения эндоглюканазной активности штаммов *I. lacteus* отмечены на более поздних этапах культивирования. На 25-е сутки культивирования они составили от 65,22 до 110,03 Ед./мг для штаммов 1080, 1082, 1631 и 2434. Исключение составил штамм 1632, максимум активности эндоглюканаз которого отмечен на 10-е сутки культивирования.

Анализируя полученные данные нужно отметить, что вид лигноцеллюлозного субстрата оказывал значительное влияние на синтез ферментов целлюлазного комплекса данными штаммами-продуцентами.

Таким образом, при твердофазном культивировании штаммов *I. lacteus* в качестве индукторов ферментов целлюлазного комплекса могут быть использованы древесные опилки хвойные пород и яблони. Оптимальным индуктором для биосинтеза ферментов целлюлазного комплекса штаммами *I. lacteus* являются опилки яблони.

Библиографический список

1. The path forward for biofuels and biomaterials / A. J. Ragauskas, C. K. Williams, B. H. Davison, G. Britovsek, J. Cairney, C. A. Eckert, W. J. Frederick, Jr., J. P. Hallett, D. J. Leak, C. L. Liotta, J. R. Mielenz, R. Murphy, R. Templer, T. Tschaplinski. // Science. 2006. Vol. 311. No. 5760. P. 484–489. doi: 10.1126/science.1114736

2. Фоменко И. А., Тучкова С. Н. Утилизация целлюлозосодержащих отходов при помощи грибов // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 5. С. 123–133. doi: 10.47370/2072-0920-2021-17-5-123-133
3. Kirk O., Borchert T. V., Fuglsang C. C. Industrial enzyme applications // Curr. Opin. Biotechnol. 2002. Vol. 13 (4). P. 345–351. doi: 10.1016/S0958-1669(02)00328-2
4. Сравнительная характеристика роста и целлюлазной активности стрептомицетов на различных субстратах / И. Г. Широких, Я. И. Назарова, Н. А. Боков, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 122–127. doi: 10.25750/1995-4301-2021-2-122-127
5. Грибные препараты для деградации лигнинсодержащих отходов: оценка биобезопасности / В. А. Терехова, О. В. Королева, А. А. Рахлеева, Н. А. Куликова, Е. О. Ландесман, О. И. Кляйн // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 3. С. 50–54. doi: 10.25750/1995-4301-2012-3-050-054
6. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology / L. R. Lynd, P. J. Weimer, W. H. van Zyl, I. S. Pretorius // Microbiol Mol Biol Rev. 2002. Vol. 66 (3). P. 506–577. doi: 10.1128/MMBR.66.3.506-577.2002
7. Mach R. L., Zeilinger S. Regulation of gene expression in industrial fungi: *Trichoderma* // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2003. Vol. 60(5). P. 515–522. doi: 10.1007/s00253-002-1162-x
8. Study on regulation of growth and biosynthesis of cellulolytic enzymes from newly isolated *Aspergillus fumigatus* ABK9 / A. Das, T. Paul, S. K. Halder, C. Maity, P. K. Das Mohapatra, B. R. Pati, K. C. Mondal // Polish Journal of Microbiology. 2013. Vol. 62. No. 1. P. 31–43.
9. Левина Е. А., Атыкян Н. А., Ревин В. В. Влияние источников углеродного и азотного питания на биосинтез целлюлаз грибами *Lentinus tigrinus* ВКМ F-3616 D и *Trichoderma viride* ВКМ F-1131 // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. 2016. № 1. С. 85–93.
10. Metreveli E., Khardziani T., Elisashvili V. The carbon source controls the secretion and yield of polysaccharide-hydrolyzing enzymes of Basidiomycetes // Biomolecules. 2021. Vol. 11. Article No. 1341. doi: 10.3390/biom11091341
11. Cellulase production by white-rot basidiomycetous fungi: solid-state versus submerged cultivation / J. A. Bentil, A. Thygesen, M. Mensah, L. Lange, A. S. Meyer // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2018. Vol. 102. No. 14. P. 5827–5839. doi: 10.1007/s00253-018-9072-8
12. Сеницын А. П., Гусаков А. В., Черноглазов В. М. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов : учебное пособие. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.
13. Сеницын А. П., Черноглазов В. М., Гусаков А. В. Методы изучения и свойства целлюлозолитических ферментов // Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология. 1993. Т. 25. 152 с.
14. Ghose T. K. Measurement of cellulase activity // Pure Appl. Chem. 1987. Vol. 59. No. 2. P. 257–268.
15. Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of sugars // J. Biol. Chem. 1944. Vol. 153. No. 2. P. 375–379.
16. Bradford M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Anal. Biochem. 1976. Vol. 72. P. 248–254.
17. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів : навч. посібник. Донецьк : Кассиопея, 1999. 210 с.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ И РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ СЫРЬЯ НА ВЫХОД И ЧИСТОТУ БЕТУЛИНА

*А. А. Айвазян, А. П. Бозова, К. А. Нагаева, И. В. Иванцов,
С. В. Девятерикова*

*Вятский государственный университет,
stud115860@vyatsu.ru, stud115414@vyatsu.ru, stud115408@vyatsu.ru,
stud106170@vyatsu.ru, usr01730@vyatsu.ru*

В статье представлены результаты извлечения бетулина из сырья с различным размером частиц, различными методами, а именно: прямой экстракцией, совместной активацией щелочью и экстракцией 1-бутанолом, последовательной активацией щелочью и экстракцией 1-бутанолом.

Ключевые слова: бетулин, березовая кора, экстракция.

По количеству получаемых отходов деревообрабатывающая промышленность занимает одно из первых мест. Березовая кора является ценным и малоиспользуемым отходом деревообрабатывающей промышленности. Основным продуктом ее переработки – бетулин, который обладает широким спектром ценных свойств [1].

Большая часть сырья лесопромышленных производств подвергается предварительной окорке, то есть происходит зачистка наружного слоя стволовой части дерева. После проведения этого процесса образуются большие отвалы коры.

На различных деревообрабатывающих комбинатах существуют разные способы переработки древесной коры, как отхода производства [2]. Выбор пути утилизации зависит от множества разнообразных факторов, главным из которых является экономический. Например, небольшие комбинаты с ограниченным бюджетом используют вывоз коры с территории предприятия, более крупные производства могут осуществлять переработку коры разными способами [3].

Кора березы имеет две четко различимые части – внешнюю и внутреннюю. Наиболее богата экстрактивными веществами внешняя часть коры: их содержание доходит до 40% от массы. Основным компонентом практически всех экстрактов является бетулин, обуславливающий белый цвет коры [4].

Это доказывает актуальность поиска новых способов переработки березовой коры с целью извлечения бетулина.

Бетулин представляет собой белый порошок без запаха, имеет слабый вяжущий вкус. Он обладает противовирусными, противогрибковыми, солнцезащитными свойствами [3].

Целью работы было сравнить прямую, последовательную и совместную экстракцию для выделения бетулина из коры березы, а также выявить зависимость между размерами исходного сырья и выходом бетулина.

Прямую экстракцию бетулина из коры березы проводили по следующей методике. 56 г мелко нарезанной коры березы заливали 0,3 л 1-бутанола и выдерживали при температуре ниже 117,7 °С в течение 2-х ч. Получившуюся в результате массу фильтровали на нутч-фильтре, отжимали. После этого из фильтрата отгоняли большую часть растворителя – 1-бутанола. Получившийся остаток оставили на 16 ч при комнатной температуре до полной кристаллизации. Полутвердый продукт перемещали на фильтр, удаляли остатки растворителя, осадок промывали дистиллированной водой с целью удаления остаточного растворителя. Кристаллы экстрагированного бетулина сушили до постоянной массы.

Совместную активацию щелочью и экстракцию 1-бутанолом бетулина из березовой коры осуществляли по следующей методике. В колбу объемом 500 мл, снабженную обратным холодильником и мешалкой, загружали 10 г березовой коры, 100 мл 20% гидроксида натрия и 200 мл бутанола; и при интенсивном перемешивании кипятили 3–4 ч. После прекращения кипячения и перемешивания реакционная масса расслаивалась на 2 слоя. Верхний слой – раствор бетулина в спирте, отделяли и концентрировали перегонкой до остаточного количества растворителя около 15 мл, остаток фильтровали, промывали на фильтре водой, высушивали. Нижний слой содержал водную щелочь и растворенные в ней вещества щелочного гидролиза бересты.

Последовательную активацию щелочью и экстракцию 1-бутанолом бетулина из березовой коры проводили по следующей методике. В колбу объемом 500 мл, снабженную обратным холодильником и мешалкой, загружали 10 г березовой коры или бересты, 300 мл 20% гидроксида натрия и при интенсивном перемешивании кипятили 4 ч. После прекращения кипячения и перемешивания реакционную массу отфильтровали от сырья. Активированное сырье заливали 200 мл 1-бутанола и в таких же условиях кипятили. Далее раствор бетулина в спирте отделяли и концентрировали перегонкой до остаточного количества растворителя около 15 мл, остаток фильтровали, промывали на фильтре водой, высушивали.

Результаты прямой экстракции, совместной и последовательной активацией щелочью и экстракцией 1-бутанолом приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты прямой экстракции, совместной и последовательной активацией щелочью и экстракцией 1-бутанолом

Способ экстракции	Масса неочищенного продукта, г	Выход неочищенного продукта, %	T _{пл} , °С
Прямой	8,3	14,8	222–229
Совместный	1,2	11,9	235–241
Последовательный	0,9	8,6	241–245

Как видно из таблицы 1, выход бетулина при последовательной экстракции (8,6%) получился ниже, чем при совместной (11,9%). На основании полученных значений температур плавления можно судить о чистоте вещества (температура плавления бетулина в разных литературных источниках со-

ставляет 240–250 или 257–259 °С). При последовательной экстракции был получен более чистый продукт, так как его температура плавления более приближена к табличным значениям.

Выход бетулина зависит не только от способа его выделения, но и от размера использованных частиц коры березы.

Для экстракции бетулина использовали сырье с размером частиц < 2 мм, полученных размельчением коры в кофемолке, и с размером частиц < 0,25 мм, полученных размельчением коры в планетарной мельнице.

Результаты получения бетулина из частиц коры березы разного размера последовательной активацией в щелочи и экстракцией 1-бутанолом приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты получения бетулина из частиц коры березы
разного размера последовательной активацией в щелочи и
экстракцией 1-бутанолом**

Размер частиц	Масса неочищенного бетулина, г	Выход неочищенного бетулина, %
< 2 мм	0,84	11,1
< 0,25 мм	2,52	18,9

В таблице 2 наглядно прослеживается зависимость: чем меньше размер частиц коры березы, тем больше выход бетулина.

Таким образом, при организации промышленного производства бетулина из отходов лесопереработки рекомендуется применять последовательную активацию сырья в щелочи и экстракцию 1-бутанолом, так как это способствует безопасной организации производства. Кроме того, при последовательной экстракции получается продукт с наименьшим содержанием примесей. Размер частиц коры березы должен быть минимальным.

Библиографический список

1. Кислицын А. Н. Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, свойства, применение // Химия древесины. М. : Химия, 1994. 361 с.
2. Хуршкайнен Т. В., Скрипова Н. Н., Кучин А. В. Высокоэффективная технология комплексной переработки растительного сырья и получение препаратов для сельского хозяйства // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 74–77. doi: 10.25750/1995-4301-2007-1-046-49
3. Толстиков Т. Г., Сорокина И. В., Толстиков Г. А. Терпеноиды ряда лупана – биологическая активность и фармакологические перспективы // Биоорганическая химия. 2006. Т. 32. № 1. С. 42–55.
4. Бетулин и его производные. Химия и биологическая активность / Г. А. Толстиков, О. Б. Флехтер, Э. Э. Шульц, Л. А. Балтина, А. Г. Толстиков // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 13. С. 1–30.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

М.-М. А. Барбарош, Л. К. Некрылова

*Публичное учреждение «Научно-практический институт садоводства,
виноградарства и пищевых технологий», г. Кишинев, Молдова,
barbarosmarcela@gmail.com, necc_liudmila@yahoo.com*

Нами разработан Государственный стандарт SM 328:2018. Продукты из сыворотки пищевые. Технические условия. «Настоящий стандарт» распространяется на продукты, полученные в результате комплексной переработки молочной (творожной) сыворотки: творог альбуминный и напитки сывороточные, предназначенные для непосредственного употребления в пищу через розничную торговлю и предприятия общественного питания.

Ключевые слова: молочная сыворотка, творог альбуминный, депротеинизированная сыворотка.

Высокая питательная ценность и уникальные биологические свойства молока определяют необходимость использования всех его компонентов исключительно в пищевых целях. Однако традиционная промышленная переработка молока не позволяет использовать все его составные части (сухой остаток) в такие молочные продукты, как сливочное масло, сыр, творог, казеин и др. При их производстве неизбежно получают побочные продукты в виде обезжиренного молока, пахты и молочной сыворотки. Фактически они являются дополнительным источником сырья, относятся к вторичным материальным ресурсам и могут быть объединены условным обобщающим термином – нежирное молочное сырье [1].

Молочная сыворотка (от латинского *Serum Lactus*) – это вторичное молочное сырье, образующееся из молока при производстве сыров, творога и казеина.

При этом выход молочной продукции (сыра, творога и казеина) составляет 10–20% от массы перерабатываемого молока, в то время как 80–90% приходится на молочную сыворотку.

Проблема полного и рационального использования молочной сыворотки существует во всех странах с развитой молочной промышленностью. Это обусловлено значительными объемами молочной сыворотки, получаемой по традиционной технологии при производстве белково-жировых продуктов – сыров, творога, казеина.

Основные причины, привлекающие внимание промышленников к молочной сыворотке:

– молочная сыворотка – это биологическая жидкость животного происхождения, стоящая по биологической ценности на ступень выше, чем биоло-

гические жидкости растительного происхождения, например, соки плодов и овощей;

– богатый компонентный состав нутриентов сыворотки, который обеспечивает все четыре функции питания (энергия, биология, пластика, иммунная защита), имеет 100%-ную доброкачественность, определенную пищевую, биологическую ценность и даже лечебное значение;

– огромные объемы и относительная дешевизна – ее не надо специально производить, она – побочный продукт сыроделия;

– молочная сыворотка является удобным с физической точки зрения объектом для исследований и промышленной переработки: легко транспортируется, перекачивается насосами, достаточно устойчива к температурным воздействиям, в отличие от молока намного легче поддается мембранной обработке и микробиологическому воздействию и т. д.;

– для некоторых групп населения планеты важен морально-этический аспект: молочная сыворотка, являясь биологической жидкостью животного происхождения, получена без убийства животных или насилия над ними [2].

Решая вопрос переработки молочной сыворотки, молочные предприятия также обеспечивают экономическую и экологическую эффективность производства.

Опыт молочных предприятий показывает, что при организации промышленной переработки молочной сыворотки прибыль от реализации продукции увеличивается на 28–30% [3].

Высокое содержание способных к окислению органических соединений обуславливает высокий показатель биологической потребности в кислороде (БПК) молочной сыворотки, составляющий 50–60 г O₂/л (для сравнения БПК хозяйственно-бытовых сточных вод не превышает 300 мг O₂/л) [4].

В этой связи попадание молочной сыворотки в канализационные системы, а в аварийных случаях – непосредственно в водоемы вызывает серьезные экологические проблемы. Достаточно привести такой пример, что для окисления органических соединений, содержащихся в 25 т молочной сыворотки (сыродельный завод средней мощности), требуется такое же количество кислорода, как для окисления хозяйственно-бытовых стоков города с населением 40 тыс. человек.

Одна тонна молочной сыворотки, сливаемой в канализацию, загрязняет водоемы так же, как 100 м³ хозяйственно-бытовых стоков [5].

Таким образом, целесообразность рационального использования молочной сыворотки как одного из видов вторичного молочного сырья не имеет альтернативы и обоснована как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Анализируя вышесказанное, современное состояние и техническое оснащение молочной отрасли Республики Молдова, лаборатория пищевой биотехнологии предлагает проблему утилизации молочной сыворотки решить, используя ее комплексную переработку с одновременным получением альбуминного творога и напитков на основе депротеинизированной сыворотки (рис.).

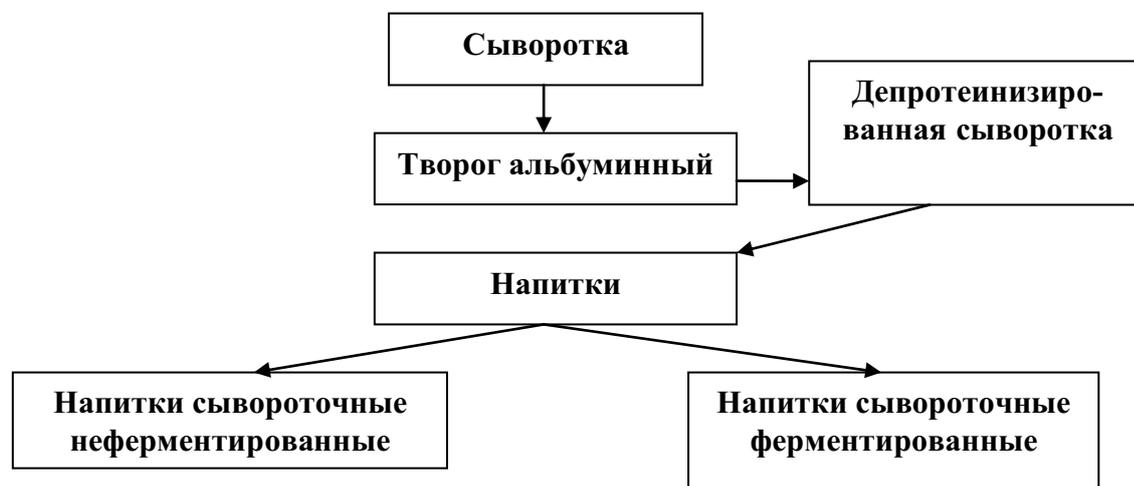


Рис. Комплексная переработка молочной сыворотки

Производство альбуминного творога. Альбуминный творог по сути – это сывороточные белки, в основном белковая смесь альбуминов и глобулинов молока, практически полностью переходящих из него в сыворотку при производстве сыров, творога и казеина, и извлеченные из сыворотки в процессе ее переработки.

Необходимость и целесообразность выделения белков из молочной сыворотки обусловлена их пищевой и биологической ценностью, которая почти в 1,4 раза выше казеина.

Они обладают антиканцерогенными, иммуномодулирующими свойствами, антимикробной активностью, противовоспалительным, токсиносвязывающим эффектом.

Производство альбуминного творога является выгодным для предприятий за счет его относительно низкой цены: он в 5–6 раз дешевле творога натурального, производимого из молока.

В лаборатории пищевой биотехнологии были проведены работы по выявлению оптимальных режимов выделения белков из творожной сыворотки, используя тепловой способ коагуляции белков: нагревание до 70 °С, раскисление внесением реагента (гидроксида натрия, лимонной кислоты) до рН 6–6,5 (титруемая кислотность – 15°Т), нагрев до 93±2 °С, выдержка при этой температуре 20–30 мин [6].

Предполагается следующий ассортимент творога альбуминного как готового продукта:

- творог альбуминный классический;
- творог альбуминный десертный;

- творог альбуминный соленый;
- творог альбуминный со специями.

Возможна выработка творога альбуминного как полуфабриката для дальнейших технологических нужд. В таких случаях творог замораживают брикетами толщиной не более 5 см при температуре минус 5 °С (срок хранения не более 10 суток с момента выпуска) либо при температуре минус 18 °С (срок хранения до 3-х месяцев).

Производство напитков на основе молочной сыворотки. Напитки из цельной сыворотки представляют особую ценность, так как в них содержатся все составные части сыворотки. Эти напитки непрозрачны и в них возможно выпадение хлопьевидного осадка, но они обладают определенными диетическими и лечебными свойствами.

Выделение значительной части белков из сыворотки позволяет получить прозрачные освежающие напитки. Белки увеличивают мутность, снижают стойкость при хранении и ослабляют освежающий эффект. В осветленной сыворотке ослабляется специфический сывороточный привкус. Учитывая вышесказанное и следуя поставленной задаче комплексной и безотходной технологии переработки сыворотки, предлагается в качестве основы для напитков сывороточных использовать сыворотку молочную осветленную депротеинизированную, полученную как побочный продукт при производстве творога альбуминного.

Предлагается разработка технологии получения неферментированных и ферментированных сывороточных напитков.

Напитки на основе сыворотки неферментированные представляют собой определенную пищевую и энергетическую ценность.

Наибольший интерес представляют биологически обработанные (ферментированные) напитки из молочной сыворотки. Биологическая обработка молочной сыворотки приводит к изменению ее состава, накоплению органических кислот, водорастворимых витаминов, лактатов, вкусовых и ароматических веществ, позволяет направленно изменять соотношение белок-углеводы в желаемую сторону и улучшать вкус вырабатываемых напитков. Для биологической обработки используют все виды микроорганизмов, используемых в молочной промышленности, как гомоферментативного, так и гетероферментативного брожения.

Для ферментации сыворотки предлагается использовать специально подобранную комбинацию следующих видов микроорганизмов: мезофильных лактококков, термофильных стрептококков, болгарской и ацидофильной палочек.

При использовании микроорганизмов или ферментов в таких напитках удачно сочетаются ценные компоненты самой сыворотки и продукты метаболизма микроорганизмов, представляющие собой вкусовые и ароматические вещества и имеющие определенное значение для питания людей. Ферментированные напитки не только оздоравливают желудочно-кишечный тракт, но и благотворно действуют на нервную систему и обмен веществ [7].

Особо важным при ферментации сыворотки является снижение в ней содержания молочного сахара (лактозы).

Предварительная ферментация сыворотки позволяет обеспечить повышение степени ее сладости примерно в 3 раза, улучшить сбраживаемость лактозы в желудочно-кишечном тракте, дает возможность употреблять напитки людям, страдающим от интолерантности к лактозе [8].

Также нами решен вопрос увеличения ассортимента сывороточных напитков за счет внесения плодово-ягодных наполнителей в различном виде (соки фруктовые и овощные натуральные или концентрированные, повидло, джемы и т. д.), сахара, какао или других пищевкусовых добавок.

Введение в состав напитков натурального растительного сырья (различных фруктовых и овощных полуфабрикатов) позволяет рассматривать их как комбинированные молочно-растительные системы, восполняющие дефицит жизненно необходимых пищевых веществ и наиболее полно соответствующие формуле сбалансированного питания.

Также использование наполнителей растительного происхождения позволяет улучшить органолептические показатели сывороточных напитков, сгладить нежелательный привкус молочной сыворотки.

Библиографический список

1. Вторичные материальные ресурсы пищевой промышленности. Образование и использование. М. : Экономика, 1984. С. 327.
2. Дыкало Н. Я. Еще раз о молочной сыворотке // Молочная промышленность. 2006. № 10. С. 72–73.
3. Кравченко Э. Ф., Яковлева О. А. Рациональное использование молочной сыворотки // Молочная промышленность. 2007. № 8. С.42–44.
4. Свириденко Ю. А., Кравченко Э. Ф., Яковлева О. А. Экологические и экономические аспекты переработки молочной сыворотки. ГНУ ВНИИМС Россельхозакадемии. 2006. № 5. С. 40–41.
5. Экологичность и экономичность переработки лактоз содержащего сырья / И. А. Евдокимов, С. А. Рябцева, И. К. Никульникова и др. // материалы науч.-теор. Конф. Углич, 1995.
6. Сенкевич Т., Ридель К. Л. Молочная сыворотка, переработка и использование в агропромышленном комплексе / пер. с нем. Н. А. Эпштейна. М. : Агропромиздат, 1989. С. 269.
7. Евдокимов И. А., Володин Д. Н., Дыкало Н. Я. Электродиализ – перспективный метод переработки молочной сыворотки // Переработка молока. 2001. № 2. С. 5–7.
8. Солдатов А. А., Яшин С.О., Борисенко Ю. Г. Оценка влияния содержания и физик механических показателей минерального порошка на свойства битумо-минеральных материалов // Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону : материалы XII регионал. науч.-техн. конф. Т. 1. Естественные и точные науки. Технические и прикладные науки. Ставрополь : СевКавГТУ, 2008. С. 281–282.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЗРЕЛЫХ ЯБЛОК В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Д. Г. Кручиреску

*Кишиневский технический университет,
Публичное учреждение «Научно-практический институт садоводства,
виноградарства и пищевых технологий», г. Кишинев, Молдова,
dcrucirescu@mail.ru*

Использование органических отходов является особо важной экологической проблемой современного общества. Актуальна разработка и внедрение технологий, обеспечивающих низкий уровень выбросов парниковых газов.

После нормировки урожая (прореживание завязей) плодов в яблоневых садах около 20% ожидаемого урожая становятся отходами и не используются в пищевых целях. Незрелые плоды яблонь являются источником природных органических кислот и ценных питательных веществ. Полученные из них продукты могли бы заменить кислоты химического происхождения, используемые в пищевой промышленности, и повысить пищевую ценность пищевых продуктов.

Утилизация незрелых яблок будет способствовать защите окружающей среды от вредных выбросов в результате анаэробного брожения, улучшению качества почвы и воздуха, извлечению энергии из полученных отходов. Таким образом, рациональное использование незрелых плодов яблони будет способствовать решению двух задач: экономической и экологической.

Ключевые слова: органические отходы, неспелые яблоки, устойчивое развитие, парниковые газы.

Утилизация органических отходов и рациональное использование сырья является важнейшей проблемой в отрасли переработки растительной продукции.

В пищевой промышленности и в сельском хозяйстве разработан и внедрен ряд экологически безопасных технологий, которые обеспечивают более эффективное управление всеми ресурсами (энергией, водой, парниковыми газами, побочными продуктами и/или отходами, упаковкой и т. д.) [1].

На ранней стадии созревания яблок, после физиологических опадов, проводят агротехническую операцию «корректировка плодовой нагрузки», после которой около 25–30% от ожидаемого урожая (особенно в годы с недостаточным увлажнением почвы) становятся отходами [2, 3]. Значительное количество незрелых плодов не используется в пищу, а превращается в зеленую массу в качестве удобрения [4] или просто оставляется на земле. Яблочные отходы после анаэробного брожения приводят к вредным выбросам парнико-

вых газов, ухудшению качества почвы и воздуха, а также, появлению неприятных запахов.

По результатам исследований, проведенных на незрелых яблоках (табл. 1) [5], можно сделать вывод о том, что они содержат ценные и нативные питательные вещества, такие как полифенольные соединения, органические кислоты, углеводы, минеральные вещества, пектиновые вещества, крахмал и др.

Таблица 1

Характеристика физико-химических показателей незрелых яблок в качестве сырья [5]

Наименование показателей	Значения
Водорастворимые сухие вещества, %	10,0–13,9
Титруемая кислотность (выраженная в яблочной кислоте), %	1,7–3,0
pH	2,5–3,0
Полифенольные вещества, мг/дм ³	200–500

Нативные органические кислоты, обнаруженные в незрелых яблоках, среди которых преобладает яблочная кислота (около 70–90%) [6], могут использоваться в качестве подкислителя в пищевой промышленности, заменяя кислоты химического происхождения и улучшая пищевую ценность пищевых продуктов. Содержание органических кислот при развитии плодов уменьшается, так как большая часть кислот используется в процессе дыхания и превращается в углеводы [7]. Таким образом, содержание углеводов в яблоках значительно увеличивается при переходе от стадии незрелости к физиологической зрелости плода.

Содержание фенольных веществ и антиоксидантная способность выше в незрелых яблоках и существенно снижается при созревании [8]. Фенольные соединения продемонстрировали сильные антиоксидантные свойства в различных системах, проявляя биологическую активность благодаря своим цитопротекторным свойствам [9]. Эти соединения способствуют снижению риска различных заболеваний, таких как рак, коронарные и нейродегенеративные заболевания (болезнь Альцгеймера и Паркинсона) [10].

В последние годы возрос интерес исследователей к природным полисахаридам (особенно к пектинам) как источникам широкого спектра биологически активных веществ и возможности применения в фармакологии [11, 12]. Их используют, в частности, для детоксикации организма человека от соединений тяжелых металлов. Содержание пектиновых веществ выше в незрелых яблоках.

Прошлые практики бесконтрольной утилизации органических отходов сегодня неприемлемы. В настоящее время стандарты охраны окружающей среды стали намного строже, рекуперация энергии (табл. 2) и переработка питательных и органических веществ стали необходимостью. В результате переработки незрелых яблок образуются органические отходы (выжимки, осадок на фильтре, остатки), которые также могут быть утилизированы путем извлечения ценных веществ (полисахаридов, пектиновых веществ, минераль-

ных солей, органических кислот и т. д.) или путем компостирования и использования компоста в сельском хозяйстве.

Таблица 2

Объем биогаза из яблочных отходов и количество энергии после анаэробной ферментации (данные [13] обработаны автором)

Продукт	Объем, м ³	Масса, т	Объем биогаза, м ³	Электроэнергия, кВт·ч	Тепловая энергия, кВт·ч
Отходы яблок	1	0,3	2,6	4,6	9,4

Значительные объемы яблок в фазе раннего созревания, получаемые при регулировании урожайной нагрузки, а также потребность в натуральных подкислителях для использования в пищевой промышленности, ставят основной задачей использование этих яблок для переработки и получения продуктов потребления человеком со значительным содержанием нативных органических кислот и других ценных питательных веществ.

Утилизация незрелых яблок будет способствовать:

- защите окружающей среды от вредных выбросов в результате анаэробного брожения с последующим улучшением качества почвы (за счет исключения брожения биомассы на почве и ее удобрения золой, полученной от сжигания биомассы) и воздуха (уменьшение неприятных запахов);
- получению энергии из образующихся органических отходов;
- улучшению экологических и экономических показателей производства;
- достижению некоторых целей устойчивого развития (задачи: 15, 13, 12, 2, 7, 8) [14].

Библиографический список

1. Sîrbu A. Productia agro-alimentară în contextul Dezvoltării Durabile, Educatie, Cercetare, Progres Tehnologic // Buletinul AGIR Supliment. 2015. No. 3. P. 146–151.
2. Purification, characterization and antioxidant activities of polysaccharides from thinned-young apple / J. Dou, Y. Meng, L. Liu, J. Li, D. Ren, Y. Guo // International Journal of Biological Macromolecules. 2015. Vol. 72. P. 31–40. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2014.07.053
3. Effect of different drying processes on the physicochemical and antioxidant properties of thinned unripe apple / W. Q. Chen, Y. R. Guo, J. Zhang, X. R. Zhang, Y. H. Meng // International Journal of Food Engineering. 2015. Vol. 11. P. 207–219. doi: 10.1515/ijfe-2014-0211
4. Peşteanu A., Calestru O. Reglarea încărcăturii de rod la pomii de măr de soiul Golden Reinders prin diverse metode de rărire // Ştiinţa agricolă. 2017. No. 2. P. 37–42.
5. Processes for producing an acidifier from apples / R. Golubi, E. Iorga, V. Bucarciuc, S. Arnăut, D. Crucirescu // Patent No. 1286. 2018.
6. Ackermann J., Fischer M., Amad Ó. R., Changes in sugars, acids, and amino acids during ripening and storage of apples (Cv. Glockenapfel) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1992. Vol. 40. No. 7. P. 1131–1134. doi: 10.1021/jf00019a008
7. The epigenome and transcriptional dynamics of fruit ripening / J. Giovannoni, C. Nguyen, B. Ampofu, S. Zhong, Z. Fei // Annual Reviews Plant Biological. 2017. Vol. 68. P. 61–84. doi: 10.1146/annurev-arplant-042916-040906

8. Wojdyło A., Oszmiański J. Antioxidant Activity Modulated by Polyphenol Contents in Apple and Leaves during Fruit Development and Ripening // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9. No.7. P. 567. doi: 10.3390/antiox9070567
9. Cytoprotective effect of phenolic extract from brazilian apple peel in insulin-producing cells / L. S. Yassin, A. Alberti, A. A. F. Zielinski, H. R. O. Emílio, A. Nogueira // *Current Nutrition and Food Science*. 2017. Vol. 13. P. 1–6. doi: 10.2174/1573401313666170427125753
10. Hyson D. A. A Comprehensive review of apples and apple components and their relationship to human health // *Advances in Nutrition*. 2011. Vol. 2. No. 5. P. 408–420. doi: 10.3945/an.111.000513
11. Pectins functionalized biomaterials; a new viable approach for biomedical applications: A review / A. Noreen, Z.-I.-H. Nazli, J. Akram, I. Rasul, A. Mansha, N. Yaqoob, R. Iqbal, S. Tabasum, M. Zuber, K. M. Zia // *Interational Journal of Biological Macromolecules*. 2017. Vol. 101. P. 254–272. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.029.
12. Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: A review / Y. Yu, M. Shen, Q. Song, J. Xie // *Carbohydrate Polymer*. 2018. Vol. 183. P. 91–101. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.12.009.
13. Tehnologii actuale de obtinere a biogazului, *Gazeta de Agricultura*, Categorie: Energie regenerabila 23 Iunie 2013. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazetadeagricultura.info/eco-bio/565-energie-regenerabila/14414-tehnologii-actuale-de-obtinere-a-biogazului.html> (дата обращения: 21.10.2022).
14. Цели в области устойчивого развития [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 21.10.2022).

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ПИЩЕВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

М.-М. А. Барбарои, Л. К. Некрылова

*Публичное учреждение «Научно-практический институт садоводства,
виноградарства и пищевых технологий», г. Кишинев, Молдова,
barbarosmarcela@gmail.com, nesc_liudmila@yahoo.com*

Утилизация пищевых отходов и субпродуктов стала основной темой исследований, направленных на повышение устойчивости пищевой цепочки. Целью данной статьи является использование потенциала пищевых субпродуктов в качестве источника целевых соединений или в качестве ингредиентов при производстве молочных продуктов.

Ключевые слова: пищевые субпродукты, устойчивые ингредиенты, молочные продукты.

Применение пищевых субпродуктов в качестве источников биоактивных соединений или функциональных ингредиентов также доказало свою эффективность в диверсификации ассортимента молочных продуктов. Это использование субпродуктов пищевой промышленности для биологически

активных соединений и извлечения питательных веществ создало огромные возможности для сокращения отходов и косвенного получения дохода [1].

Пищевые субпродукты (преимущественно растительного происхождения) представляют собой важный источник сахаров, органических кислот, пищевых волокон, фенольных веществ, флавоноидов, минеральных веществ, витаминов, что свидетельствует о высоком потенциале их применения при получении молочных продуктов. Одной из наиболее важных новых технологий является применение пищевых субпродуктов в качестве натуральных добавок (красителей, ароматизаторов, антиоксидантов, противомикробных соединений и т. д.).

Использование этих субпродуктов в качестве ценного источника натуральных пищевых добавок представляется хорошей альтернативой для смягчения экологических проблем и дальнейшего использования пищевых добавок или добавок с высокой питательной ценностью и экономически привлекательных.

На сегодняшний день утилизация агропродовольственных отходов сосредоточена на конкретных побочных продуктах и их применении в различных пищевых продуктах. Основное внимание уделяется разработке молочных продуктов и тому, как субпродукты могут быть использованы при их производстве для улучшения их технологических и полезных для здоровья свойств [2].

Самые последние продовольственные балансы показывают, что фрукты и овощи имеют самые высокие значения потерь продовольствия в пищевой цепочке по сравнению с остальными товарными группами. Соответственно, растет интерес к использованию субпродуктов из фруктов и овощей в качестве новых устойчивых ингредиентов при разработке продуктов питания, включая инновационные молочные продукты [3].

В этом обзоре мы разделяем пищевые субпродукты на две категории: имеющие техническое назначение, что включает улучшение, безопасность, стабильность, органолептические качества и т. д.; и имеющие биологические цели, которые направлены на улучшение оздоровительных эффектов для их преобразования в функциональные продукты.

Технологические применения пищевых субпродуктов. Одной из основных новых технологий является применение пищевых субпродуктов в качестве натуральных добавок. В качестве меры по сокращению отходов это повысит устойчивость и прибыльность промышленности. Кроме того, можно было бы удовлетворить требования потребителей, обеспокоенных химическими остатками в своей пище, которые ищут здоровые продукты с чистой этикеткой и естественным образом консервированные [4]. Добавление пищевых добавок регулируется руководящими принципами Кодекса Алиментариус. Следовательно, пищевые субпродукты, используемые в качестве натуральных добавок, должны учитывать действующие правила и при необходимости должным образом получать разрешение [5].

В молочных продуктах окисление липидов приводит к образованию гидропероксидов жирных кислот, промежуточных соединений без вкуса и за-

пах, которые могут в дальнейшем реагировать с жирными кислотами, приводя к вторичному окислению липидов и повреждению белков. Эти реакции приводят к образованию ароматизаторов в молоке и молочных продуктах. Эти ароматы можно обнаружить в сыром или пастеризованном молоке, в любом молочном продукте, который не был ароматизирован, и особенно в продуктах с высоким содержанием жира, таких как масло или мороженое. Следовательно, эти изменения в продуктах могут привести к снижению потребительской приемлемости и доверия к молочным продуктам [6].

Использование субпродуктов в качестве антимикробных агентов. Консерванты – это пищевые добавки, которые продлевают срок годности пищевых продуктов, защищая их от порчи, вызванной микроорганизмами. Различные типы консервантов включают: противогрибковые средства, синергические средства, противомикробные средства, средства контроля бактериофагов и фунгистатики [5]. Пищевые побочные продукты использовались в качестве консервантов с антимикробной активностью, чтобы гарантировать, что произведенные молочные продукты останутся неповрежденными и безопасными в течение всего срока годности.

Несколько исследований показали, что пищевые побочные продукты могут быть использованы против порчи и патогенных бактерий, не влияя на жизнеспособность заквасочных культур и других микроорганизмов, участвующих в процессах ферментации, обеспечивая сохранение качества разработанных продуктов. Для сыра имеется меньше информации о влиянии добавления побочных продуктов на плесень, дрожжи и бактерии во время созревания, хотя они необходимы для правильного развития вкуса и текстуры сыра [7, 8].

Использование субпродуктов в качестве красителей. Красители – это пищевые добавки, которые добавляют или восстанавливают цвет пищевых продуктов [5]. Их роль заключается в улучшении внешнего вида и цвета продуктов питания, а также в поддержании их естественного цвета при обработке и хранении. Цвет является одним из важнейших атрибутов качества для пищевых продуктов, так как напрямую влияет на принятие и их выбор потребителями [9].

Текущие рыночные тенденции включают замену синтетических красителей натуральными соединениями, что было вызвано опасениями потребителей по поводу безопасности синтетических пищевых красителей (побочные эффекты, токсичность и аллергические реакции) и возможными полезными для здоровья свойствами натуральных пигментов. Побочные продукты из фруктов и овощей стали важным источником природных пигментов, поскольку они окрашены зелеными хлорофиллами, желто-оранжево-красными каротиноидами, красно-сине-фиолетовыми антоцианами и красными бетанинами. Антоцианы широко извлекаются из различных растительных продуктов и побочных продуктов, таких как редис, красный картофель, красная капуста, черная морковь, фиолетовый сладкий картофель, кофейные стручки, ягоды, побочные продукты виноделия [10].

Использование субпродуктов с содержанием пищевых волокон. Субпродукты, получаемые из растений, такие как семена, стручки, кожура, ядра и т. д., являются известными источниками биологически активных соединений и питательных веществ, в том числе пищевых волокон [1, 11], определяют это питательное вещество как неперевариваемые углеводы, в том числе неперевариваемые углеводы, полисахариды крахмала, резистентный крахмал, олигосахариды и лигнин.

Инновационные продукты были сосредоточены на увеличении содержания клетчатки в молочных продуктах с двумя целями: помочь потребителям достичь рекомендуемой суточной нормы пищевых волокон и в качестве маркетинговой стратегии добавить заявление о пищевой ценности на упаковку продуктов [12].

Описанные приложения демонстрируют высокий потенциал использования пищевых субпродуктов для разработки инновационных и здоровых молочных продуктов. Субпродукты, используемые в качестве устойчивых ингредиентов или источников биоактивных соединений, доказали свою эффективность для широкого спектра технологий и пищевых целей при производстве молочных продуктов. Этот подход не только делает шаг вперед в сокращении отходов в пищевой цепочке, но также предлагает новые способы диверсификации производства молочных продуктов, создавая возможность занять рыночную нишу, основанную на функциональных и устойчивых продуктах. Необходимо проанализировать восприятие потребителями и потенциальные опасения по поводу безопасности пищевых продуктов в отношении использования субпродуктов в их рецептурах, особенно в сегменте молочных продуктов. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на разработке инновационных вкусов и текстур для получения более вкусных продуктов, а также на соответствующих маркетинговых стратегиях для вывода на рынок здоровых и экологически чистых продуктов.

Библиографический список

1. Utilization of food processing by-products as dietary, functional, and novel fiber: a review / S. K. Sharma, S. Bansal, M. Mangal, A. K. Dixit, R. K. Gupta, A. K. Mangal // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015. Vol. 56. P. 1647–1661.
2. A report by the high-level panel of experts on food security and nutrition of the committee on world food security. [Электронный ресурс]: – URL: <https://www.fao.org/3/i3901e/i3901e.pdf> (дата обращения: 05.10.2022).
3. Effect of addition of agaric us blaze mushroom residue to milk enriched with omega-3 on the prevention of lipid oxidation and bioavailability of bioactive compounds after *in vitro* gastrointestinal digestion / A. C. P. Vital, C. Croge, S. M. Gomes-da-costa, P. T. Matumotopintro // *International Journal of Food Science & Technology*. 2017. Vol. 52. P. 1483–1490.
4. Effect of phenolic compounds on characteristics of strained yoghurts produced from sheep milk / E. Ersöz, Ö. Kinik, O. Yerlikaya, M. Açu // *African Journal of Agricultural Research Impact Factor*. 2011. No. 6. P. 5351–5359. doi: 10.5897/ajar11.1012
5. Optimization of an organic yogurt based on sensorial, nutritional, and functional perspectives / A. R. Karnopp, K. G. Oliveira, E. F. De Andrade, B. M. Postingher, D. Granato // *Food Chemistry*. 2017. Vol. 233. P. 401–411.

6. Food and agriculture organization of the united nation // Codex Alimentarius general standard for food additive Codex Stan [Электронный ресурс]: – URL: https://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192e.pdf (дата обращения: 05.10.2022).
7. Fox P. F. Proteolysis during cheese manufacture and ripening // Journal of Dairy Science. 1989. Vol. 72. P. 1379–1400.
8. The main spoilage-related psychotropic bacteria in refrigerated raw milk / J. C. Ribeiro junior, A. M. De Oliveira, F. D. G. Silva, R. Tamanini, A. L. M. De Oliveira, V. Beloti // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101. P. 75–83.
9. Santos-buelga C., Mateus N., De Freitas V. Anthocyanins. Plant pigments and beyond // Journal of Food Science & Technology. 2014. Vol. 62. P. 6879–6884.
10. Saunders A. B. Dairy desserts // Encyclopedia of dairy sciences / editors J. Fuquay, P. F. Fox, P. L. Mcsweney. 2nd ed. Elsevier ltd., Atlanta, Ga, USA. 2011. P. 905–912.
11. High-fiber, low-fat diet predicts long-term weight loss and decreased type 2 diabetes risk: the finnish diabetes prevention study / J. Lindström, M. Peltonen, J. G. Eriksson, A. Louheranta, M. Fogelholm, M. Uusitupa, J. Tuomilehto // Diabetologia. 2006. Vol. 49. P. 912–920.
12. European parliament and council regulation (ec) no 1924/2006 on nutrition and health claims made on foods. 2006. [Электронный ресурс]: – URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:404:0009:0025:En:PDF> (дата обращения: 5.10.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «ЗЕЛЕННЫХ» ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А. Н. Галкина

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ)
имени И. М. Губкина, alexandragalkina14@gmail.com*

В работе представлен опыт применения экстрактов отходов пищевого производства для ингибирования кислотной коррозии металлического оборудования. Приведен анализ опубликованных исследований в ведущих иностранных научных журналах за последние несколько лет по применению в качестве основы «зеленых» ингибиторов коррозии различных отходов сокового производства. Выявлено, что кожура овощей и фруктов содержит в своем составе большое количество веществ, способных адсорбироваться на металлической поверхности и защищать поверхность стали.

Ключевые слова: кислотные обработки, ингибиторы коррозии, отходы пищевого производства.

Кислотные обработки являются широко распространенным процессом для очистки призабойной зоны скважины и увеличения добычи нефти. Известно использование соляной, сульфаминовой, фтористоводородной, азотной, серной кислоты в качестве основы кислотного состава при проведении кислотных обработок как карбонатных, так и терригенных коллекторов. При этом такие кислоты могут применяться в качестве добавок совместно со сла-

быми органическими кислотами, такими как муравьиная, уксусная, лимонная, для усиления их растворяющей способности [1].

Для обработки карбонатных коллекторов наиболее эффективной является соляная кислота. Концентрация кислоты, в зависимости от характеристик породы месторождения и особенностей нефти могут варьироваться от 5 до 24 % мас.

Основной проблемой при кислотных обработках является коррозия металлического оборудования, которая приводит к различным экономическим и экологическим последствиям [2]. Результаты многочисленных исследований, проведенных в этой области, показали, что применение ингибиторов коррозии является наиболее эффективным и простым способом предотвращения коррозии металлов и сплавов в агрессивных средах.

Ингибиторы коррозии сводят к минимуму коррозионные повреждения при добавлении их в малых концентрациях к агрессивной среде за счет образования адсорбированной мономолекулярной пленки на поверхности металла, которая препятствует прямому контакту металла с коррозионной средой.

Хорошо известны различные неорганические ингибиторы коррозии, такие как фосфаты, бихроматы, нитриты. Наибольшее распространение получили синтетические органические ингибиторы коррозии, которыми в основном являются четвертичные аммониевые соединения, пиридины, имидазолины и другие [3].

Многие органические и неорганические ингибиторы коррозии не поддаются биологическому разложению и накапливаются в окружающей среде, причиняя вред здоровью человека или окружающей среде. В настоящее время все большее применение находит «зеленая» химия [4], особенность которой заключается в использовании различного природного материала в качестве добавок для кислотных составов.

При переработке овощей и фруктов для получения соков образуется большое количество побочных продуктов промышленной переработки, таких как семена и кожура, которые утилизируются как отходы, однако могут быть повторно использованы в качестве экологически чистых ингибиторов коррозии металлов. Такие «зеленые» ингибиторы коррозии получают путем предварительной сушки материала и последующей экстракцией с использованием органических растворителей и водных растворов.

В результате промышленной переработки *томатов* образуются такие продукты, как кожура, семена и мякоть. В работе [5] экстракцию высушенной кожуры томата проводили с использованием раствора, состоящий из 2-пропанола, этанола и воды. Основным компонентом, полученным при экстракции, являлся пектин, который действует как эффективный ингибитор коррозии стали в растворах соляной, уксусной и лимонной кислот.

Для ингибирования процесса коррозии в 1,0 М HCl авторами работы [6] было проведено исследование экстракта *кожуры банана*. Экстракцию проводили с помощью этанола. По результатам хромато-масс-спектрометрии было установлено, что молекулы экстракта содержат гетероатомы, такие как азот и

кислород, а также С=О, СООН, ОН и NH группы, за счет чего происходит адсорбция молекулы на поверхности металла.

Кожура манго [7] является основным побочным продуктом промышленности по переработке манго. В настоящее время кожура выбрасывается как отход и становится источником загрязнения окружающей среды. В литературе указано, что кожура манго является богатым источником антиоксидантов, в том числе аскорбиновой кислоты, каротиноидов и фенольных соединений, что позволяет образовывать на поверхности металла защитную пленку и препятствовать коррозионному разрушению.

В работе [8] в качестве ингибитора коррозии было предложено использование *экстракта лимона*. Экстракт получали путем замачивания цедры лимона в 1,0 М соляной кислоте. Ингибирование коррозии происходит за счет наличия в составе экстракта таких веществ, как флавоноиды, танины и алкалоиды.

Также для ингибирования соляной кислоты было предложено использование экстракта *кожуры апельсина* [9]. Апельсины содержат различные фитохимические вещества, такие как каротиноиды (бета-каротин, лютеин и β-криптоксантин), флавоноиды (нарингенин), способные адсорбироваться на металлической поверхности.

В результате обзора научной литературы по «зеленым» ингибиторам коррозии можно сделать вывод, что данная тема является актуальной и широко изученной в зарубежной литературе. Природные ингибиторы представляют собой различные экстракты отходов пищевого производства, ингибирующее действие которых осуществляется за счет адсорбции соединений, содержащихся в экстрактах кожуры овощей и фруктов на стальной поверхности.

Во всех работах, представленных в данном обзоре, процесс приготовления ингибитора заключался в сушке кожуры и ее дальнейшей экстракции с помощью растворителей, при этом не указывается, насколько негативно оказывает воздействие растворитель на окружающую среду. Существенным недостатком также является проведение исследования эффективности ингибиторов в низко концентрированных кислотах, а также невозможность оценки совместимости кислоты с ингибитором коррозии, что является важными параметрами для применения зеленых ингибиторов в нефтегазодобывающей промышленности.

Библиографический список

1. Промысловая химия : учебное пособие / М. А. Силин, Л. А. Магадова, Л. И. Толстых, Л. Ф. Давлетшина, В. А. Цыганков. М. : РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2016. [Электронный ресурс]. – URL: <http://elib.gubkin.ru/content/21658> (дата обращения: 08.11.2022).
2. Кислотные обработки пластов и методики испытания кислотных составов / М. А. Силин, Л. А. Магадова, В. А. Цыганков, М. М. Мухин, Л. Ф. Давлетшина М. : РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2011. 120 с.
3. Промысловая химия. Ингибиторы коррозии : учебное пособие / М. А. Силин, Л. А. Магадова, Л. Ф. Давлетшина, К. А. Потешкина. М. : РГУ нефти и газа (НИУ) имени

И. М. Губкина, 2021. [Электронный ресурс]. – URL: <http://elib.gubkin.ru/content/24808> (дата обращения: 08.11.2022).

4. Designing for a green chemistry future / J. B. Zimmerman, P. T. Anastas, H. C. Erythropel, W. Leitner // *Science*. 2020. Vol. 367. No. 6476. P. 397–400.

5. Vorobyova V., Skiba M., Andrey K. Tomato pomace extract as a novel corrosion inhibitor for the steel in industrial media: The role of chemical transformation of the extract and proinhibition effect // *Journal of Molecular Structure*. 2022. Vol. 1264. P. 133–155.

6. Musa sapientum (Banana) peels as green corrosion inhibitor for mild steel / N. R. Rosli, S. M. Yusuf, A. Sauki, W. M. R. W. Razali // *Key Engineering Materials*. – Trans Tech Publications Ltd. 2019. Vol. 797. P. 230–239.

7. Rocha J. C., Gomes J. A. C. P., D'Elia E. Aqueous extracts of mango and orange peel as green inhibitors for carbon steel in hydrochloric acid solution // *Materials Research*. 2014. Vol. 17. P. 1581–1587.

8. Agarwal K. Fenugreek leaves and lemon peel as green corrosion inhibitor for mild steel in 1M HCl medium // *Journal of Materials Science & Surface Engineering*. 2014. Vol. 1. No. 2. P. 44–48.

9. Application of plants extracts as green corrosion inhibitors for steel in concrete-A review / Y. P. Asmara, T. Kurniawan, A. G. E. Sutjipto, J. Jafar // *Indonesian Journal of Science and Technology*. 2018. Vol. 3. No. 2. P. 158–170.

АКТИВНЫЙ УГОЛЬ ИЗ КОЖУРЫ ПЛОДОВ ТАМАРИНДА – ОТХОДА ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ МЬЯНМЫ

*Со Вин Мьинт, А. В. Нистратов, В. Н. Клушин
Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева, sawwinmyint86@gmail.com*

Отходы производств пищевых продуктов из плодов тамаринда, широко культивируемого в Мьянме, в большинстве своем используют неэффективно. Данные научно-технической информации свидетельствуют, что на основе сходных по природе растительных отходов можно получать достаточно дорогостоящие продукты в виде углеродных адсорбентов, которые могут использоваться для решения природоохранных задач. Проведен пиролиз кожуры плодов тамаринда, определены наиболее оптимальные условия пиролиза. Изучены структурно-адсорбционные показатели углеродных адсорбентов, полученных из кожуры плодов тамаринда.

Ключевые слова: кожура плодов тамаринда, адсорбент, поглотительные свойства.

Тамаринд индийский или Индийский финик – растение семейства бобовых – единственный вид рода тамаринд. Это тропическое дерево распространено на территории большинства тропических стран Азии, включая Мьянму [1]. Годовой урожай взрослого дерева может достигать 175 кг [2]. В кожуре зрелого плода находятся несколько плотных семян в мякоти мясистого околоплодника (перикарпия). Масса последнего съедобна. Ее используют в качестве специи в азиатской и латиноамериканской кухнях, а также важного ингредиента популярных вустерского и фруктового соусов. Мякоть зелёных плодов кислая на вкус и применяется в приготовлении острых блюд. Зрелые

плоды слаще и могут служить для приготовления десертов, напитков, закусочек. Мякоть, содержащая волокна мезокарпия (промежуточного слоя между слоями экзо- и эндокарпия) и красновато-бурые блестящие гладкие твёрдые семена закруглённо-квадратной формы, консервированная с сахарным сиропом, представляет собой вязкую бурую массу приятного кисловато-сладкого фруктового вкуса [2].

Кожура плодов тамаринда (КПТ) в пищевых производствах Мьянмы обычно выбрасывается, однако, она может служить сырьем для получения остро дефицитных в стране и относительно дешевых углеродных адсорбентов [3]. Это свидетельствует о целесообразности исследования данных отходов как источника получения сорбентов, которые могут использоваться для защиты биосферы от промышленных выбросов и сбросов.

Внешний вид фрагментов кожуры плодов тамаринда изображен на рисунке 1. Материал представляет собой воздушно сухие частицы с максимальным размером 2–3 мм, толщиной 0,5 мм и насыпной плотностью 0,38 г/см³.



Рис. 1. Кожура плодов тамаринда

Характер термического поведения изучаемого отхода при пиролизе с использованием дериватографа в токе баллонного азота представлен на термограмме (рис. 2). Данные термограммы использованы для определения области температурного воздействия на данный отход при изучении его пиролиза.

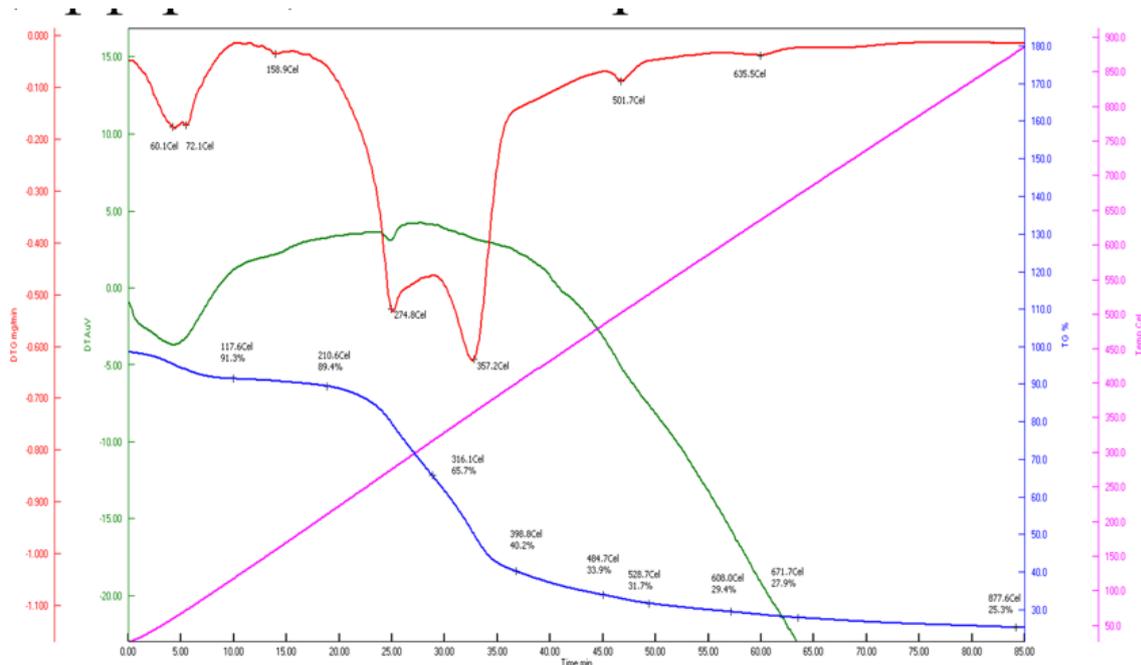


Рис. 2. Термограмма кожуры плодов тамаринда в атмосфере азота (навеска 1 мг, интенсивность нагревания 9 °С в минуту)

Изучение условий реализации процесса пиролиза отходов проведено в интервале температур 300–500 °С, а активация водяным паром полученного карбонизированного продукта – при температурах 700–900 °С. Установлено, что рациональными условиями для пиролиза являются интенсивность нагревания 10 °С/мин., предельная температура 350 °С и длительность 60 мин. выдержки при ней карбонизированного остатка, а для активации последнего – скорость подъема температуры 5 °С/мин. до 750 °С без последующей изотермической выдержки при подаче пара с удельным расходом 5 г на 1 г целевого продукта. Выход целевых продуктов обеих операций составляет при этом меньшую долю в общей их массе, сокращаясь при переходе от пиролиза (48,63%) к активации (34,31%). Структурно-адсорбционные показатели углеродных адсорбентов (карбонизата К и активного угля АУ), полученных на базе отходов кожуры плодов тамаринда, в виде широко используемых в исследовательской практике величин суммарного объема пор по воде и объемов сорбирующих пор по парам бензола, тетрахлорида углерода и воды, а также поглощения йода и красителя метиленового голубого из их растворов представлены в таблице, где сопоставлены с аналогичными тех же продуктов – итогов паровой активации карбонизатов оболочек семян манго (ОСМ) и родственной им по природе древесины березы (коммерческий активный уголь марки БАУ) и железного дерева (ЖД) по данным работ [4–10].

Адсорбционно-структурные показатели полученных и сравниваемых углеродных адсорбентов

Адсорбент	Объем сорбирующих пор, см ³ /г			Иод, мг/г	Метиленовый голубой, мг/г	Суммарный объем пор по воде, см ³ /г
	C ₆ H ₆	CCl ₄	H ₂ O			
К КПТ	0,04	0,08	0,23	390,5	320,2	0,7
АУ КПТ	0,26	0,24	0,28	558,8	340,7	1,1
К ОСМ	0,17	0,05	0,13	294,2	3,59	0,87
АУ ОСМ	0,33	0,27	0,17	1048,0	105,41	1,25
АУ БАУ	0,25	0,1	1,00	680	285	1,6
К ЖД	0,16	0,036	0,14	416	1,79	0,72
АУ ЖД	0,78	0,67	0,13	981	198	1,57

Примечание: К КПТ – карбонизат из кожуры плодов тамаринда, АУ КПТ – активный уголь из кожуры плодов тамаринда, К ОСМ – карбонизат из оболочек семян манго, АУ ОСМ – активный уголь из оболочек семян манго, АУ БАУ – активный уголь из древесины березы, К ЖД – карбонизат из древесины железного дерева, АУ ЖД – активный уголь из древесины железного дерева.

Из таблицы видно, что полученный активный уголь на базе кожуры плодов тамаринда по поглотительной способности близок к активному углю из древесины березы, что особенно важно для очистки газа, хотя величины поглощения немного уступают углю ОСМ и ЖД.

Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о высокой поглотительной способности активного угля из кожуры плодов тамаринда, сопоставимой с углем из древесины березы.

Библиографический список

1. Тамаринд [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тамаринд> (дата обращения: 03.03.2021).
2. Термографическое исследование компонентов плодов тамаринда / Со Вин Мьинт, А. В. Жуков, А. В. Нистратов, В. Н. Клушин // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2020 : Междунар. науч.-практ. конф. Севастополь : СГУ, 2020. С. 523–527.
3. Сайгылы Х., Гюзель Ф. Мезопористый активированный уголь с высокой площадью поверхности из переработки твердых отходов томатов путем активации хлоридом цинка: оптимизация процесса, характеристика и адсорбция красителей // Журнал чистого производства. 2016. Т. 113. Вып. 2. С. 995–1004.
4. Термический рециклинг растительных отходов Мьянмы с получением углеродных адсорбентов / Со Вин Мьинт, Наинг Линн Сое, Зин Мое, Мин Тху, Мьят Мин Тху, А. В. Нистратов, В. Н. Клушин // Башкирский химический журнал. 2020. Т. 27, № 1. С. 61–67.
5. Оценка качества отходов переработки риса и кокосовых орехов в республике Мьянма как сырья для производства активных углей / В. Н. Клушин, А. В. Нистратов, Со Вин Мьинт, Си Тху Аунг // Химическая промышленность сегодня. 2016. № 2. С. 20–25.
6. Исследование пористой структуры активного угля из рисовой шелухи / Тху Аунг Си, Вин Мьинт Со, В. Н. Клушин, А. В. Нистратов, С. Г. Киреев, В. М. Мухин // Сорбционные и хроматографические процессы. 2017. Т. 17, № 1. С. 916–923.

7. Технологические аспекты и показатели переработки отходов древесины железного дерева и оболочек семян манго на углеродные адсорбенты / Наинг Лин Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт, А. В. Нистратов, В. Н. Клушин // Химическая промышленность сегодня. 2018. № 4. С. 28–34.

8. Углеродные адсорбенты на базе растительных отходов Мьянмы как средства очистки производственных выбросов и сбросов / Наинг Линн Сое, Зин Мое, Со Вин Мьинт, Мин Тху, Мьят Мин Тху, А. В. Нистратов, В. Н. Клушин // Сорбционные и хроматографические процессы. 2019. Т. 19, № 5. С. 574–581.

9. Особенности активных углей, полученных химическим модифицированием из отходов растительного сырья Республики Союз Мьянма / Со Вин Мьинт, Мин Тху, Наинг Линн Сое, Мьят Мин Тху, Зин Мое, А. В. Нистратов, В. Н. Клушин // Химическая промышленность сегодня. 2020. № 1. С. 32–35.

10. Inexpensive resources of Myanmar as a source of carbon adsorbents / Saw Win Myint, Zaw Ye Naing, Min Thu, Myat Min Thu, V.N. Klushin // International Journal of Modern Agriculture. 2020. Vol. 9. No. 3. P. 342–350.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М. М. Новосёлова, Е. А. Земцова

*Вятский государственный университет,
stud115425@vyatsu.ru, ea_zemtsova@vyatsu.ru*

В статье представлены результаты исследования возможности получения сорбционных материалов на основе сухой биомассы борщевика Сосновского путем ее химической и термической модификации. Для оценки эффективности полученных сорбентов проводился анализ на определение сорбционной емкости по отношению к формальдегиду.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, модификация, сорбционная емкость, формальдегид.

Основой регулирования качества атмосферного воздуха населенных мест являются гигиенические нормативы – предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ (ЗВ), соблюдение которых обеспечивает отсутствие прямого или косвенного влияния на здоровье населения и условия его проживания.

По данным Западно-Уральского межрегионального управления Росприроднадзора в 2020 г. на территории Кировской области содержание ЗВ в атмосфере составило 85,142 тыс. т, при этом в перечне контролируемых показателей отмечалось присутствие таких веществ, как диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, формальдегид и других летучих веществ [1].

Существуют различные подходы для решения вопросов о снижении количества выбросов ЗВ. Одним из наиболее универсальных методов улавливания ЗВ является сорбция. Используемые сорбционные материалы имеют как природное, так и синтетическое происхождение. Среди сорбентов природного

происхождения наибольшее распространение получили целлюлозосодержащие материалы. При этом, для повышения эффективности их сорбционных свойств применяют различные методы модификации, заключающиеся как в механической обработке, так и в использовании методов химического и термохимического преобразования.

В качестве исходного сырья для получения высокоэффективных сорбентов могут применяться различные растительные материалы. Целью данной работы стало изучение возможности получения сорбционных материалов на основе сухой биомассы борщевика Сосновского.

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) – крупное травянистое растение, вид рода Борщевик (*Heracleum*) семейства Зонтичные (*Umbelliferae*). Растение обладает способностью вызывать сильные и долго не заживающие ожоги на коже [2]. По предварительным данным, площадь земель Кировской области, заросшая борщевиком Сосновского, в 2020 г. составляла примерно 12 тыс. га. Основными методами борьбы с ним являются скашивание, выкапывание и обработка участков под борщевиком гербицидами.

Несмотря на его негативные свойства, известно, что борщевик является активным регулятором состава воздуха. Он поглощает угарный и углекислый газы и активно вырабатывает кислород. Его сухая биомасса обладает пористой структурой, низкими плавучестью и гидрофобностью, что делает ее перспективным сырьем для получения сорбционных материалов.

Главной проблемой, связанной с использованием природных материалов в качестве сорбентов, являются слабовыраженные сорбционные свойства этих материалов. Решение этой проблемы заключается в модификации природных сорбентов, в результате которой улучшаются их сорбционные свойства и, следовательно, эффективность их использования. Модифицирование проводится с целью направленного регулирования свойств природного сорбента: позволяет изменить физические и химические свойства поверхности, увеличить пористость сорбента.

В качестве модифицирующего раствора использовали 10% раствор NaOH. Щелочные растворы используют из-за их доступности, эффективности. Такая обработка оставляет в растительном материале почти все целлюлозные волокна, но удаляет большую часть окружающих их лигнина и гемицеллюлозы. За счет такой модификации материал становится более пористым и менее жестким.

В рамках исследования были подготовлены образцы модифицированных сорбционных материалов, для каждого из которых 5 г измельченной сухой биомассы борщевика Сосновского обрабатывали в 100 мл 10% раствора NaOH в течение 1 ч при 70 °С. Далее полученные материалы промывали дистиллированной водой до нейтрального значения pH и отфильтровали маточный раствор с помощью вакуум-фильтрации, досушивали при комнатной температуре. Определяли выход сорбционного материала на основании изменения массы образцов до и после эксперимента, составивший 64,4% от ис-

ходной массы сырья. Убыль массы сорбента во время химической модификации связана с тем, что под воздействием щелочи происходит выделение лигнина из растительного сырья.

В случае термической активации материалов, сорбционная емкость может увеличиваться за счет раскрытия сформированных в ходе химической модификации пор, поэтому дальнейшие исследования осуществляли с использованием образцов, подвергшихся карбонизации и графитизации. Условия обработки представлены в таблице 1.

В ходе процесса термообработки произошли структурные изменения образцов, характеризующиеся разрывом связей. Начальная стадия модификации – сушка, протекающая при температуре от 0–150 °С, происходит с выделением влаги и усадки биомассы. При достижении 140–150 °С начинается разложение целлюлозы, после 150 °С распадается ксилан (пентозан).

Таблица 1

Условия термической модификации сорбентов на основе сухой биомассы борщевика Сосновского

№ модификации	Условное обозначение	Условия модификации
1	МБ _к	термообработка в муфельной печи в стальном реакторе при 200 °С в течении 1 ч
2	МБ _г	термообработка в муфельной печи в стальном реакторе при 400 °С в течении 1 ч

Примечание: МБ_к – карбонизированная модифицированная биомасса борщевика; МБ_г – графитизированная модифицированная биомасса борщевика.

Основной процесс термической модификации идет при 250–270 °С и сопровождается выделением фурфурола, уксусной кислоты, газов. Часть уксусной кислоты уходит из-за отщепления ацетильных групп от гемицеллюлозы. Термический распад лигнина начинается при 250 °С, образуются низкомолекулярные летучие соединения, происходит перестройка первичной структуры лигнина [3].

Для оценки способности полученных модифицированных сорбентов поглощать поллютанты в бюкс с притертой крышкой помещали навеску сорбента, равную 1–5 г, доведенную до постоянной массы с точностью до 0,001 г. После этого бюкс с сорбентом устанавливали в эксикатор, заполненный формальдегидом, на 18 ч. По истечении времени осуществляли взвешивание бюкса и расчет сорбционной емкости сорбентов. Результаты оценки сорбционной емкости исследуемых сорбентов представлены в таблице 2.

**Сорбционная емкость сорбентов на основе сухой биомассы
борщевика Сосновского**

Сорбент	A, мг/г
МБ _к	0,50±0,13
МБ _г	6,60±1,65

На основании полученных результатов можно предположить, что графитизация химически модифицированной сухой биомассы борщевика Сосновского в большей степени, чем карбонизация, способствует увеличению количества и раскрытию пор. При этом, сорбционная емкость активированного угля в аналогичных условиях обычно составляет 20–30% от собственной массы сорбента, что значительно превышает эффективность полученных материалов.

Таким образом, эффективность очистки воздуха от формальдегида для модифицированной сухой биомассы борщевика Сосновского достаточно низкая, что говорит о том, что данный способ модификации не позволяет повысить сорбционную емкость борщевика до требуемых значений.

Библиографический список

1. Региональный доклад «О состоянии окружающей среды в Кировской области в 2020 году» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/ecology/doklad.php> (дата обращения: 05.11.2022).
2. Изменение почвенной актинобиоты под влиянием инвазии борщевика Сосновского / Е. В. Товстик, И. Г. Широких, Е. С. Соловьёва, А. А. Широких, Т. Я. Ашихмина, В. П. Савиных // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. С. 114–118. doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-114-118
3. Химическая технология древесины : учебное пособие / А. К. Славянский, В. И. Шарков, А. А. Ливеровский, А. В. Бувеской, Ф. А. Медников, В. А. Лямин, Ф. Т. Солодкий, Э. М. Цацка, О. А. Дмитриева, Б. Ф. Никандров. М. : Гослесбумиздат, 1962. 577 с.

СЕКЦИЯ 4

БИОТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ЛЕСОПИЛЕНИЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Л. А. Беловежец, Ю. А. Малков, Д. С. Белоусов
Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН,
lyu-sya@yandex.ru

Проблема утилизации древесных опилок является актуальной практически для всех регионов России. В то же время, сельскохозяйственные угодья испытывают резкий дефицит органических удобрений. В работе рассматривается микробная переработка древесных опилок в органо-минеральное удобрение, которая позволит не только увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, но и даст возможность ликвидировать многотоннажный отход лесообрабатывающих предприятий.

Ключевые слова: компост, древесные опилки, микробная переработка.

Согласно данным FAOSTAT, общий объем учтенной заготовки древесины в мире в 2018 г. составил 3891 млн кубометров. В России – 236 млн м³ (6,1% от общемировой заготовки) [1]. При существующих способах переработки древесного сырья в целом по России полезно используется около половины, а в сибирском регионе лишь третья часть биомассы дерева. Следовательно, в результате деятельности предприятий ЛПК ежегодно образуется около 68–74 млн м³ древесных отходов, и лишь 48–58% из них перерабатывается. Чтобы сохранить окружающую среду, все предприятия, деятельность которых сопряжена с образованием опилок, должны утилизировать их надлежащим образом. Повсеместно распространенное складирование опилок недопустимо, т. к. они создают высокую пожароопасность, прежде всего за счет способности к самовозгоранию. Следовательно, утилизация опилок представляет собой сложный и дорогой процесс, снижение затрат на который приведет к значительной экономии средств владельцев лесопилок.

В то же время, сельское хозяйство испытывает дефицит качественных органических удобрений. В пахотных почвах страны на протяжении последних десятилетий ежегодно складывается отрицательный баланс основных питательных веществ. Потребность в удобрениях для бездефицитного баланса

элементов питания удовлетворяется всего лишь на 15–20%, причем для большинства низко рентабельных и убыточных хозяйств удобрения не доступны в связи с высокой их стоимостью [2, 3]. Например, в Иркутской области вносится в 21 раз меньше необходимого их количества [4]. Следствием этого становится снижение урожайности сельскохозяйственных культур и ухудшение качества продукции. Обычной практикой современного сельского хозяйства стало применение только минеральных удобрений, что приводит к дополнительным потерям гумуса из-за повышения активности почвенной микрофлоры, которая, при недостатке свежего органического вещества и достаточном количестве азота, удовлетворяет потребность в углероде преимущественно за счет разложения гумуса.

Следовательно, целью данной работы было одновременное снижение техногенной нагрузки на территории, окружающие лесопилки, и создание полноценного органического удобрения.

Способ микробной переработки древесных опилок основан на разработанной в ИрИХ СО РАН технологии с использованием ассоциации непатогенных микроорганизмов [5], которая была апробирована на разных типах древесных опилок (лиственные и хвойные), в разные годы, в различных регионах России:

1. На базе лесопилки, принадлежащей ООО «Компания «Северный лес», в 2008 г. для компостирования были предоставлены свежие осиновые опилки в количестве 60 м³;

2. В рамках совместного проекта СО РАН – Забайкалью на городской лесопилке г. Чита, лиственница с небольшими включениями сосны, 30 м³, 2010 г.;

3. На базе лесопилки, принадлежащей «Крестьянскому фермерскому хозяйству Филимонов И.В.», для компостирования использовали смесь опилок сосна-ель, 60 м³, 2018 г.;

4. На базе лесопилки, принадлежащей ООО «Павлицево», смесь древесных опилок (сосна-ель), 120 м³, 2019 г. (рис.);

5. На базе лесопилки, принадлежащей «Красноярской экспортной компании», для компостирования были предоставлены свежие лиственничные опилки в количестве 100 м³, 2020 г.;

6. На базе ЛПК, принадлежащего ООО «Тимбер», смесь хвойных опилок, 500 м³, 2021–2022 гг.

Во всех случаях закладку свежих древесных опилок проводили в теплое время года (май – начало июня) на открытых площадках, свободных от древесной и кустарниковой растительности. Опилки обрабатывали доломитовой мукой и минеральными компонентами. Микроорганизмы выращивали индивидуально на жидкой питательной среде Сабуро, затем смесь стерильно высушивали на цеолите (размер гранул 3–5 мм) до влажности не более 10% и вносили одновременно с минеральными добавками в количестве 1–2 кг/т. К смеси добавляли воду до достижения влажности 60–65 %. Опилки с минеральными добавками и закваской перемешивали трактором с ножом и фор-

мировали бурт высотой до 2,5 м. Перемешивание созревающего компоста проводили через 3–5, 8–10, 12–14 недель компостирования путем перемещения слоев бурта при помощи трактора.



Рис. Внешний вид готового компоста

Агрохимический анализ готового продукта показал стабильность состава и основных показателей независимо от состава субстрата, времени и места компостирования [6]. Валовое количество азота, фосфора, калия сопоставимо с высококачественными органическими субстратами типа верхового торфа, однако, содержание подвижных форм основных биогенных элементов превосходит таковой. Эти вещества, а также гуминовые кислоты, входящие в состав удобрения, будут обеспечивать эффективный рост и развитие растений в течение вегетационного периода. Готовый продукт обладает высокой емкостью катионного обмена и низкой гидролитической кислотностью, что позволит снизить вынос катионов из пахотных горизонтов. Преимуществом является рН, близкий к нейтральному, и отсутствие семян сорняков и фитопатогенов. Удобрение не содержит фитопатогенных микроорганизмов и паразитов, а количество токсичных и опасных веществ в нем значительно меньше предельно допустимых концентраций их, установленных для почв (табл. 1) [7].

Таблица 1

**Содержание токсичных и опасных веществ
(средние результаты по всем компостам)**

Микроэлементы и тяжелые металлы	Содержание, мг/кг	ПДК, мг/кг
Цинк (Zn)	36	100,0
Никель (Ni)	<2,0	85,0
Кобальт (Co)	<1,0	5,0
Медь (Cu)	4,2	55,0
Кадмий (Cd)	0,21	0,5
Свинец (Pb)	0,40	30,0
Ртуть (Hg)	0,007	2,1
Мышьяк (As)	<3,0	10,0

Вегетационные опыты были проведены на семенах гороха, пшеницы, редиса, огурца и томата (табл. 2). Редис и томат оказались наиболее отзывчивыми на внесение удобрения, все исследованные параметры увеличивались более чем на 50 %. Развитие остальных сельскохозяйственных культур тоже ускорилось, особенно заметно увеличение корневой части растения. Проведение полевых опытов с компостом 1 было ограничено определением урожайности картофеля. Повышение урожайности достигало 40–50% при внесении компоста 0,2 кг в лунку перед посадкой из расчета 1 кг/м² (табл. 3).

Таблица 2

Результаты вегетационных исследований сельскохозяйственных культур при внесении компоста 1 (при дозе внесения 1 кг/м²)

Растение	Побег, % к контролю		Корень, % к контролю	
	длина	масса	длина	масса
Горох	122	143	100	158
Пшеница	100	121	147	137
Редис	не опр.	179	не опр.	212
Огурец	112	114	144	186
Томат	153	145	171	185

Таблица 3

Действие компоста 1 на урожайность картофеля

Вариант	Урожайность, ц/га	Увеличение урожайности	
		ц/га	%
Контроль	164	–	–
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	196	32	20
Компост, 0,2 кг/лунка	244	80	49
Компост, 1 кг/м ²	228	64	39
НСР ₀₅	34		–

Таким образом, производимое по нашей технологии удобрение, имеющее в своей основе древесные опилки, независимо от состава субстрата, времени и места компостирования стабильно по составу и основным агрохимическим показателям. Удобрение содержит азот, фосфор, калий в легко усваиваемой растениями форме и в хорошо сбалансированном виде. Полученное нами удобрение сопоставимо с верховым торфом по основным агрохимическим показателям, но превосходит таковой по содержанию подвижных форм основных биогенных элементов. Удобрение не содержит фитопатогенных микроорганизмов и паразитов, а количество токсичных и опасных веществ в нем значительно меньше ПДК, установленных для почв. Использование данного компоста позволит не только ликвидировать многотоннажный отход лесоперерабатывающих предприятий, но и даст возможность увеличить урожайность сельскохозяйственных культур. Предлагаемый нами вариант предполагает использование некондиционных опилок низкого качества или лежалых опилок без какой-либо предварительной обработки в неограниченном количестве.

Библиографический список

1. FAOSTAT [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (дата обращения 1.10.2022)
2. Сельское хозяйство России // Буклет МСХ РФ. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 48 с.
3. Внесение удобрений под урожай 2014 года и проведение работ по химической мелиорации земель. М. : Росстат, 2015. 72 с.
4. Отчет министерства сельского хозяйства Иркутской области за 2018 г. С. 55.
5. Беловежец Л. А. Способ утилизации древесных опилок с применением композиции дереворазрушающих микроорганизмов для получения комплексного органоминерального удобрения // РФ Пат. RU 2 701 942 С1, 1019.
6. Беловежец Л. А., Третьяков А. В. Агрехимические показатели компоста на основе древесных опилок // Химия в интересах устойчивого развития. 2020. № 28. С. 124–130.
7. Беловежец Л. А. Эколого-биохимические процессы, протекающие при трансформации органических субстратов, и возможности их практического использования для биоремедиации почв : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Иркутск, 2021. 48 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ – ИСКУССТВЕННЫХ ПОЧВОГРУНТОВ

*А. С. Чепрасова^{1,2}, М. А. Севастьянов³, Т. С. Дроганова¹,
Н. Г. Новикова^{1,2}, А. А. Колкова^{1,2}*

¹ *Московский государственный областной университет,
kaf-obhim@mgou.ru*

² *Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
CheprasovaAS@yandex.ru*

³ *ФГБНУ «ВНИИ фитопатологии», vniif@vniif.ru*

В работе рассматриваются результаты изучения искусственных почвогрунтов, являющихся продуктами промышленной аэробной переработки органических отходов. Определен состав почвогрунтов, осуществлена оценка их фитоприменимости для выращивания растений, в том числе лекарственных. Оценка биохимических и вегетационных параметров растений, выращенных на искусственных почвогрунтах, показывает хорошие перспективы их промышленного использования в качестве субстратов в растениеводстве, производстве лекарственных растений и для целей ремедиации загрязненных почв.

Ключевые слова: искусственные почвогрунты, безотходные технологии, технологии декарбонизации, органические отходы, аэробное ферментирование, фитоприменимость, биохимические параметры, химический состав.

Проблема производства почвогрунтов из органических отходов в настоящее время является одной из наиболее злободневных в связи с острой необходимостью ассимиляции отходов мегаполисов [1]. Создание технологий переработки определено Указом Президента Российской Федерации от 4 но-

ября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» и постановлением Правительства РФ «О Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». Эти документы соответствуют подписанным Российской Федерацией Парижскими соглашениями по климату. В настоящее время в Московской области прекращено захоронение твердых бытовых отходов (ТБО), и на передний план выходят комплексы по переработке отходов (КПО) и предприятия по сжиганию мусора. В обоих случаях эксплуатация таких предприятий представляется неидеальной. Мусоросжигающие предприятия напрямую являются мощными источниками выброса диоксида углерода и многих токсичных примесей, очистка от которых является затруднительным и чрезвычайно дорогостоящим мероприятием [2]. Технологии сжигания противоречат требованиям «декарбонизации» экономики, закрепленной Парижскими соглашениями 2015 г., и упомянутой выше «Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». Комплексы по переработке отходов являются предприятиями, учитывающими требования экологии, но развитие таких комплексов тормозится недоразвитостью систем отдельного сбора и сортировки твердых коммунальных отходов (ТКО). Кроме этого, известно, что большая часть ТБО приходится на отходы сельского хозяйства, пищевые отходы и коммунальные отходы, то есть на отходы с высоким содержанием биоорганических веществ, которые могут подвергаться биохимическим превращениям [3]. Биотехнологическая переработка отходов аэробного типа позволит отказаться от применения низкоэффективных и неэкологичных предприятий по захоронению и сжиганию отходов, содержащих органические природные вещества. Степень и качество переработанности органических отходов биотехнологическими методами определяет возможности использования образующихся компостов в различных направлениях деятельности. Такими направлениями являются сельское хозяйство, садово-парковое использование и ремедиация техногеннонарушенных территорий. В любом из этих направлений ассимиляции главное условие – это отсутствие фитотоксичности таких почвогрунтов, которая может возникнуть из-за нарушения технологий аэробного биотехнологического процесса, а также из отсутствия должного контроля на стадии приема и сортировки исходных компонентов – органических отходов. Как и любое крупнотоннажное производство, технологии производства искусственных почвогрунтов должны строго контролироваться на всех стадиях процесса, а технологический регламент должен постоянно совершенствоваться. Такой контроль при компостировании отходов уже осуществляется рядом высокотехнологичных компаний по параметрам влажности, температуры, газообмена.

Низкий выброс парниковых газов в технологиях компостирования достигается в аэробных автоматизированных микробиологических процессах, которые ведутся под контролем специального программного обеспечения [4, 5]. Достоинствами получаемых искусственных компостов являются низкая обсемененность материала и доступность питательных элементов для расте-

ний. Несмотря на автоматизацию микробиологического процесса, качество искусственных почвогрунтов существенно зависит от ряда обстоятельств, в том числе, от состава исходных материалов, поэтому оценка их применимости является актуальной задачей. Эта задача решается при контроле состава почвогрунтов по макро- и микроэлементам, а также при оценке фитоприменимости, то есть параметров всхожести, вегетации растений и их биохимических параметров.

В настоящей работе проводилась оценка качества трех коммерческих почвогрунтов: питательный почвогрунт компании «Грунт Эко»; смесь торфяная «Veltorf»; почвогрунт «Substrates Select». Контролем служила нативная почва полевого севооборота (Рязанская обл.).

Определен макрокомпонентный состав исследованных образцов (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , S). Компост, полученный при производстве «Грунт Эко» характеризуется наиболее высокими содержаниями фосфора и калия среди изученных образцов. Содержание ряда редких и рассеянных элементов в исследованных образцах (Co, Cr, Ga, Mo, Nb, V, S, Sc, Sr, Th, U, Y, Zr) оказалось ниже кларковых значений и пределов обнаружения использованных методов, и не вызывает поводов для беспокойства с точки зрения оценки качества почвогрунтов. Концентрации приоритетных экотоксикантов As, Hg и Pb во всех исследованных пробах оказались существенно меньше установленных СанПиН значений. Кроме этого, были исследованы компоненты искусственных почвогрунтов: котлованный грунт и компост («Грунт Эко»), состав которых также не вызывает беспокойства с точки зрения экологических требований.

Оценка фитоприменимости проведена с использованием лекарственных растений различных видов: мята перечная (*Mentha piperita*), тимьян ползучий (*Thymus serpyllum*), валериана лекарственная (*Valeriana officinalis*), а также кресс-салата (*Lepidium sativum*), который был изучен в качестве тестового объекта. За ростом исследуемых объектов наблюдали в течение всего эксперимента и фиксировали изменения. Исследования, для которых был необходим свежий растительный материал (исследование активности ферментов, содержания хлорофилла и др.), проводили за 2 недели до его сбора. Определены всхожесть, параметры вегетации исследованных растений, а также биохимические параметры: содержание хлорофиллов, активность каталазы, активность кислой фосфатазы.

Результаты, полученные при изучении всхожести, вегетации, содержания хлорофиллов, а также удельной активности ферментов каталаза и кислая фосфатаза в тканях растений показали возможность применения исследованных почвогрунтов для выращивания лекарственных растений и кресс-салата. Сравнительная оценка с контролем показала, что в лучшую сторону отличаются характеристики, полученные для почвогрунта «Грунт Эко», а также для субстрата «Substrates Select». Вместе с тем, предварительная оценка фитоприменимости торфяного почвогрунта «Veltorf» затруднительна, поскольку

отмечена гибель большого количества исследуемых растений в период вегетации.

Исследование выполнено в рамках соглашения № 075-11-2021-059 по теме «Высокотехнологичное производство грунтов методами инновационной переработки отходов» (головное предприятие ФГБНУ «ВНИИ фитопатологии», идентификатор государственного контракта – 000000S407521QL90002).

Библиографический список

1. Польшгалов С. В., Ильиных Г. В., Коротаев В. Н. Зависимость теплотехнических свойств твердых коммунальных отходов от их компонентного и фракционного состава // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 2. С. 70–78. doi: 10.25750/1995-4301-2018-2-070-078
2. Миронов В. В. Экобиотехнологии переработки органических отходов // Вестник ВНИИМЖ. 2018. № 1(29). С. 60–65.
3. Каллистова А. Ю., Литти Ю. В., Кевбрина М. В. Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов : коллективная монография / под ред. А. Н. Ножевникова. М : Логос, Университетская книга, 2016. 320 с.
4. Якобюк Л. И., Еремина Д. В., Еремин М. Д. Создание искусственного почвогрунта с использованием оптимизационной модели плодородия черноземных почв // АПК России. 2017. № 24 (2). С. 360–365.
5. Почвогрунт: обзор методов получения и возможностей применения / А. П. Глинушкин, Л. Л. Свиридова, М. А. Севостьянов, И. И. Сычева, Е. В. Гришина // Биотика. 2018. № 6 (25). С. 10–19.

РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ ОТРАСЛИ ЖИВОТНОВОДСТВА

Л. В. Пилип¹, Н. В. Сырчина², О. В. Бякова¹

*¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
pilip_larisa@mail.ru*

² Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru

Недостаточное внимание к внедрению рациональных технологий управления отходами животноводства (навоз животных, помет птиц) приводит к росту экологической нагрузки на окружающую среду. Исследования, посвященные изучению вопросов рециклинга навоза животных, представляют большой коммерческий и экологический интерес.

Ключевые слова: навоз, подстилка для животных, технологии переработки отходов животноводства, утилизация отходов, биореакторная установка, биотестирование.

Современное промышленное животноводство развивается по пути создания крупных промышленных агрохолдингов. По данным официальной статистики на конец 2021 г. в сельскохозяйственных хозяйствах сосредоточено 91,6% свиней, 84,3% птицы и 45,2% поголовья крупного рогатого скота

(КРС). Концентрация значительного поголовья на ограниченных площадях резко обострила проблему утилизации образующихся отходов: навоза животных (НЖ) и помета птиц (ПП) [1, 2]. Исследователи указывают на взаимосвязь нерациональной утилизации НЖ и ПП с загрязнением окружающей среды, в первую очередь почвы [3–5] и водных ресурсов, а также запаховым загрязнением атмосферного воздуха [6–7]. Важным моментом является экологически безопасная технология переработки навозных отходов животноводства [8–9]. До настоящего времени НЖ и ПП относили к отходам 3–5 классов опасности, однако с 1 марта 2023 г. вступает в силу Федеральный закон «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (№ 248-ФЗ от 14 июля 2022 г.). Согласно этому закону, «НЖ и ПП являются побочными продуктами животноводства (ППЖ) и при соблюдении установленных в законе требований не будут считаться отходами, а специализированные площадки их хранения не будут являться объектами размещения отходов». При этом, как и прежде, при обращении с ППЖ не допускается загрязнение окружающей среды (почвы и водных объектов). В связи с этим мероприятия по внедрению экологически безопасных систем утилизации НЖ и ПП с получением новых товарных продуктов не потеряли своей актуальности.

Одним из перспективных направлений переработки навоза КРС считается производство подстилки для животных. В настоящее время не сформировано однозначного мнения относительно полной безопасности материалов, полученных на основе рециклинга НЖ [10–12], поэтому исследования направленные на изучение этих вопросов, а также вопросов, связанных с перспективами применения переработанного навоза в других отраслях сельского хозяйства представляют большой интерес.

Целью исследований явилось изучение свойств материала, полученного из навоза КРС на биореакторной установке, и оценка возможности его использования в растениеводстве и грибоводстве.

В качестве объекта исследований использовали образцы навоза КРС, обработанные на биореакторной установке BRU FAN 720 (Бельгия). Соответствующая установка (установка восстановления подстилки) позволяет разделять навоз КРС на жидкую и твердую фракции с последующей интенсивной аэробной обработкой твердой фракции во вращающемся барабане при температуре 65–75 °С. Условия обработки способствуют сокращению численности патогенной микрофлоры, устранению жизнеспособных яиц гельминтов и семян сорных растений. Готовый продукт представляет собой сыпучий материал без характерного для навоза неприятного запаха, пригодный для использования в качестве подстилки для КРС. Установка работает автономно, круглосуточно. Переработка 240 м³ НС позволяет получить 91,2 м³ сухой фракции, которая может сразу же использоваться на подстилку коровам (восстановленная подстилка) и 148,8 м³ жидкой фракции, которая поступает по системе труб в крытые лагуны и после шести месяцев хранения вносится в почву в

качестве органического удобрения. Для проведения исследований были отобраны три образца восстановленной подстилки (ВП) различной заделки.

Исследования включали изучение химического состава и свойств ВП, а также оценку влияния соответствующего материала на прорастание семян и развитие проростков методом фитотестирования. Для фитотестирования использовали 3 варианта субстрата: 1) карьерный песок (контроль); 2) восстановленную подстилку; 3) смесь восстановленной подстилки (50% масс.) и карьерного песка (50% масс.). Фитотестирование проводили согласно [13]. В качестве тест-культуры использовали кресс-салат, сорт «Ажур».

Все исследования выполняли в лабораторных условиях в трёхкратной повторности. Статистическую обработку полученных результатов проводили стандартными методами с использованием встроенного пакета программ Microsoft Excel. Статистическую значимость различий средних величин оценивали по t-критерию Стьюдента.

В таблице 1 приведены данные о химическом составе и свойствах отобранных образцов ВП.

Таблица 1

Химический состав и свойства восстановленной подстилки

Показатель*	Значение		Метод анализа
Влажность, %	38,4±6,5		Высушивание навески до постоянной массы при температуре 102±2°С.
Активная кислотность, ед. рН	8,7±0,3		Потенциометрический: измерение рН в водной суспензии ВП, приготовленной согласно ГОСТ 11623-89
P ₂ O ₅ (общий), %	0,8±0,1		ГОСТ 26717
K ₂ O (общий), %	3,8±0,2		ГОСТ 26718
N (общий), %	2,9±0,2		ГОСТ 26715
Органическое вещество, %	73,4±6,8		ГОСТ 27980
Тяжелые металлы	содержание в восстановленной подстилке	МДУ в грубых и сочных кормах**	Атомно-абсорбционный с помощью спектрометра ААС «Спектр-5-4» по ФР 1.31.2018.31189
Fe вал., мг/кг	280±70	100	
Zn вал., мг/кг	56,1±18,5	50	
Mn вал., мг/кг	33,6±7,7	не нормируется	
Cu вал., мг/кг	10,9±2,5	30	
Ni вал., мг/кг	1,9±0,8	3,0	
Cd вал., мг/кг	0,05±0,02	0,3	
Pb вал., мг/кг	ниже порога обнаружения	5,0	

Примечание: *содержание элементов питания и ТМ указано на сухое вещество; **Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных (утв. Главным управлением ветеринарии Государственного агропромышленного комитета СССР 7 августа 1987 г.)

Согласно приведенным в таблице 1 данным, ВП содержит основные элементы минерального питания растений в соотношении, характерном для бесподстилочного навоза КРС. Валовое содержание тяжелых металлов (кроме железа) в ВП не превышает установленные для грубых и сочных кормов уровни. Повышенное содержание Fe может быть обусловлено витаминно-минеральными премиксами, включаемыми в рацион животных. Результаты химического анализа ВП свидетельствуют о том, что минеральный состав данного материала не представляет экологической опасности и может найти применение не только в качестве подстилки для животных, но и в качестве субстрата для выращивания грибов или компонента питательных грунтов и органоминеральных удобрений.

В таблице 2 приведены результаты фитотестирования ВП.

Таблица 2

Результаты фитотестирования восстановленной подстилки

№ п/п	Показатели	Варианты субстрата		
		1 (контроль)	2	3
1	Всхожесть, %	92,7±1,3	93,4±1,8	94,4±1,6
2	Масса 30 проростков, г	0,49±0,04	0,50±0,08	0,51±0,03
3	Длина побегов, см	6,84±0,80	7,17±0,95	7,27±0,82
4	Длина корней, см	5,19±1,33	4,58 ±1,58	4,04±1,91

Результаты фитотестирования не выявили статистически значимых различий между разными по составу субстратами, т. е. ВП не оказывает угнетающего воздействия на развитие двудольных растений.

Выполненные исследования показали, что материал, полученный из навоза КРС на биореакторной установке, может найти применение не только в животноводстве, но и в растениеводстве. По сравнению с нативным навозом, ВП характеризуется низкой влажностью, что снижает расходы на транспортировку материала, наличием в составе основных элементов минерального питания растений и ценных микроэлементов (Cu, Zn), низким содержанием ТМ. Благодаря указанным преимуществам, ВП может найти применение для изготовления тепличных грунтов, грунтов для выращивания рассады, субстрата для грибов, а также органоминеральных удобрений. Следует отметить, что относительно высокий уровень рН, характерный для ВП, может способствовать разложению солей аммония с выделением NH₃. Данный фактор несколько ограничивает перечень минеральных соединений, пригодных для включения в состав органоминеральных удобрений на основе ВП.

Библиографический список

1. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и наилучшие доступные методы их решения // Региональная экология. 2017. № 1 (47). С. 37–43.
2. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Экологическая проблема отрасли свиноводства // Аграрная наука – сельскому хозяйству : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х книгах. Барнаул, 2019. С. 193–196.

3. Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина, А. В. Сазанов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 199–205. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-199-205
4. 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. 2016. Киров, С. 87–90.
5. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 219–225. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225
6. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 113–120. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
7. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 26–34. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-026-034
8. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики / Л. В. Пилип, В. А. Козвонин, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 161–167. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-161-167
9. Максишко Л. М. Экобезопасная технология переработки навозных отходов животноводства с абсорбцией парниковых газов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 205–209. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-205-209
10. Recycling manure as cow bedding: Potential benefits and risks for UK dairy farms / K. A. Leach, S. C. Archer, J. E. Breen, M. J. Green, I. C. Ohnstad, S. Tuer, A. J. Bradley // The Veterinary Journal. 2015. Vol. 206. No. 2. P. 123–130.
11. Production of recycled manure solids for use as bedding in Canadian dairy farms: II. Composting methods / S. Fournel, S. Godbout, P. Ruel, A. Fortin, K. Duquette-Lozeau, V. Létourneau, M. Généreux, J. Lemieux, D. Potvin, C. Côté, C. Duchaine, D. Pellerin // Journal of dairy science. 2019. Vol. 102. No. 2. P. 1847–1865. doi: 10.3168/jds.2018-14967
12. Harrison E., Bonhotal J., Schwarz M. Using Manure Solids for Dairy Barn Bedding By Ellen Harrison, Jean Bonhotal and Mary Schwarz. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/46604/Using-manure-solids-as-bedding-literature-review.pdf?sequence=5> (дата обращения: 30.10.2022).
13. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200077669> (дата обращения: 30.10.2022).

РЕЦИКЛИНГ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА С ПОМОЩЬЮ АЛЬГОБАКТЕРИАЛЬНОГО КОНСОРЦИУМА

В. А. Лукьянов¹, И. В. Грибовская²

¹ ФГБНУ «Курский ФАНЦ», lukyanov27@mail.ru

² Институт биофизики СО РАН, gribov@ibp.ru

Рассмотрен вопрос культивирования микроводоросли *Chlorella sorokiniana* в консорциуме с сапрофитными бактериями рода *Bacillus* на питательных средах, приготовленных на основе термически обработанного куриного помёта. Установлено, что продуктивность микроводоросли была выше до 3,5 раз на органической питательной среде. Применение бактериальной группы *Bacillus* дополнительно способствовало стимулированию деления клеток *Ch. sorokiniana* на 28–73%.

Ключевые слова: микроводоросли, *Chlorella*, бактерии *Bacillus*, куриный помёт, переработка отходов, симбиоз.

Развитие птицеводства в России привело не только к стабильному увеличению объемов производства продукции, но и к большому количеству ценного органического сырья, которое по содержанию элементов питания превосходит отходы других животных. В условиях дефицита органических форм удобрений и высоких цен на минеральные удобрения, высокую актуальность приобретает вопрос разработки эффективных органических или органо-минеральных удобрений на основе куриного помёта [1, 2]. В ряде исследований было установлено [3–5], что органические удобрения на основе помёта увеличивали урожайность полевых культур, активизировали биологическую и микробиологическую активность почвы, способствовали усилению процессов гумусообразования.

По данным исследовательской компании Meticulous Market Research Inc., мировой рынок органических удобрений к 2027 г. достигнет 15,9 млрд долларов. Ожидается, что этот рынок вырастет в среднем на 6,6% с 2020 по 2027 гг. и достигнет 33829,2 тыс. т к 2027 году. Основными факторы роста спроса на органические удобрения связаны с производством экопродукции, повышением осведомленности об экологической безопасности, прогрессом в процессе производства органических удобрений, а также немаловажное значение имеет огромное количество ежегодно образующихся органических отходов.

Одним из относительно новых и менее изученных способов использования куриного помёта является приготовление на его основе питательных сред для производства биомассы микроводорослей, которая в комбинации с органическим субстратом может быть успешно использована в растениеводстве как для внесения в почву, так и для листовых подкормок с целью увели-

чения продуктивности агроценозов. Интерес к микроводорослям обусловлен их ценным биохимическим составом – высоким содержанием белка и аминокислот, жиров и углеводов, микроэлементов и витаминов, количество и соотношение которых возможно изменять в зависимости от технологии производства [6–8]. С другой стороны, эффективных удобрений на основе микроводорослей относительно немного, что говорит о необходимости усиления научных исследований в данной области.

Цель исследований – изучение кинетических характеристик микроводоросли *Ch. sorokiniana* с использованием сапрофитных бактерий *B. subtilis* на питательных средах, приготовленных на основе куриного помёта.

Исследования проводили в 2021–2022 гг. в ФГБНУ «Курский ФАНЦ». Объектом исследования являлась культура микроводоросли *Chlorella sorokiniana* IPPAS С-1 из коллекции Института физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН. Для культивирования использовали неавтоматизированные фотобиореакторы закрытого типа объёмом 5 л, повторность трёхкратная. Круглосуточное искусственное освещение для каждого фотобиореактора было представлено энергосберегающими светодиодными лампами LED Aquael 10 Вт, освещаемый слой суспензии составлял 15 см. Углекислый газ не использовали. Температуру культивирования поддерживали на уровне 26 ± 1 °С. Цикл культивирования составлял 7 суток.

В качестве питательной среды использовали стандартную среду Тамия для культивирования зелёных микроводорослей, сухой куриный помет (КП) в дозе 10 г/л (1%), концентрированную вытяжку куриного помёта в дозе 100 мл/л (10%). Для усиления роста *Ch. sorokiniana* использовали устойчивую термофильную бактериальную группу *Bacillus subtilis*, предназначенную для переработки животноводческих отходов.

Схема опыта включала следующие варианты исследований:

- 1) микроводоросль *Ch. sorokiniana*, культивируемую на среде Тамия;
- 2) микроводоросль *Ch. sorokiniana* на среде Тамия в консорциуме с *B. subtilis*;
- 3) микроводоросль *Ch. sorokiniana* на среде из куриного помёта в дозе 10 г/л;
- 4) микроводоросль *Ch. sorokiniana* на среде из куриного помёта в дозе 10 г/л в консорциуме с *B. subtilis*;
- 5) микроводоросль *Ch. sorokiniana* на среде с вытяжкой из куриного помёта в дозе 100 мл/л;
- 6) микроводоросль *Ch. sorokiniana* на среде с вытяжкой из куриного помёта в дозе 100 мл/л в консорциуме с *B. subtilis*.

Продуктивность микроводоросли оценивали путём подсчёта клеток в камере Горяева по ГОСТ Р 54496-2011 (ISO 8692:2004).

В связи с тем, что исходный куриный помёт и питательные среды на его основе могут содержать патогенную микрофлору, нами был проведён анализ всех вариантов исследований на основные микробиологические показатели.

Патогенных форм микроорганизмов, в т. ч. *Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* обнаружено не было.

В исследовании было показано, что *Ch. sorokiniana* имеет разную ответную реакцию на используемые варианты питательных сред. Плотность клеток микроводоросли на стандартной среде Тамия была самой низкой по сравнению с другими вариантами без использования *B. subtilis*, что говорит о превосходстве и большей насыщенности питательной среды на основе куриного помёта элементами питания (табл.). Стоит отметить вариант с КП в дозе 10 г/л, при котором плотность клеток микроводоросли достигла $55,4 \pm 3,5$ млн кл. мл⁻¹ без использования бактериальной группы, что в 1,8–3,5 раза выше по сравнению с остальными вариантами исследований без использования сапрофитных бактерий. Это связано с тем, что более высокая насыщенность культуральной среды органическим субстратом формирует более оптимальный уровень рН (7,5–8,5 ед.), он обеспечивает большую концентрацию азота, микроэлементов и витаминов, а также в нём часто имеются микроорганизмы, которые стимулируют развитие микроводорослей при культивировании.

Таблица

Кинетические характеристики микроводоросли *Ch. sorokiniana* на разных питательных средах

Варианты исследований	B_0 , млн кл. мл ⁻¹	P_n , млн кл. мл ⁻¹ сут ⁻¹	B_m , млн кл. мл ⁻¹
1. <i>Ch. sorokiniana</i> (среда Тамия)	2,0±0,2	2,0	16,0±2,5
2. <i>Ch. sorokiniana</i> (среда Тамия) + <i>B. subtilis</i>	2,1±0,2	6,5	47,6±3,6
3. <i>Ch. sorokiniana</i> + КП 10 г/л	2,1±0,2	7,6	55,4±3,5
4. <i>Ch. sorokiniana</i> + КП 10 г/л + <i>B. subtilis</i>	2,0±0,2	11,5	82,4±4,2
5. <i>Ch. sorokiniana</i> + ВКП 100 мл/л	2,2±0,2	3,8	29,0±3,2
6. <i>Ch. sorokiniana</i> + ВКП 100 мл/л + <i>B. subtilis</i>	2,1±0,2	8,4	60,8±3,9

Примечание: B_0 – начальная численность клеток в фотобиореакторе (млн кл. мл⁻¹); P_n – скорость увеличения численности клеток (млн кл. мл⁻¹ сут⁻¹); B_m – конечная численность клеток в фотобиореакторе (млн кл. мл⁻¹).

Рассматривая варианты эксперимента с *B. subtilis*, весьма эффективным способом стало культивирование *Ch. sorokiniana* на среде с КП 10 г/л, где численность её клеток на 7-е сутки достигла наибольшего значения $82,4 \pm 4,2$ млн кл. мл⁻¹. В сравнении с питательной средой ВКП + *B. subtilis*, в которой куриный помёт был отделен от жидкости, продуктивность микроводоросли снизилась на 26%. Довольно хороший результат по плотности клеток был получен на минеральной среде Тамия с *B. subtilis*, что может быть использовано в качестве контрольного варианта при проведении исследований с разными комбинациями питательных сред на органической или другой основе. Наиболее высокая скорость увеличения численности клеток *Ch. sorokiniana* 8,4 и 11,5 млн кл. мл⁻¹ сут⁻¹ наблюдалась с бактериальной группой на средах с КП и ВКП.

Важно отметить, что перед проведением исследований в вариантах с органическими средами, неприятный запах отсутствовал и по окончанию цикла культивирования он изменился на более нейтральный запах водорослей.

Отходы сельскохозяйственного производства, в частности куриный помёт, после прохождения этапа подготовки, может быть использован в качестве основной питательной среды для производства определённых видов микроводорослей. Дополнительное использование бактериальной группы *Bacillus* позволяет заменить традиционный источник углеродного питания – углекислый газ, что с одной стороны способствует снижению материальных затрат, а с другой – увеличению продуктивности микроводоросли *Ch. sorokiniana*.

Библиографический список

1. Щеткин Б. Н. Утилизация отходов птицеводства – решение проблем экологической безопасности и ресурсосбережения. Пермь : Комиканская типография, 2002. 135 с.
2. Органоминеральные удобрения (ОМУ) из помета кур как альтернатива промышленным удобрениям / О. И. Антонова, Е. А. Давыдов, Е. М. Комякова, В. В. Калпокас // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 9 (167). С. 36–40.
3. Влияние нового органо-минерального удобрения на изменение агрохимических свойств деградированной дерново-подзолистой почвы / А. И. Иванов, Ж. А. Иванова, И. А. Фрейдкин, И. В. Соколов // Агрохимия. 2019. № 3. С. 30–36. doi 10.1134/S0002188119030074
4. Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помёта / А. И. Иванов, В. В. Лапа, Н. Г. Ковалёв, И. А. Иванов, Г. Ю. Рабинович, Д. А. Иванов, Ж. А. Иванова, А. А. Конашенков, И. А. Фрейдкин, М. А. Фесенко, П. А. Филиппов, Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, О. М. Бирюкова, Ю. А. Белявская, Т. В. Соколова, З. М. Алещенкова, Л. Е. Картыжова, И. А. Архипченко. СПб. : Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН. 2018. 317 с. doi: 10.25695/agrophys.-mono.ivanovai.fertilizer.2018.317
5. Оптимизация применения птичьего помета под ячмень на лугово-черноземной почве южной лесостепи Западной Сибири / И. А. Бобренко, Н. В. Гоман, Н. К. Трубина, А. Г. Шмидт // Земледелие. 2018. № 7. С. 23–26. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10706
6. Slocombe S. P., Benemann J. R. Microalgal production for Biomass and High-Value Products. Fl.: Taylor & Francis Group. 2016. 334 p.
7. Лукьянов В. А., Горбунова С. Ю., Грибовская И. В. Сравнительная оценка биохимического состава биомассы микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus obliquus* // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 216–221. doi: 10.25750/1995-4301-2021-1-216-221
8. Jia X. The collaborative effect of *Chlorella vulgaris* - *Bacillus licheniformis* consortia on the treatment of municipal water / X. Jia, H. Lia, J. Zhang, H. Saiyin, Z. Zheng // Journal of Hazardous Materials. 2019. Vol. 365. P. 483–493. doi: 10.1016/j.jhazmat.2018.11.039

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *CHLORELLA KESSLERI* ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

К. А. Вельможина, П. С. Шинкевич

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
anizhomlev@mail.ru

В работе исследуется влияние добавки микроводорослей *Chlorella kessleri* на эмиссию биогаза при анаэробном сбраживании отходов. Максимальное количество биогаза было получено в биореакторе со следующим процентным соотношением композиционной смеси: *Ch. kessleri* – пищевые отходы – инокулянт 10–40–50% соответственно.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, микроводоросли, биогаз, биоэнергетика, возобновляемая энергетика, биореактор, метантенк.

Получение биогаза из отходов становится все более популярной энергетической технологией [1]. Для ускорения процессов ферментации отходов применяются различные добавки. Например, использование остаточной биомассы микроводорослей после извлечения полезных компонентов [2]. Целью исследования было выявление влияния добавки микроводорослей *Chlorella kessleri* на эмиссию биогаза при анаэробном сбраживании органических отходов.

В 8 биореакторов, объемом 1 л каждый, были помещены различные по соотношению композиционные смеси модельных пищевых отходов, инокулянта и добавки из остаточной биомассы микроводорослей [3]. Общая масса органического углерода для реакторов – 5 г (*Ch. kessleri* + пищевые отходы + инокулянт).

Содержание смеси в биореакторах (с учетом влажности загружаемых компонентов):

1. 5,31 г *Ch. kessleri* – 9,46 г отходов – 14,15 г инокулянта (10–40–50%);
2. 5,31 г *Ch. kessleri* – 9,46 г отходов – 14,15 г инокулянта (10–40–50%);
3. 13,27 г *Ch. kessleri* – 5,91 г отходов – 14,15 г инокулянта (25–25–50%);
4. 13,27 г *Ch. kessleri* – 5,91 г отходов – 14,15 г инокулянта (25–25–50%);
5. 18,58 г *Ch. kessleri* – 3,55 г отходов – 14,15 г инокулянта (35–15–50%);
6. 18,58 г *Ch. kessleri* – 3,55 г отходов – 14,15 г инокулянта (35–15–50%);
7. 0 г *Ch. kessleri* – 11,82 г отходов – 14,15 г инокулянта (0–50–50%);
8. 0 г *Ch. kessleri* – 0 г отходов – 28,31 г инокулянта (0–0–100%);

7 и 8 биореакторы являлись контрольными, поэтому содержание биомассы микроводорослей в них равно 0. В каждый биореактор также было добавлено 600 мл фильтрованной воды, pH = 6,28.

Биореакторы помещались в термобокс с постоянной температурой 35 °С на 70 суток. Результаты проведенного эксперимента представлены на рисунке.

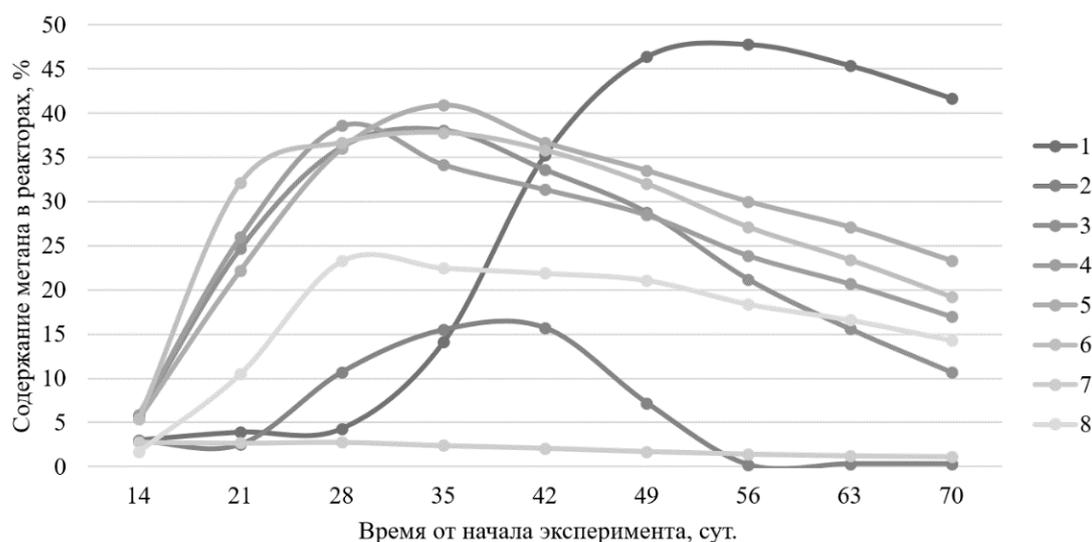


Рис. Содержание метана в биореакторах

Как видно из рисунка, в биореакторе 1 выделялось максимальное количество метана (47% на 52 сутки от начала эксперимента). Также хорошей эмиссией обладали 3, 4 и 5 биореакторы. Таким образом, добавка из остаточной биомассы микроводорослей *Ch. kessleri* положительно влияет на процесс эмиссии биогаза (содержание метана в биореакторе 1 увеличилось в 2 раза по сравнению с биореакторами 7 и 8). Максимальное количество биогаза было получено в биореакторе со следующим процентным соотношением композиционной смеси: *Ch. kessleri* – пищевые отходы – инокулянт 10–40–50% соответственно.

Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства РФ «Приоритет 2030» (Соглашение 075-15-2021-1333 от 30.09.2021 г.).

Библиографический список

1. Стратегия обезвреживания осадков биологической очистки сточных вод / Ю. В. Куликова, Я. И. Вайсман, Ю. В. Завизион, Е. В. Калинина // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 1. С. 55–60. doi: 10.25750/1995-4301-2013-1-055-060
2. Microalgae to biofuels production: a review on cultivation, application and renewable energy / В. О. Abo, Е. А. Odey, М. Bakayoko, L. Kalakodio // Rev. Environ. Health. 2019. Vol. 34. No. 1. P. 91–99. doi: 10.1515/reveh-2018-0052. PMID: 30854832
3. Вельможина К. А., Шинкевич П. С., Захарова М. Э. Оценка биогазового потенциала пивной дробины // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова : сб. докладов. Белгород, 2022. Т. 10. С. 58–62.

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА РЖАНЫХ ОТРУБЕЙ КАК ИСТОЧНИКА ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЛАКТОБАКТЕРИЙ И ПРОДУКЦИИ БАКТЕРИОЦИНОВ

*М. А. Чаленко, Ю. М. Епишкина, Н. Ю. Хромова, Б. А. Кареткин,
И. В. Шакир, В. И. Панфилов*

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
karetkin.b.a@muctr.ru*

В статье представлены результаты по исследованию способности штаммов молочнокислых бактерий продуцировать бактериоцины на стандартных питательных средах и гидролизатах зернового сырья. Оценена возможность использования ржаных отрубей в качестве единственного источника питательных веществ для культивирования бактериоциногенных штаммов лактобактерий.

Ключевые слова: лактобактерии, бактериоцины, антагонистическая активность, растительное сырье, ржаные отруби, ферментативные гидролизаты.

Одними из важнейших проблем общества во всем мире являются болезни пищевого происхождения, множественная лекарственная устойчивость патогенных бактерий к антибиотикам, консервация кормов в сельской промышленности и защита растений от воздействия патогенных микроорганизмов [1]. Нынешний повышенный спрос потребителей на готовые к употреблению, минимально обработанные изделия подталкивает пищевую промышленность к отказу от традиционных методов сохранения продуктов питания [2]. По этой причине проводится множество исследований, направленных на поиск положительного эффекта использования микроорганизмов и их метаболитов на питательные и сенсорные свойства пищевых продуктов, а также продление их срока годности [3]. В настоящее время доказано, что некоторые микроорганизмы обладают способностью синтезировать на рибосомах биологически активные вещества белковой природы, которые обладают антибактериальной активностью – бактериоцины. Бактериоцины молочнокислых бактерий активно исследуют, поскольку считают многообещающим продуктом со множеством вариантов применения [4, 5]. Стратегия использования бактериоцинов в качестве противомикробных препаратов способна удовлетворить потребности людей в пищевых продуктах с минимальной обработкой и без ущерба для их безопасности. Также для общественного здравоохранения интерес представляет проблема бактериальной устойчивости, проявляемой микроорганизмами в присутствии противомикробных агентов [6]. В связи с чем изучение и оценка потенциала растительного сырья для синтеза бактериоцинов является важным направлением. Применение альтернативного растительного сырья может повысить технологические показатели процесса получения антимикробных пептидов и сделать его экономически выгодным для про-

мышленной реализации. В качестве альтернативы предлагается использовать недорогие возобновляемые ресурсы, например, побочные продукты переработки зерна [7–10].

Целью настоящей работы было сравнительное исследование способности лактобактерий продуцировать бактериоцины на стандартных питательных средах и гидролизатах ржаных отрубей и оценка потенциала использования зернового сырья в качестве единственного источника питательных веществ для культивирования бактериоциногенных штаммов.

В качестве микробных объектов исследований использовали штаммы *Lactobacillus salivarius* В-2214, *Lactobacillus paracasei* В-11657 и *Lactobacillus acidophilus* В-2105 полученные из Национального биоресурсного центра Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» (ВКПМ, Москва, Россия). В качестве тестовых культур использовали штаммы *Bacillus megaterium* В-3750, *Bacillus coagulans* В-4521, *Bacillus coagulans* В-9868, *Bacillus coagulans* В-10468, *Bacillus cereus* В-8076 и *Salmonella enterica* В-5300 также полученные из ВКПМ.

Для получения инокулята штаммы лактобактерий культивировали в стандартной питательной среде MRS в течение 24 ч при температуре 37 °С. Для получения инокулята штаммы тест-культур культивировали в L-бульоне в течение 24 ч при температуре 37 °С.

Для исследования бактериоциногенного потенциала лактобактерий их культивировали на стандартной среде MRS, а также на гидролизатах зернового сырья. Для получения гидролизатов ржаные отруби ООО «Продуктовая Аптека» (Саратов, Россия) ресуспендировали в дистиллированной воде в соотношении 1:20 и последовательно обрабатывали ферментными препаратами: протеолитическим препаратом Protex 40E («Дженекор Даниско», Бельгия) (дозировка 2% от содержания белка в субстрате, рН 8,6, температура 60 °С в течение 90 мин) и целлюлолитическим препаратом Cellic CTec 2 (АО «Novozymes A/S», Дания) (дозировка 12,5% от содержания сухого вещества в субстрате, рН 5,0 температура 50 °С в течение 90 мин). По окончании гидролиза в энзиматических гидролизатах устанавливали рН 6,6–6,8 и стерилизовали при 1 ати в течение 30 мин.

Для определения бактериоциногенного потенциала лактобактерий проводили исследование антагонистической активности бесклеточных супернатантов против тестовых культур с определением диаметра зон подавления роста. Пробоподготовка бесклеточных супернатантов заключалась в удалении биомассы из культуральной жидкости лактобактерий на центрифуге Eppendorf 5810R (Eppendorf, Германия) при 7500 об./мин в течение 10 минут при температуре 10 °С, нейтрализации рН супернатанта до значения 7,0 и его стерилизации путем фильтрации через мембранные фильтры с размером пор 0,22 мкм (TANVI, Китай). Оценку активности бактериоцинов против тестовых штаммов различных групп микроорганизмов осуществляли методом диффузии в агар. Для чего 1 мл культуральной жидкости тестовой культуры инокулировали в 15 мл агаризованного L-бульона (температура 37-40 °С), пе-

ремешивали, выливали в стерильные вентилируемые чашки Петри и оставляли при комнатной температуре на 20 мин. После застывания агара на его поверхности на равном расстоянии друг от друга делали лунки диаметром 6 мм с помощью обрезанных стерильных носиков на 1000 мкл. В каждую лунку вносили по 50 мкл исследуемых образцов. В качестве контроля использовали препарат широкого антимикробного действия – метронидазол в концентрации 5 мг/мл. После чего чашки Петри выдерживали при комнатной температуре в течение 1-2 ч для обеспечения диффузии, затем инкубировали при температуре 37°C в течение 48 ч и измеряли диаметр зон подавления роста тест-штаммов.

Результаты оценки антимикробной активности бесклеточных супернатантов, полученных после культивирования бактериоциногенных штаммов лактобактерий в среде MRS, на тест-штаммы различных групп микроорганизмов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исследование антимикробной активности бесклеточных супернатантов бактериоциногенных штаммов лактобактерий после культивирования в среде MRS в течение 18 ч

Штаммы лактобактерий	Зона угнетения тест-штамма, мм					
	В-3750	В-4521	В-10468	В-9868	В-8076	В-5300
<i>Lactobacillus salivarius</i> В-2214	12	16	8	10	н/о	н/о
<i>Lactobacillus paracasei</i> В-11657	14	14	7	12	н/о	н/о
<i>Lactobacillus acidophilus</i> В-2105	7	н/о	н/о	14	н/о	н/о
Смешанная культура В-11657+ В-2214	14	20	10	14	18	н/о
Контроль (метронидазол)	22	13	12	7	н/о	н/о

Примечание: н/о – не обнаружено.

Антимикробная активность была обнаружена против представителей р. *Bacillus*, однако подавление роста *Bacillus cereus* установлено лишь для смешанной культуры *Lactobacillus paracasei* В-11657 и *Lactobacillus salivarius* В-2214. Максимальный диаметр зон подавления роста тестовых штаммов также наблюдали для смешанной культуры.

В следующем эксперименте была проведена оценка чувствительности тестовых культур по отношению к бесклеточным супернатантам, полученным после культивирования бактериоциногенных штаммов лактобактерий, в ферментативных гидролизатах ржаных отрубей. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Результаты антимикробной активности бесклеточных супернатантов бактериоциногенных штаммов лактобактерий после культивирования в гидролизате ржаных отрубей в течение 18 ч

Штаммы лактобактерий	Зона угнетения тест-штамма, мм					
	В-3750	В-4521	В-10468	В-9868	В-8076	В-5300
<i>Lactobacillus salivarius</i> В-2214	8	12	12	10	н/о	н/о
<i>Lactobacillus paracasei</i> В-11657	12	13	10	13	н/о	11
<i>Lactobacillus acidophilus</i> В-2105	7	н/о	н/о	14	н/о	7
Смешанная культура В-11657+ В-2214	14	20	12	13	25	н/о
Контроль (метронидазол)	21	15	13	8	н/о	н/о

Примечание: н/о – не обнаружено.

Результаты исследования показали, что при культивировании лактобактерий в гидролизатах ржаных отрубей исследуемые штаммы образовывали антимикробные пептиды, которые подавляли рост некоторых тестовых штаммов. Наибольшие зоны подавления роста были получены при исследовании смешанной культуры против *Bacillus cereus* В-8076 и других представителей р. *Bacillus*. При этом бактериоцины *Lactobacillus acidophilus* В-2105 слабо подавляли или не подавляли рост бацилл. Также наблюдали образование зон подавления роста штаммом *Lactobacillus acidophilus* В-2105 против *Salmonella enterica* В-5300, хотя и менее выраженное.

Таким образом, использование ржаных отрубей, обработанных ферментными препаратами для повышения доступности углеводной и пептидной фракции, не только обеспечивает хороший рост клеток, но и продукцию антимикробных пептидов лактобактериями. Причем их активность проявляется против различных тестовых штаммов.

В настоящей работе было проведено исследование бактериоциногенного потенциала штаммов лактобактерий при культивировании в стандартной питательной среде MRS, а также в гидролизате ржаных отрубей, основанное на оценке чувствительности тестовых культур к бесклеточным супернатантам методом диффузии в агар. Определены тестовые штаммы, против которых проявлялась наибольшая антибактериальная активность. В дальнейших исследованиях планируется рассмотрение возможности использования новых вариантов растительного сырья для культивирования лактобактерий, поиск новых штаммов лактобактерий, способных продуцировать бактериоцины, а также расширение тестовых штаммов для изучения спектра антибактериальной активности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-19-00367).

Библиографический список

1. Домрачева Л. И. Использование организмов и биосистем в ремедиации территорий // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 4. С. 4–16. doi: 10.25750/1995-4301-2009-4-004-016
2. Потемкина Н. С., Крутько К. Н. Роль информационных технологий в реализации концепции оздоровительного геропротекторного питания населения // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2016. Т. 66. № 2. С. 60–73.
3. Применение барьерных биотехнологий при производстве кулинарной продукции / В. Г. Гнилицкий, Ю. В. Шепиашвили, А. А. Гребенюк, Н. В. Барсукова, Ю. Г. Базарнова // Неделя науки Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого : материалы науч. конф. с междунар. участием. СПб., 2017. С. 122–125.
4. Characterization and antibacterial modes of action of bacteriocins from *Bacillus coagulans* CGMCC 9951 against *Listeria monocytogenes* / Z. Jing, G. Shaobin, Z. Tianrong, M. Jinliang, Z. Lina, L. Xin, Z. Jie // LWT- Food Science and Technology. 2022. Vol. 160. A. 113272.
5. Сульtimoва Т. Д., Захаров Е. В. Бактериоцины молочнокислых бактерий // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологии и управления. 2016. Т. 2. № 59. С. 41–47.
6. Daba G. M., Elkhateeb W. A. Bacteriocins of lactic acid bacteria as biotechnological tools in food and pharmaceuticals: Current applications and future prospects // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020. Vol. 28. A. 101750.
7. Liu X. Continuous production of bacteriocins by lactic acid bacteria from whey permeate and applications in food systems. Ohio, US : The Ohio State University, 1997. 79 с.
8. Using brewer's spent grain to formulate culture media for the production of bacteriocins using Patagonian strains / A. Paz, S. Sabo, M. Vallejo, E. Oliveira, J. Dominguez // LWT- Food Science and Technology. 2018. Vol. 96. P. 166–174.
9. Enhancing the saccharification of pretreated chestnut burrs to produce bacteriocins / I. Costa-Trigo, P. Outeirino, N. Guerra, J. Dominguez // Journal of Biotechnology. 2021. Vol. 329. P. 13–20.
10. Detoxification of chestnut burrs hydrolyzates to produce biomolecules / I. Costa-Trigo, A. Paz, D. Outeirino, R. Oliveira, J. Dominguez // Biochemical Engineering Journal. 2020. Vol. 159. A. 107599.

МЕТАЛЛОТОЛЕРАНТНЫЕ БАКТЕРИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ г. ТУЛЫ

*Л. В. Переломов¹, О. И. Сизова², Л. Г. Мухторов¹,
А. В. Третьякова¹, Ю. М. Атрощенко¹*

¹ *Тульский государственный педагогический университет
имени Л. Н. Толстого, perelomov@rambler.ru*

² *Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
имени Г. К. Скрыбина РАН,
Пушкинский научный центр биологических исследований,
osizova@rambler.ru*

Из различных объектов очистных сооружений канализации крупного города выделены и идентифицированы молекулярно-генетическими методами штаммы бактерий, устойчивые к высоким концентрациям тяжелых металлов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, бактерии, устойчивость, очистные сооружения канализации.

Формирование микробных ассоциаций с адекватным набором физиолого-биохимических свойств и с требующимся генетическим потенциалом имеет решающее значение для детоксикации и биодеградации экологически опасных неорганических и органических загрязнителей в сточных водах и продуктах их очистки. От научно обоснованного контроля и управления активностью микробных сообществ зависит эффективность очистных сооружений и соответствие региональным и международным нормативам и стандартам, которые регулируют качество очищенных сточных вод, направляемых на реутилизацию или сбрасываемых в водоемы [1, 2]. Особенно актуально проблема биологической очистки сточных вод стоит в промышленно-развитых регионах, где загрязнена значительная часть поверхностных водотоков и водоёмов [3].

Обезвреживание сточных вод, загрязненных неорганическими поллютантами, осуществляется микроорганизмами в процессах биосорбции, биоаккумуляции и биотрансформации. Однако, эти функции могут эффективно выполнять микроорганизмы, будучи сами устойчивыми к загрязнителям, прежде всего тяжелым металлам и различным антибиотикам. Выделение и описание таких штаммов микроорганизмов, изучение их эколого-физиологических особенностей, оптимальных способов культивирования является крайне актуальной задачей.

Нами были выделены и идентифицированы молекулярно-генетическими методами из различных сред с известными химическими свойствами (вод, активного ила, разновозрастных осадков сточных вод) очистных сооружений канализации г. Тулы штаммы бактерий, устойчивые к загрязнению тяжелыми металлами.

Очистные сооружения канализации (ОСК) г. Тулы были запроектированы на расчетный срок (1975 г.) мощностью 250 тыс. м³/сутки с возможностью расширения на перспективу (1985 г.) до 450 тыс. м³/сутки. Строительство ОСК началось в 1968 г., I очередь была введена в эксплуатацию в 1976 г., II очередь – в 1977 г. В 2012 г. совместно с подрядной организацией была проведена научно-исследовательская работа по созданию перспективной схемы развития водоснабжения и водоотведения г. Тулы до 2025 г. На сегодняшний день очистные сооружения канализации г. Тулы реализуют мощность в 180 тыс. м³/сутки. В их состав входят: приёмная камера с решетками, песколовки, первичные и вторичные отстойники, метантенки, аэротенки, станция механического обезвоживания осадка, иловые карты. Очистные сооружения обслуживает АО «Тулагорводоканал». Нормативы состава сточных вод утверждены Постановлением администрации г. Тулы № 1995 от 26.06.2020 г.

Проведенный анализ осадков сточных вод показал, что их микробиологический состав представлен бактериями, включая актиномицеты, и грибами.

По количеству колониеобразующих единиц преобладают бактерии. В образцах активного ила и сточных вод было определено количество аэробных микроорганизмов. Численность бактерий, выделенных из образцов активного ила вторичного отстойника, составила $2,8 \times 10^6$ кл./мл, сточных вод вторичного отстойника – $2,4 \times 10^5$ кл./мл, содержимого метантенка – $1,6 \times 10^5$ кл./мл.

Таблица

**Металлотолерантные штаммы бактерий
из очистных сооружений г. Тулы**

№	Виды (согласно результатам секвенирования)	Источник	ТМ	Максимальная концентрация
1	<i>Serratia proteamaculans</i>	Метантенк	Ni	5 мМ
2	<i>Pseudomonas gessardii</i>	Вторичный отстойник (ил)	Ni	3 мМ
3	<i>Pseudomonas fragi</i>	Вторичный отстойник (ил)	Cd	3 мМ
4	<i>Pseudomonas fragi</i>	Вторичный отстойник (вода)	Cd	3 мМ
5	<i>Serratia proteamaculans</i>	Вторичный отстойник (ил)	Pb	5 мМ
6	<i>Pseudomonas fragi</i>	Вторичный отстойник (вода)	Pb	3 мМ
7	<i>Pseudomonas brenneri</i>	Вторичный отстойник (вода)	Pb	3 мМ
8	<i>Pseudomonas gessardii</i>	Вторичный отстойник (ил)	Zn	5 мМ
9	<i>Pseudomonas gessardii</i>	Вторичный отстойник (вода)	Zn	5 мМ
10	<i>Klebsiella pneumonia</i>	Вторичный отстойник (ил)	Cu	3 мМ

Численность бактерий в иле из вторичного отстойника составляла $2,8 \times 10^6$ кл./мл, в воде вторичного отстойника – $2,4 \times 10^5$ кл./мл и в суспензии из метантенка – $1,6 \times 10^5$ кл./мл. В результате эксперимента из воды и ила вторичного отстойника выделены бактерии, устойчивые к концентрациям Ni, Cd, Zn, Pb, Cu в 3 мМ (табл.). Среди культивируемых бактерий некоторые проявляли устойчивость к максимальным использованным концентрациям Pb и Zn (5 мМ). Только один штамм, устойчивый к ТМ, а именно к Ni (5 мМ), был выделен из метантенка. Некоторые штаммы, развиваясь на среде, обогащенной тяжелыми металлами, изменяли окраску своих колоний.

Результаты анализа последовательностей гена 16S рРНК [4] показали, что большинство выделенных устойчивых к тяжелым металлам штаммов относятся к роду *Pseudomonas* (*P. gessardii*, *P. fragi*, *P. brenneri*) (табл.). Исключение составляют штаммы, устойчивые к Cu, Ni (*Klebsiella pneumoniae*, *Serratia proteamaculans*) и один из штаммов, устойчивых к Pb (*Serratia proteamaculans*).

На наш взгляд, культивирование непатогенных штаммов выделенных бактерий, и введение их в сообщества других микроорганизмов активного ила могло бы повысить эффективность биологической очистки канализационных сточных вод, содержащих органические и неорганические загрязнители. Кроме того, изменение цвета бактериальных колоний при их выращивании на среде с высокими концентрациями тяжелых металлов можно использовать в целях биоиндикации.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-24-20074 (региональный конкурс), проведенного совместно с органами власти субъекта Рос-

сийской Федерации: Тульская область (Соглашение с Правительством Тульской области № 2 от 19.04.22 г.).

Библиографический список

1. Жмур Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М. : АКВА РОС, 2003. 512 с.
2. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван. М. : Мир, 2006. 471 с
3. Стратегия обезвреживания осадков биологической очистки сточных вод / Ю. В. Куликова, Я. И. Вайсман, Ю. В. Завизион, Е. В. Калинина // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 1. С. 55–60. doi: 10.25750/1995-4301-2013-1-055-060
4. Lane D. J. 16S/23S rRNA sequencing // Nucleic acid techniques in bacterial systematic / eds E. Stackebrandt, M. Goodfellow. New York : John Wiley and Sons, 1991. P. 115–175.

БИОРЕМЕДИАЦИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Л. Н. Ольшанская, А. С. Халиева, Д. Ф. М. Антониу
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., ecos123@mail.ru

Проанализированы процессы биологического этапа очистки почв полигонов, загрязненных нефтепродуктом (НП) – моторным маслом, при использовании высших растений-фитомелиорантов. Сущность данного способа заключается в извлечении НП из почвы корнями растений. Установлено влияние НП на всхожесть семян, рост и развитие растений. Наибольшей толерантностью к НП характеризовались фасоль и соя. Эффективность процесса фиторемедиации (62–20%) почвы уменьшалась в ряду: фасоль > соя > листовой салат.

Ключевые слова: почва, нефтепродукт моторное масло, извлечение, фиторемедиация, растения-фитомелиоранты.

Проблема химического загрязнения почв становится в последнее время одной из главных проблем планеты. Значительные площади земель, с учетом территорий свалок и полигонов, загрязнены соединениями металлов, нефтью и продуктами ее переработки, выбросами промышленных предприятий, автотранспорта и др. Вокруг крупных городов образовались большие зоны загрязненных почв.

Как показывает мировая практика, одним из наиболее действенных приемов устранения нефтяного загрязнения являются технологии биоремедиации с использованием широкого спектра культур и насыщением почвенной биоты полезными видами микроорганизмов (МО). При этом устраняется нефтезагрязнение, восстанавливается почвенное плодородие [1]. Для восстановления почвенных ресурсов применяют методы биоремедиации с использованием МО (бактерии и грибы), а также подобранных видов растений: мно-

голетних злаковых и бобовых либо местных неприхотливых наиболее устойчивых виды травянистых растений [2–4].

Биологический этап рекультивации согласно СП 320.1325800.2017 «Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация» (от 07.02.2017) проводится после инженерно-технического этапа для улучшения восстановления нарушенных почв. Выбор определенной технологии биоремедиации основывается на основе таких критериев, как природные условия места очистки, свойства почвы, концентрация, уровень токсичности поллютанта и др.

Оценка изменений свойств почв, реакция агрофитоценозов на стрессовые условия нефтяного загрязнения, а также поиск новых растений, обладающих фитомелиоративным потенциалом – вот важнейшие проблемы этой области, что определяет актуальность настоящей работы.

Для извлечения нефтепродукта (НП) (моторное масло марки МТ-4з/8ДС) из загрязненных почв в качестве тестовых культур использовали высшие растения-фитомелиоранты, районированные в Саратовской области и относящиеся к классу двудольных: сою культурную (*Glycine max*), фасоль обыкновенную (*Phaseolus vulgaris*) и листовой салат (*Lactuca sativa*) (рис. 1). Их выбор обусловлен тем, что в целях фитоэкстракции обычно используют две группы растений: высокопродуктивные культуры (фасоль, соя, кукуруза сахарная, горчица сарептская и др.) и растения-гипераккумуляторы (листовой салат, ярутка лесная, алиссум вульфена).

В настоящее время нет однозначного ответа на вопрос важности для фитомелиорации гипераккумуляировать загрязнения или продуцировать фитомассу растениями [5]. Фасоль и соя, как и другие представители семейства бобовых, благодаря их способности создавать симбиоз с клубеньковыми бактериями хорошо фиксируют и разрушают биогенные соединения, способствуют обогащению почв органическим веществом. Они изменяют соотношение азота и углерода в почве, выделяя нейтральные аминокислоты.



фасоль



соя



листовой салат

Рис. 1. Растения-фитомелиоранты

Нефтезагрязненные почвы испытывают недостаток доступного азота. В процессе роста и развития этот дефицит восполняют корневые выделения бобовых культур, одновременно способствуя разрастанию микрофлоры в ризосфере, что способствует извлечению и использованию НП растениями [6]. Салат был выбран как однолетняя культура, которая уже в год посева образу-

ет густые заросли, способствуя развитию микрофлоры, разрушающей НП, а быстрый рост (за 30–45 дней растение достигает фазы цветения) дает возможность получить несколько урожаев за сезон.

Объектами исследования в работе также служили модельные растворы на основе вытяжки из почвы, содержащей НП. В процессе эксперимента контролировали всхожесть и ростовые характеристики растений, а также изменение остаточных концентраций НП в вытяжках из почвы (элюат).

Для определения содержания НП использовали «Концентратомер КН-2м». Выделение нефтяных компонентов осуществляли их экстракцией четыреххлористым углеродом и количественным определением по интенсивности поглощения различных С-Н связей в инфракрасной области спектра фотометрическим способом. При этом получали эффективную оценку нефтяного загрязнения, без потери каких-либо фракций, что гарантирует достоверность, воспроизводимость и точность результатов измерений.

Отработанные нефтяные масла загрязняют все компоненты окружающей среды, чрезвычайно опасны для почвы, поверхностных, подземных вод и воздушной среды. Огромный экологический ущерб наносит слив отработанных масел в почву и водоемы, который, по мнению ученых, превышает по объему аварийные сбросы и потери нефти при ее добыче, транспортировании и переработке [7, 8]. При загрязнении НП в почвах происходит накопление микроскопических грибов, вызывающих заболевания растений, замедляется их рост, нарушаются функции фотосинтеза и дыхания, отмечаются различные морфологические нарушения [1, 9, 10].

Нами исследовано влияние моторного масла марки МТ-4з/8ДС на количество всхожесть семян, высоту и длину листьев растений (табл. 1, 2, рис. 2).

Установлено, что наилучшие показатели всхожести наблюдались у фасоли и сои при концентрациях НП 1 и 5 г/кг; худшие результаты установлены для салата (табл. 1).

Таблица 1

Влияние моторного масла на всхожесть семян (в %)

Концентрация НП, г/кг	Всхожесть семян, %		
	фасоль	соя	листовой салат
1	78	62	37
5	89	54	28
25	67	68	19

Исследования по влиянию концентрации НП на рост и развитие растений показали, что эти параметры оказались у всех фиторемедиантов при всех концентрациях моторного масла ниже по сравнению с контролем (табл. 2).

**Влияние моторного масла на рост и развитие растений
фасоли и салата**

Дни	Концентрация НП, г/кг							
	Контроль (0)	1	5	25	Контроль (0)	1	5	25
	высота растения, мм				длина листа, мм			
фасоль								
7	231	6	8	6	40	–	–	–
14	314	155	80	181	46	37	24	35
21	389	190	180	250	54	39	29	39
28	516	260	250	270	61	43	29	39
салат								
7	57	22	35	40	9	4	7	6
14	75	34	36	42	11	9	8	7
21	81	46	36	46	13	9	8	8
28	84	41	37	50	16	9	9	8

Полученные данные согласуются с результатами авторов [11], показавших, что наиболее высоким потенциалом для фиторемедиации почв, загрязненных нефтью и продуктами ее переработки, обладают бобовые: соя, фасоль, кормовые бобы и сорго. Способность этих культур произрастать на загрязненной почве, сохраняя высокую продуктивность, а также способствовать значительному (до 50%) снижению содержания в ней нефтезагрязнений свидетельствует о перспективности этих культур для фиторемедиации (рис. 2).

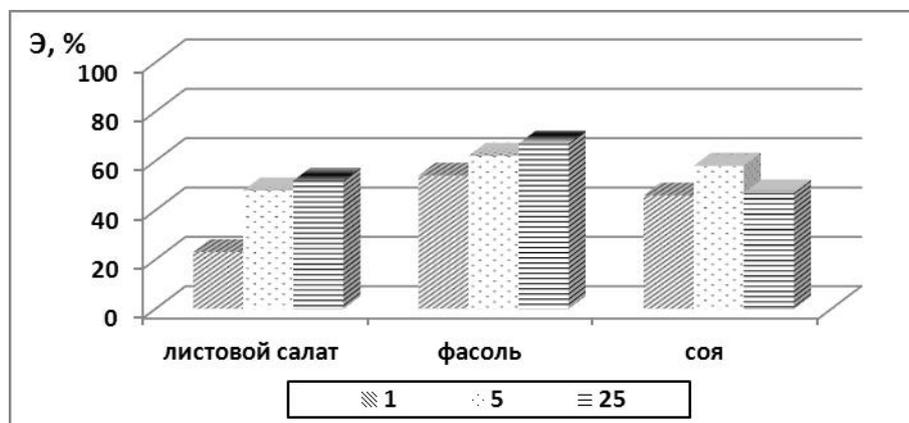


Рис. 2. Эффективность извлечения растениями моторного масла из почвы

Исследование воздействия НП на процессы фиторемедиации позволяют сделать следующие заключения. НП влияет на всхожесть семян, рост и развитие высших растений. Наибольшую толерантность к НП проявили растения фасоли и сои: наблюдалось более быстрое увеличение их фитомассы по сравнению с листовым салатом. Одновременно с этим фасоль и соя продемонстрировали высокую эффективность извлечения из почвенной вытяжки моторного масла (рис. 2). На основании полученных данных установлен ряд эффективности процесса фиторемедиации. Эффективность извлечения моторно-

го масла из почвенной вытяжки уменьшается в ряду растений: фасоль > соя > салат.

Таким образом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Внесение моторного масла марки МТ-4з/8ДС в почву в концентрациях 1–25 г/кг оказывает влияние на всхожесть семян, рост и развитие высших растений.

2. Наибольшую толерантность к нефтепродукту проявили растения фасоли и сои – наблюдалось более быстрое увеличение их фитомассы по сравнению с листовым салатом.

3. Эффективность процесса фиторемедиации почвы (62–20%) от НП уменьшалась в ряду растений: фасоль > соя > салат.

Библиографический список

1. Essington M. E. Environmental soil chemistry. Boca Raton, Florida. : CRC press LLC, 2000. 634 p.
2. Влияние различных фракций нефти на морфометрические параметры растений / А. У. Исаева, А. А. Ешибаев, А. К. Саданов, Л. А. Акынова // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 51–54. doi: 10.25750/1995-4301-2008-2-051-54
3. Липатов Д. Н., Елисеева А. В. Регрессионные модели для оценки воздействия нефтяного загрязнения почв на растения северного Сахалина // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 1. С. 20–26. doi: 10.25750/1995-4301-2016-1-027-032
4. Отрошко Д. Н., Волченко Н. Н., Самков А. А., Худокормов А. А. Отбор растений и микроорганизмов для дальнейшего применения в ризоремедиации // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 2. С. 86–92. doi: 10.25750/1995-4301-2016-2-086-092
5. Турковская О. В., Муратова А. Ю. Биодegradация органических поллютантов в корневой зоне растений // Молекулярные основы взаимоотношений ассоциированных микроорганизмов с растениями. М. : Наука, 2005. С. 180–208.
6. Cunningham S. D., Berti W. R. Phytoremediation of contaminated soil and water. Boca Raton: CRC Press, 2000. P. 359–376.
7. Dominguez-Rosado E., Pichtel J. Phytoremediation of soil contaminated with used motor oil: II. Greenhouse studies // Environmental Engineering Science. 2004. No. 2. P. 169–180.
8. Давыдова С. Л., Тарасов В. И. Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами: учеб. пособие. М. : Изд-во РУДН, 2006. 156 с.
9. Девятова Т. А. Биодиагностика техногенного загрязнения почв // Экология и промышленность России. 2006. № 1. С. 36–37.
10. Процессы биодegradации в нефтезагрязненных почвах / А. В. Колесниченко, А. И. Марченко, Т. П. Побежимова, В. В. Зыкова. М. : Промэкобезопасность, 2004. 194 с.
11. Швец А. А., Белоусов В. С. Сорговые культуры в системе восстановления почв, загрязненных нефтепродуктами // Агротехнический метод защиты растений от вредных организмов : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. Краснодар : КубГАУ. 2005. С. 207–208.

ФИТОЭКСТРАКЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РТУТЬЮ ПОЧВ

А. Ю. Кушу, К. В. Пищаева, А. С. Макарова

*Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева,
ana.kushu@yandex.ru*

В статье представлено исследование растительности загрязненных ртутью почв с использованием культуры горчицы белой (*Sinapis alba*) и нового комплексообразователя. Изучен новый хелатирующий агент, относящийся к классу поликарбоновых кислот. Рассчитаны коэффициенты биоаккумуляции и транслокации ртути растениями.

Ключевые слова: фитоэкстракция, гипераккумуляция, биоаккумуляция, транслокация, очистка почв, тяжелые металлы, химические препараты.

Интенсивное развитие промышленного производства и научно-техническая революция привели к высокому уровню химического загрязнения ТМ, в частности ртутью, что является серьезной экологической проблемой [1, 2]. По данным Всемирной организации здравоохранения [3], ртуть входит в десятку самых опасных химических соединений для человека. Ртуть, накапливаясь в почве, практически не подвергается биодеградации [4], очень медленно удаляется в процессе выщелачивания, водной и ветровой эрозии. Одними из основных источников прямых выбросов ртути в почвы являются ее неучтенные потери от предприятий по производству хлора и каустической соды, попадающие непосредственно в почву на территории или вблизи промышленных предприятий, предприятий цветной металлургии, выбросы ртути в почву от использования сточных вод для орошения и добычи ртути [5]. Например, высокие концентрации ртути были обнаружены на территории Иркутской области (Россия) бывшего химического предприятия ООО «Усо-льехимпром» [6]. В условиях загрязнения ртуть может накапливаться в верхних горизонтах почвы, что приводит к постепенному изменению химического состава, нарушению единства геохимической среды и усилению негативного воздействия на биоту [7].

Растения, способные накапливать металлы, имеют огромный потенциал для восстановления окружающей среды [8]. На основе этого свойства растений разрабатывается технология фитоэкстракции, суть которой заключается в интенсивном поглощении ТМ корнями растений и транслокации их в наземные органы с последующей переработкой поглощенной массы. Широкое распространение получила стратегия фитоэкстракции с использованием различных функциональных добавок [9]. В данном исследовании предложено использовать моноэтаноламиновою соль битиодиуксусной кислоты (МЭБТА) в целях усиления поглощения ионов ртути растениями и повышения эффективности процесса извлечения ртути из почвы [10]. Ряд проведенных исследований показывают хорошие результаты индуцированной фитоэкстракции с ис-

пользованием тиосульфата натрия и этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА). Однако эти хелатирующие агенты обладают повышенной способностью выщелачивать ионы ртути и других ТМ из почвы в более глубокие слои почвы [11, 12]. Цель исследования заключалась в проведении сравнительной оценки эффективности повышения фитоэкстракция ртути белой горчицей из загрязненной почвы с внесением МЭБТА в сравнении с другими добавками (тиосульфат натрия и ЭДТА).

Вегетационные опыты проводили с использованием почвы, отобранной на территории химического предприятия ООО «Усольехимпром» в соответствии со стандартом ISO 22030:2005 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая токсичность высших растений». Ранее с территории этого предприятия были взяты пробы почвы для анализа содержания ртути. В таблице 1 представлены результаты анализа содержания ТМ в почве.

Таблица 1

**Концентрации элементов в почве, отобранной на территории
ООО «Усольехимпром»**

Химический элемент	Концентрация, мкг/г	Предельно допустимая концентрация, мкг/г
V	81,1±0,2	150
Cr	77,2±0,4	6
Ni	71,8±0,3	4
Cu	59,5±0,4	3
Zn	60,6±0,4	23
Hg	220,2±0,7	2,1
Pb	59,7±0,2	32
Co	13,1±0,2	5

При проведении лабораторных исследований использовали стандартное лабораторное оборудование, весы с точностью ±0,1 мг, набор пластиковых емкостей для посева семян на 1 л. Перед посадкой семян почву обильно поливали водой до достижения влажности 60%. Затем емкости для выращивания наполняли почвой на $\frac{3}{4}$ части. В качестве контрольного использовали сосуд с универсальным грунтом. В каждый сосуд для выращивания, включая контрольный, высаживали семена горчицы белой в количестве 60–70 шт.

В целях сравнительного анализа в отдельные вегетативные сосуды для стимуляции роста растений, повышения иммунитета и большего накопления ТМ, в частности ртути, добавляли следующие препараты:

- трилон Б (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты), который применялся с 18 по 22 сутки после посева семян, в количестве 20 мл и концентрацией 0,054 моль/л;
- тиосульфат натрия, который вносили с 25 по 29 сутки после посева семян, в количестве 17 мл и концентрацией 0,054 моль/л;
- МЭБТА в качестве серосодержащего комплексообразователя вносили с 25 по 29 сутки после посева семян, в количестве 18 мл. МЭДБА представлена Лабораторией технологии комплексонов и комплексных соединений

НИЦ «Курчатовский институт» – ИРЕА (Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ).

Опыт снимали на 51-й день после посева семян горчицы. Растения очищали от почвы, промывали водой и разделяли на надземную и корневую части. После этого растения высушивали и измеряли массу полученных образцов. Содержание ртути измеряли с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (iCAP 6500 Thermo Scientific, США). Предварительно проводили пробоподготовку образцов почвы: почву массой 200 мг помещали в тefлоновые чашки, заливали смесью соляной и азотной кислот (3 : 1), кипятили 5 мин, затем добавляли 5–10 см³ воды, полученный раствор сливали в полиэтиленовые ведра, разбавляли водой до 20 см³, образцы оставляли на 1 ч для осаждения взвешенных частиц нерастворившейся части анализируемой пробы, затем полученные растворы анализировали. Ртуть в полученных растворах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (X-7, Thermo Elemental, США).

Показатели линейного роста горчицы представлены на рисунке 1.

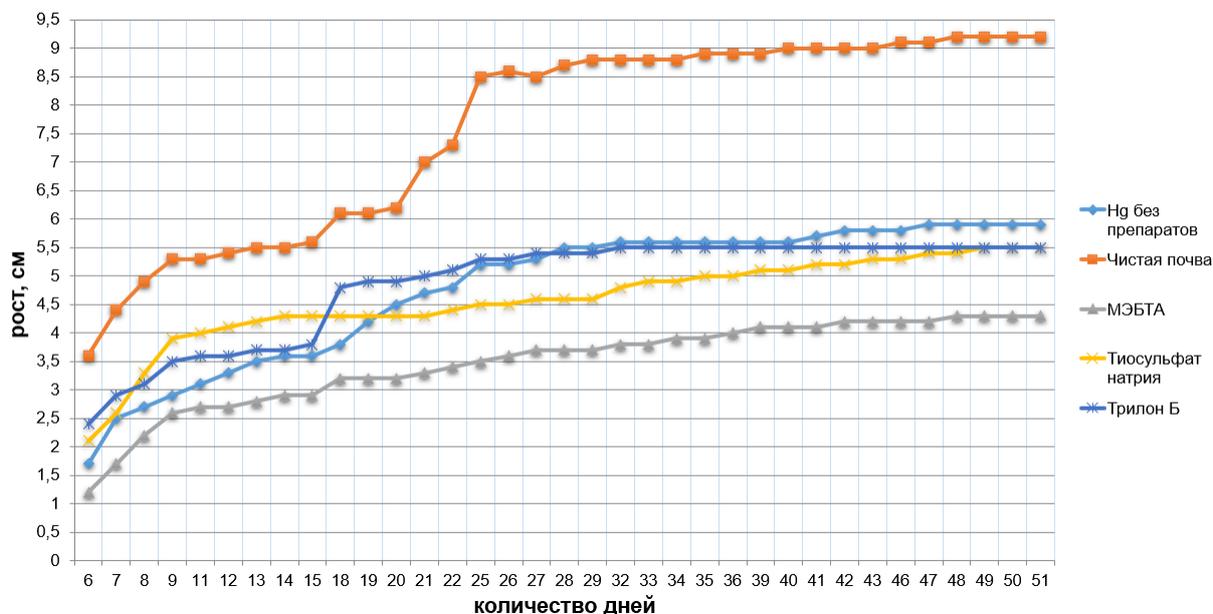


Рис. 1. Длина побега растений белой горчицы в присутствии ртути и хелатирующих препаратов в почве

Наилучшие результаты роста растений наблюдаются при использовании Трилона Б. Также следует отметить, что при добавлении других препаратов растения росли и развивались равномерно на протяжении всего вегетационного периода. С 26-х сут наблюдался небольшой скачок роста белой горчицы за счет добавления тиосульфата натрия и МЭБТА. Визуально растения в сосудах с чистым грунтом, а также в емкостях с загрязненным грунтом и с добавлением тиосульфата натрия выглядели примерно одинаково: большинство растений зеленые, с высоким уровнем тургора, без признаков угнетения. Растения в сосудах с загрязненной почвой с добавлением Трилона Б и

МЭБТА выглядели вздутыми, а листья некоторых растений пожелтели или побелели (табл. 2).

Таблица 2

Морфологическая характеристика белой горчицы

Препараты	Тургор побегов	Рост побегов	Признаки хлороза	Листовые пластины
Hg без препаратов	высокий	нет угнетения	нет	зеленые
Чистая почва	высокий	нет угнетения	нет	зеленые
МЭБТА	средний	значительное угнетение	нет	бледно-зеленые
Тиосульфат натрия	высокий	нет угнетения	нет	зеленые
Трилон Б	выше среднего	значительное угнетение	есть	пожелтевшие

Рассчитанные коэффициенты биоаккумуляции ртути (отношение концентрации вещества в растении к концентрации вещества в почве) представлены на диаграмме (рис. 2).

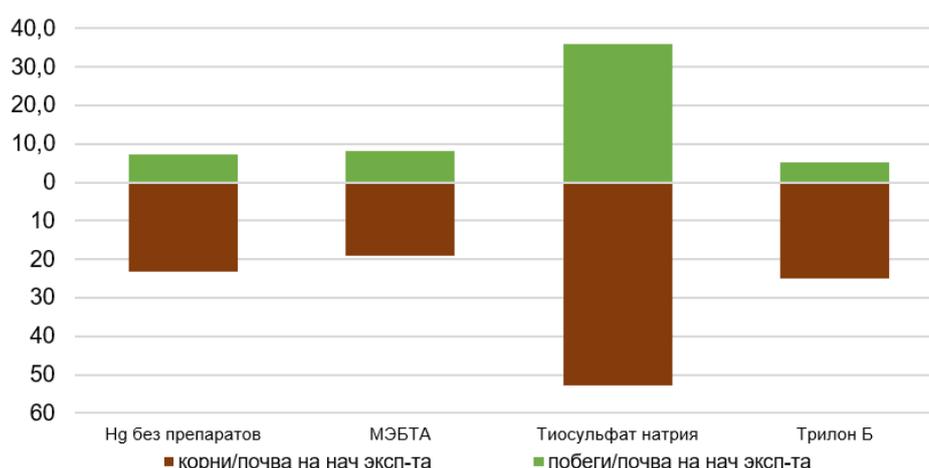


Рис. 2. Коэффициенты биоаккумуляции ртути в наземной и подземной частях белой горчицы при применении различных препаратов

Верхняя часть диаграммы представляет коэффициенты биоаккумуляции ртути в надземной части белой горчицы, а нижняя – в корневой части. Самые высокие значения коэффициента биоаккумуляции у растений, в вегетационные сосуды которых добавляли тиосульфат натрия. Это означает, что при добавлении этого препарата процесс фитоэкстракции идет эффективнее. Также был рассчитан коэффициент транслокации, показывающий отношение содержания ртути в побегах к содержанию ртути в корнях. Растения с добавлением в емкости тиосульфата натрия имеют самый высокий коэффициент транслокации (68%).

В результате научных исследований получены данные о поглощении ртути надземной и корневой частями горчицы белой (*Sinapis alba*) при загрязнении почвы соединениями ртути. Наибольшее поглощение ртути обнаружено в варианте с добавлением тиосульфата натрия. При внесении в почву

МЭБТА отмечали накопление ртути в надземных частях растений, а также благотворное влияние на рост и развитие горчицы белой.

Библиографический список

1. Makarova A., Yakubov R., Varbanov P. Global mercury footprint evaluation using a geographical pollutant propagation model // *Chemical Engineering Transactions*. 2020. Vol. 81. P. 1213–1218.

2. Макарова А. С., Федосеев А. Н. Стабилизация ртути из ртутьсодержащих отходов с помощью серы и пирита // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 4. С. 81–85. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-081-085

3. El Ati-Hellal M., Hellal F. Heavy Metals in the Environment and Health Impact // *Environmental Health*. 2021. [Электронный ресурс]. – URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.97204> (дата обращения: 30.10.2022).

4. Wuana R., Okieimen F. Heavy Metals in Contaminated Soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation // *International Scholarly Research Notices*. 2011. Vol. 20. P. 402–647.

5. Environmental performance assessment of the chemical industries involved in the responsible care / A. Makarova, J. Xuexiu, E. Kruchina, E. Kudryavtseva, I. Kukushkin // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 222. P. 971–985.

6. Полетаева В. И., Пастухов М. В. Техногенное воздействие сточных вод на гидрохимический состав р. Ангары // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 3. С. 90–95. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-090-095

7. Juillerat J., Ross D., Bank M. Organic horizon and mineral soil mercury along three clear-cut forest chronosequences across the northeastern USA // *Environ Toxicol Chem. USA*. 2012. Vol. 31. P. 1720–1729.

8. Li H. F., Gray C., Mico C. Elemental Composition of the Fruits of Baboon Grape (*Rhoicissus digitata*) and Impact of Soil Quality on Chemical Characteristics // *Chemosphere*. 2009. Vol. 75. P. 979–986.

9. Screening of various chemical additives, including S-containing complexion to enhance phytoextraction of mercury by white creeping clover (*Trifolium repens* L.) / A. Makarova, E. Nikulina, N. Tsiurlikova, T. Avdeenkova, K. Pishaeva, A. Glinushkin, I. Podkovyrov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 663. P. 12–41.

10. A review on phytoremediation of mercury contaminated soils / Z. Liu, B. Chen, L. A. Wang, O. Urbanovich, L. Nagorskaya, X. Li, L. Tang // *J Hazard Mater*. 2020. Vol. 400. P. 123–138. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123138

11. Smolinska B., Sylwia R. The potential of *Lepidium sativum* L. for phytoextraction of Hg-contaminated soil assisted by thiosulphate // *Journal of Soils and Sediments*. 2015. Vol. 15. P. 393–400.

12. Meers E. S., Qadir M., de Caritat P. EDTA-assisted Pb phytoextraction // *Chemosphere*. 2009. Vol. 74 (10). P. 1279–1291.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИЙ С БЕТУЛИНОМ

В. М. Злобина, А. И. Фокина

Вятский государственный университет, stud115469@vyatsu.ru

В работе представлены результаты изучения физико-химических свойств композиций из желатина, агар-агара и бетулинсодержащего порошка (1 и 3%). Выявлена динамика выхода антиоксидантов из композиций. Практической значимостью выступает – применение композиций в фармацевтической отрасли.

Ключевые слова: антиоксидант, бетулин, желатин, агар-агар, физико-химические свойства.

Антиоксиданты приобретают стремительную популярность в современном мире. Их используют в качестве биологически активных веществ, как добавку в косметическом производстве. Антиоксиданты – природные или синтетические вещества, действующие в достаточно малых концентрациях и предотвращающие или замедляющие окисление веществ [1, 2]. Они вырабатываются в малом количестве организмом человека. Антиоксиданты можно найти в пищевых продуктах, таких как кофе, зеленый чай, ягоды и цитрусовые. Прием антиоксидантов в уместных дозах улучшает деятельность нашего организма: замедляет процесс старения клеток и улучшает иммунитет. В научных публикациях встречаются упоминания не только об известных и популярных антиоксидантах (витамины А, Е, С, К и др.), но и о высокой антиоксидантной активности бетулина и его производных [3, 4]. Кроме этого, бетулин и его производные обладают рядом других полезных свойств для организма человека: антисептическое, антирахитное, ранозаживляющее, гипохолестеринемическое, противовоспалительное, желчегонное, гепатопротекторное и противоопухолевое действия [4]. Бетулин в основном добывают из коры березы, которая является отходом крупнотоннажного лесоперерабатывающего производства.

Выпуск препаратов, содержащих бетулин, осуществляется в виде порошка и капсул. Актуален вопрос исследования свойств композиций бетулина на основе желатина или агар-агара с целью выявления возможности их использования для создания таких форм, как таблетки, лекарственные пленки и т. п.

Целью работы было установление влияния состава композиций на основе желатина, агар-агара и бетулинсодержащего порошка на свойства композиций, определяющие фармацевтическое применение.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

1. Создание желатиновых и агар-агаровых композиций с содержанием бетулинсодержащего порошка в количестве 1 и 3%;

2. Изучение физико-химических и механических свойств композиций.

При изготовлении композиций были использованы следующие компоненты: желатин/агар-агар, глицерин, вода и бетулинсодержащий порошок.

Методы исследования, используемые при выполнении работы: моделирование желудочной среды организма [5], моделирование кишечной среды организма [6], перманганатометрия для определения антиоксидантной активности желатинных и агар-агаровых композиций с добавлением бетулинсодержащего порошка [7], определение твердости по Шору А [8], определение температуры плавления студня желатина и студня агара [9, 10].

Физико-химические свойства желатиновых композиций с бетулинсодержащим порошком (1 и 3%).

Антиоксидантная активность. При контакте композиций с моделью желудочного сока в большей степени выход антиоксидантов наблюдался из композиции с 3% содержанием бетулинсодержащего порошка (1,93 мг/45 мл) и в меньшей – 1% (0,64 мг/45 мл). Из 3%-ной композиции выход быстрее всех достигает максимального уровня (1,93 мг/45 мл) и таковым остается до полного разрушения композиции. Трёхпроцентная композиция разрушилась быстрее, чем однопроцентная, так как бетулинсодержащий порошок разрыхлял структуру. Композиции обоих вариантов распались через 45 минут после контакта со средой, моделирующей желудочный сок.

Твердость по Шору А. Показатели твердости у испытуемых образцов невысоки на первые сутки; для композиции без добавок твердость была ниже измерительных возможностей прибора. К одиннадцатым суткам твердость увеличилась. Наиболее значительные изменения твердости по Шору А отмечены для композиции с количественным содержанием бетулинсодержащего порошка 3% (1-е сутки 4,1 ед. Шора А, 11-е сутки 24,3 ед. Шора А).

Температура плавления студня желатина. Самое близкое значение температуры плавления к минимальному нормированному (32 °С) у композиции без добавок бетулина – 33,0±0,8 °С. Значение выше, чем у чистого желатина, так как в ходе приготовления добавлен глицерин, способствующий повышению температуры плавления за счет стабилизации пространственной сетки гелеобразного желатина и образованию дополнительных связей. Добавление бетулинсодержащего порошка к композициям повысило температуру плавления до 35,0±0,8 °С.

Физико-химические свойства агар-агаровых композиций с бетулинсодержащим порошком (1 и 3%)

Антиоксидантная активность. Определение антиоксидантной активности осуществлялось в двух средах растворов, контактировавших с композициями. При помещении композиций в модель желудочного сока (рН = 2,0) было выявлено, что образцы через 70 минут не распались, визуальных изменений не было отмечено, поэтому выход антиоксидантов не был высоким. Далее изучено поведение композиции в растворе, моделирующем кишечный сок (рН=6,8). Главным отличием сред желудочного и кишечного соков между собой является различных кислотной показатель. Как и в модели желудочно-

го сока, в модели кишечного сока в течение 70 мин не было отмечено распада композиций.

В наибольшей степени высвобождение антиоксидантов прослеживалось у композиции с 3% содержанием бетулинсодержащего порошка, помещенной в модель желудочного сока (0,2 мг/45 мл) и в меньшей степени у композиции с 1% содержанием бетулинсодержащего порошка, помещенной в модель кишечного сока (0,03 мг/45 мл). В модель желудочного сока выход антиоксидантов из композиций происходил в большей степени, чем в модель кишечного сока, скорее всего, потому что поверхностный слой агара лучше распадается в кислой среде.

Твердость по Шору А у агар-агаровых композиций не была установлена, потому что значения твердости ниже измерительных возможностей прибора твердометра.

Температура плавления студня агара. Ближе всех значение температуры плавления агарового студня (80 °С) композиции без добавок – $68,0 \pm 8,9$ °С [11]. Вероятно, значение меньше, так как при приготовлении был добавлен глицерин, который уменьшил взаимодействие молекул в студне агара. В образцах с добавлением бетулинсодержащего порошка 1% ($62,5 \pm 8,9$ °С) и 3% ($51,0 \pm 8,9$ °С) значения температуры плавления меньше, чем у образца с добавкой глицерина. Значения температуры плавления с добавкой порошка уменьшаются, так как бетулин выступает как разрыхляющий агент.

Таким образом, выход антиоксидантов в модель желудочного сока в 1,5 раза меньше в агар-агаровых композициях, чем в желатиновых. Высокие показатели антиоксидантной активности желатиновых композиций с бетулинсодержащим порошком указывают на перспективность применения их в качестве основы лекарственных форм, в том числе пастилок и заживляющего материала. Сравнивая твердость по Шору А, можно отметить, что показатели твердости желатиновых композиций намного больше, материал может оказывать сопротивление вдавливанию наконечника твердометра, в отличие от агара, но, возможно, мягкость и пластичность агара даст предпосылку к созданию пленок и пластырей медицинского и пищевого применения. В заключении хотелось бы отметить, что активное производство таких композиций с бетулином могло бы решить часть проблем с утилизацией отходов лесоперерабатывающей промышленности.

Библиографический список

1. Роль фенольных антиоксидантов в повышении устойчивости органических систем к свободно-радикальному окислению / И. В. Сорокина, А. П. Крысин, Т. Б. Хлебникова, В. С. Кобрин, Л. Н. Попова // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 1997. № 46. С. 3–58.
2. Активные формы кислорода и антиоксиданты в живых системах: интегрирующий обзор / Т. К. Головки, Е. В. Силина, Е. А. Лашманова., А. В. Козловская // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 17–26. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-017-026
3. Трегубова И. А., Косолапов В. А., Спасов А. А. Антиоксиданты: современное состояние и перспективы // Успехи физиологических наук. 2012. Т. 43. № 1. С. 75–94.

4. Выделение бетулина из бересты березы и изучение его физико-химических и фармакологических свойств / С. А. Кузнецова, Г. П. Скворцова, Ю. Н. Маляр, Е. С. Скурыдина, О. Ф. Веселова // Химия растительного сырья. 2013. № 2. С. 93–100.
5. Исследование деградации пленок и капсул из растительных аналогов фармацевтического желатина / Л. К. Асякина, А. Ю. Просеков, Е. В. Ульрих, Д. Д. Белова // Фундаментальные исследования. 2014. № 9 (часть 11) С. 2369–2374.
6. Методологические основы исследований эквивалентности *in vitro* и моделирования высвобождения лекарственных средств в ЖКТ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.sechenov.ru/upload/medialibrary/04a/dissertatsiya_shokhin_18.09.16.pdf?ysclid=la0xp1pj4d935648454 (дата обращения: 01.10.2022).
7. Способ определения антиокислительной активности / Т. В. Максимова, И. Н. Никулина, В. П. Пахомов, Е. И. Шкарина, З. В. Чумакова, А. П. Арзамасцев // Патент Российской Федерации 2170930. Заявка: 2000111126/14, 05.05.2000. Дата публикации: 20.07.2001.
8. ГОСТ 263-75 Резина. Метод определения твердости по Шору А [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ntcexpert.ru/documents/gost-24621-91.pdf1989> (дата обращения: 01.10.2022).
9. Государственная фармакопея РФ. Издание XIV. ОФС.1.2.1.0011.15 Температура плавления. М., 2018. С. 570–582.
10. ГОСТ 26185-84 Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. Определение температуры плавления агарового студня [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/12000222342018> (дата обращения: 01.10.2022).
11. ГОСТ 17206-96 Агар микробиологический [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294835/4294835449.pdf2002> (дата обращения: 01.10.2022).

СЕКЦИЯ 5 ПОИСК И ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

В. В. Рутман¹, М. Х. Хето¹, Т. Я. Ашихмина^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет, rutman.slavik@yandex.ru,*

² *Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук*

В статье представлены результаты анализа воздуха в г. Кирове с применением новейшего оборудования. Выявлен качественный и количественный состав парниковых и других газов на различных участках вдоль одной из центральных улиц (Ленина), а также в Первомайском и Ленинском районах, в утренние и вечерние часы, по различным сезонам года.

Ключевые слова: исследование атмосферного воздуха, городская среда, автотранспорт, портативный газоанализатор, ГИС, интерполяция.

Деятельность человека привела к увеличению количества парниковых газов в атмосфере, создавая «парниковый эффект», который захватывает энергию солнца и вызывает дополнительный нагрев Земли, в результате чего климат во всем мире меняется, увеличивается интенсивность штормов, аномальной жары, лесных пожаров и проливных дождей. Повышение уровня моря, подкисление океана, вымирание видов растений и животных, таяние льдов, и по мере того, как уровень загрязнения атмосферы Земли парниковыми газами продолжает расти, эти последствия будут усугубляться. Поэтому, состояние атмосферного воздуха в городских районах является крайней необходимостью для жизни в безопасной и здоровой среде для людей и других живых организмов.

В Кирове к основным источникам выбросов парниковых газов относится транспорт и, по данным журнала «Зелёная экология», в Кирове на тысячу человек приходится двести пятьдесят автомобилей. Через город проходит одна федеральная трасса и пять региональных автомагистралей. Восемь железнодорожных станций расположены в черте города. В 22 км от центра города располагаются городской аэропорт и аэродром малой авиации. Доля транспорта в общем загрязнении воздуха составляет 37%. Транспорт ежегодно вы-

брасывает в воздух около 150 тыс. тонн загрязняющих веществ, при этом, на долю транспортных средств приходится около 80% [1].

Изучение состояния атмосферного воздуха в г. Кирове проводилось в 1996 г. по индикаторам атмосферного воздуха: состоянию снегового покрова и древесных лишайников. По результатам исследований, наиболее подверженными загрязнению воздуха оказались территории вблизи ул. Воровского от пересечения с Октябрьским проспектом до ул. Ленина и на перекрёстке ул. Ленина с ул. Профсоюзной [2].

В последнее время ведётся активное освоение и застройка новых городских территорий, что также влияет на количество автотранспорта и выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Автотранспортная нагрузка в городе распределяется неравномерно в течение суток. Наибольшая активность отмечается с 7 до 10 ч утром и с 16 до 19 ч вечером. К тому же, на въездах в город и на крупных перекрёстках наблюдаются застои автомобилей, что также привносит дополнительное загрязнение с выхлопными газами.

Для исследований состояния атмосферного воздуха было выбрано 5 общепромышленных загрязняющих веществ. Это, в первую очередь, угарный и углекислый газы, а также сероводород, метан и аммиак. Измерение проводилось с использованием портативного газоанализатора ГАНК-4. Данный прибор укомплектован рядом датчиков, основанных на физических методах исследования. В своей работе прибор использует электрохимический, полупроводниковый и термокаталитический методы. Эти методы не требуют использования расходных материалов, а для измерения отдельных веществ используются сменные химические кассеты, содержащие ленту с нанесённым реактивом. Оптронноспектрофотометрический метод основан на измерении скорости изменения оптической плотности (скорости потемнения) реактивной ленты, пропорциональной концентрации определяемого вещества [3].

Изначально измерения проводились на 10 точках (точки 1–10), размещённых вдоль ул. Ленина от мкр. «Солнечный берег» (точка 1) до перекрёстка с ул. Профсоюзная (точка 10) [4], но для построения полной картины состава атмосферного воздуха были выбраны две дополнительные точки в «Юго-западном» микрорайоне (точка 14 вблизи ул. Московская, 171 и точка 15 вблизи ул. Упита, д. 60) и две точки в заречной части г. Кирова (точка 16 вблизи ул. Павла Корчагина, 248 – микрорайон «ДСК» и точка 17 вблизи ул. Павла Корчагина, 225 – микрорайон «Озерки»), размещение точек замеров воздуха показано на рисунках 4 и 5. Выбранные участки представляют особый интерес, поскольку расположены вблизи крупных промышленных предприятий. Также измерения проводились вблизи железнодорожного (точка 13) и автовокзалов (точка 14) и в парке им. С. М. Кирова (точка 15), воздух в котором, предположительно, должен быть условно чистым. Замеры проводились в утренние часы с 8:00 до 11:00 и в вечерние – с 16:00 до 19:00. В это время скапливается наибольшее количество транспорта на дорогах. За всё время было проведено три серии измерений – в марте (30 и 31) до таяния снега по десяти точкам на ул. Ленина, в июне (с 1 по 16) – после установ-

ления зелёной листвы и в октябре (с 17 по 21) – после опадания основной массы листьев. Результаты исследования представлены на рисунках 1–3.

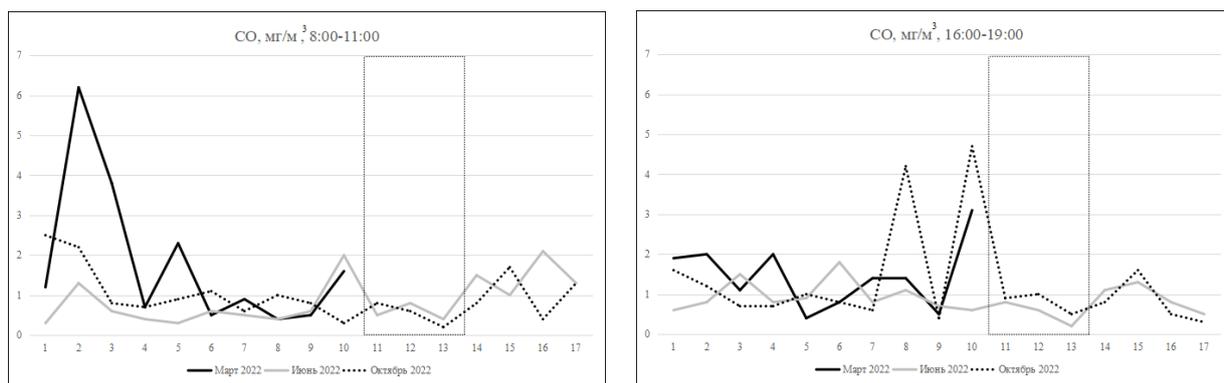


Рис. 1. Графики концентрации угарного газа в атмосферном воздухе

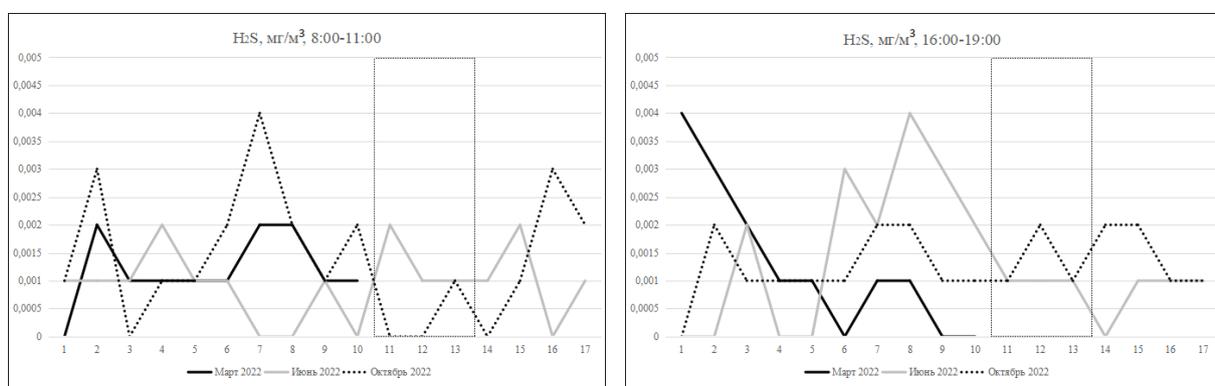


Рис. 2. Графики концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе

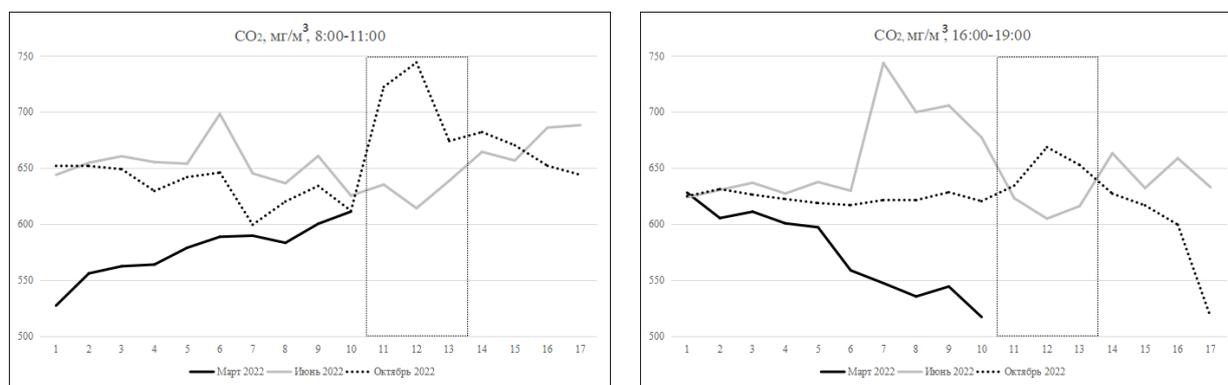


Рис. 3. Графики концентрации сероводорода в атмосферном воздухе

Результаты измерений также были внесены в географическую информационную систему QGIS. На основании их, были построены карты интерполяции по методу обратно-взвешенных расстояний для составления приблизительной картины чистоты атмосферного воздуха в г. Кирове. Данный метод был успешно применён для визуализации химического состава воды в водоёмах [3]. Были созданы карты интерполяций по каждому веществу по всем сериям измерений. Наиболее неравномерные показатели концентрации серово-

дорода и углекислого газа были получены в июне 2022 г. и представлены на рисунках 4 и 5.

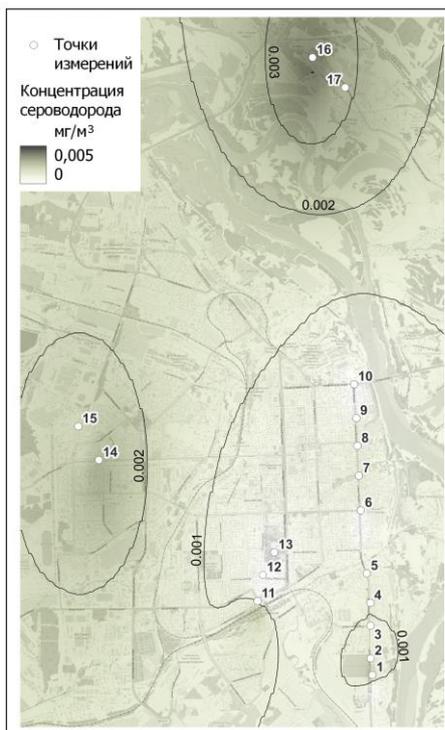


Рис. 4. Карта-схема концентрации сероводорода в воздухе г. Кирова в июне 2022 с 16:00 до 19:00

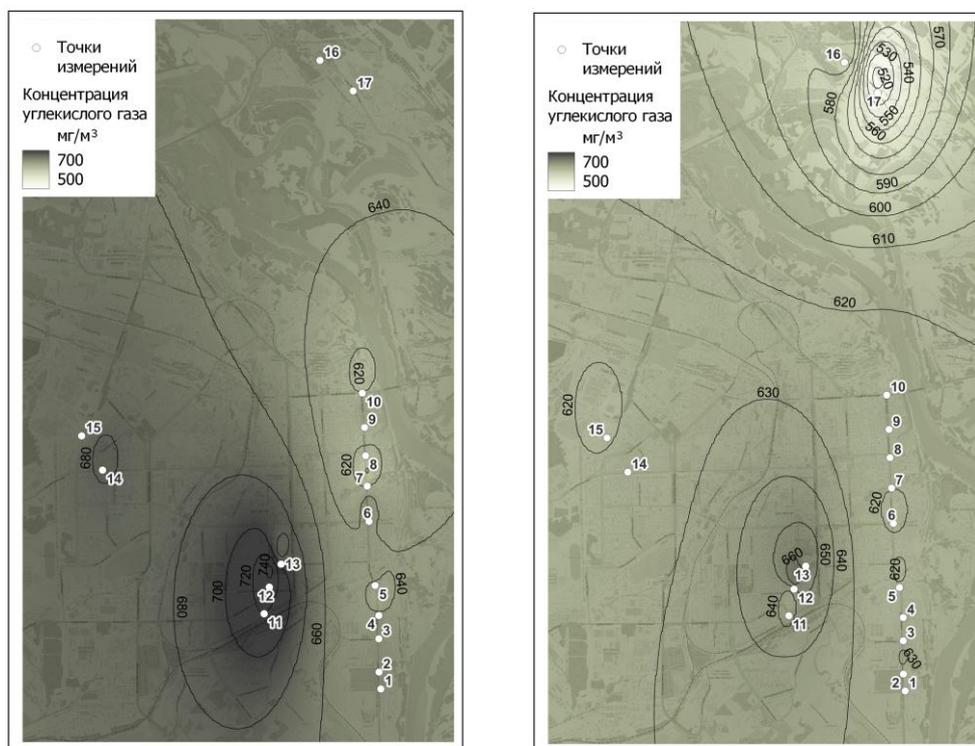


Рис. 5. Карты-схемы концентрации углекислого газа в воздухе г. Кирова в июне 2022. С 8:00 до 11:00 – слева и с 16:00 до 19:00 – справа

Содержание атмосферных газов в воздухе нигде не превышает ПДК среднесуточное. Метан и аммиак были обнаружены лишь на отдельных участках и в незначительных количествах.

Угарный газ распределяется неравномерно. Основные повышения его концентрации в слободе Чижи и на ул. Профсоюзной предположительно связаны с близостью к жилым домам с печным отоплением и соответствующим направлением ветра. По сезонам года и времени суток содержание угарного газа не имеет значительных различий.

По углекислому газу ситуация неоднозначная. Наименьшая его концентрация отмечается в марте, а наибольшая – в июне, причём максимум был отмечен в овраге на ул. Ленина (точка 7) в вечерние часы. Также повышена концентрация CO_2 в октябре в утренние часы в районе двух вокзалов (точки 11 и 12). Распределение углекислого газа в марте чётко соответствует направлению и массе автомобильных потоков. Причины превышения концентрации диоксида углерода в зимний период над летним так и остаются невыясненными.

Сероводород – один из основных газов, вызывающих неприятный запах. А именно запах тоже может считаться индикатором обнаружения газовых примесей. [6] Запах сероводорода ощущался в районе ул. Упита (точка 15) в октябре, как утром, так и вечером. Также неприятные канализационные запахи присутствуют постоянно в районе моста через р. Хлыновку на ул. Ленина (точка 5). Действительно, по показаниям прибора, концентрация H_2S там относительно высока. Содержание сероводорода обычно колеблется от 0 до $0,002 \text{ мг/м}^3$ и лишь изредка достигает значений $0,003$ и $0,005 \text{ мг/м}^3$ как, например, на ул. Ленина от филармонии до центральной гостиницы. По данным рисунка 4 видно, что в микрорайонах «Юго-западный» и «Озерки» отмечается повышение концентрации H_2S . Образование сероводорода происходит в процессе гниения органики, источником газа могут служить выделения из канализационных люков, а также крупные животноводческие комплексы [7–9].

Таким образом, метод построения карт интерполяции, на основании данных измерений, позволяет наглядно отобразить проблемные участки исследуемого региона и выявить закономерности распределения, пути миграции и источники образования загрязняющих веществ. В большей степени, концентрация измеряемых газов распределяется равномерно по всему г. Кирову, но можно уловить отдельные участки с повышением и понижением концентрации загрязняющих веществ.

Библиографический список

1. Greenologia, Информация об экологической ситуации в Кирове. Киров: краткая информация, экологическая ситуация, проблемы и их решение (greenologia.ru) [Электронный ресурс]. – URL: <http://greenologia.ru> (дата обращения: 08.11.2022).
2. Окружающая природная среда Кировской области : материалы науч. исследований / под ред. Т. Я. Ашихминой, В. М. Сюткина, Н. А. Буркова. Киров : Вятский госпедуниверситет, 1996. 480 с.

3. Газоанализатор универсальный ГАНК-4 Руководство по эксплуатации. М., 2019. 53 с.
4. Оценка состояния атмосферного воздуха городской среды / В. В. Рутман, М. Х. Хето, В. Н. Кулаков, Т. Я. Ашихмина // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 32–37.
5. Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я. Применение интерполяции данных химического анализа воды для исследования крупных водоемов // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2019. С. 272–274.
6. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 26–34. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-026-034
7. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 113–120. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
8. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние хвостов обогащения фосфоритов, используемых в качестве удобрения, на почвенные альгоцианобактериальные сообщества // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 174–180. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-174-180
9. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-198-204

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОСТАНЦИЙ НА ПЛАТФОРМЕ CITYAIR ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

М. Г. Кургузкин¹, П. М. Кургузкин²

*¹ Автономное учреждение «Управление Минприроды УР»,
mgk@minpriroda-udm.ru*

*² ФГБОУ ВО Ижевский государственный технический
университет имени М. Т. Калашиникова, 18kpm@mail.ru*

Приведены результаты использования автоматических микростанций для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Описан состав и основные характеристики микростанций. Показано, что непрерывный контроль концентраций загрязнителей позволяет повысить информативность и достоверность оценки экологического состояния воздушной среды.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, экологический мониторинг, автоматизированная микростанция, временные ряды концентраций.

Определение уровня загрязнения приземных слоев атмосферного воздуха является важнейшей составляющей экологического и социально-

гигиенического мониторинга. Специфика воздушной среды заключается в том, что содержащиеся в ней загрязняющие вещества прямым и наиболее быстрым способом попадают в организм человека, негативно сказываясь на состоянии его здоровья. Исходя из этого, информация о загрязнении атмосферного воздуха, особенно в городской среде, является чрезвычайно актуальной.

Основной проблемой в сфере мониторинга загрязнения атмосферного воздуха является ограниченное число постов наблюдательных сетей, явно недостаточное для получения полной и достоверной информации о состоянии воздушной среды на исследуемой территории.

Другой особенностью воздушной среды является высокая динамичность ее состояния. Классические методы инструментального мониторинга в виде периодического пробоотбора и последующего химического анализа проб далеко не всегда способны уловить изменения содержания примесей в приземной атмосфере, колебания концентраций которых могут быть весьма значительными по частоте и амплитуде.

Как показывает опыт последних лет, повышение информативности мониторинга возможно при широком внедрении автоматизированных систем измерения параметров воздушной среды. Примером реализации такого подхода являются мониторинговые платформы CityAir [1]. Термин «платформа» в данном контексте обозначает комплекс, состоящий из автоматизированных станций измерения концентраций примесей, средств передачи данных, а также программных средств для анализа и визуализации результатов.

Ниже приведены некоторые результаты пробной эксплуатации микростанций на платформе CityAir для мониторинга воздушной среды города Ижевска.

Микростанция (рис. 1) состоит (слева направо) из основного блока и модулей расширения. В основном блоке находится оптический датчик определения концентрации взвешенных частиц PM10 (размером 10 мкм) и PM2,5 (размером 2,5 мкм), а также массовой концентрации пыли в воздушной среде. В процессе мониторинга фиксируются также метеопараметры атмосферного воздуха: температура, относительная влажность и атмосферное давление.

Модули расширения предназначены для определения концентраций оксида углерода, озона, диоксида азота, сероводорода и диоксида серы.

Минимальная дискретность измерения примесей составляет 1 минуту. Выгрузка результатов измерений в формате XLS возможна по каналам беспроводной связи и сети интернет с дискретностью 5 минут, 20 минут, 1 час и 1 сутки.

Пробная эксплуатация описанной системы осуществлялась на территории города Ижевска Удмуртской Республики. Период пробной эксплуатации составил 6 месяцев. Два комплекта автоматизированных микростанций были установлены в точках, удаленных на расстоянии 3 км друг от друга.



Рис. 1. Модули микростанции на крыше здания
Регионального центра мониторинга

Анализ результатов, полученных за период эксплуатации микростанций, позволяет сделать следующие выводы.

Возможность непрерывного измерения концентраций позволяет существенно повысить информативность мониторинга, что, как отмечено выше, особенно актуально для воздушной среды. В качестве примера на рисунке 2 приведен график концентраций взвешенных частиц $PM_{2,5}$ в течение 19 часов. На этом же рисунке пунктирной линией показана концентрация $PM_{2,5}$ в случае отбора проб по полной программе наблюдений Росгидромета [2]: в 1-00, 7-00, 13-00 и 19-00 дискретного времени.

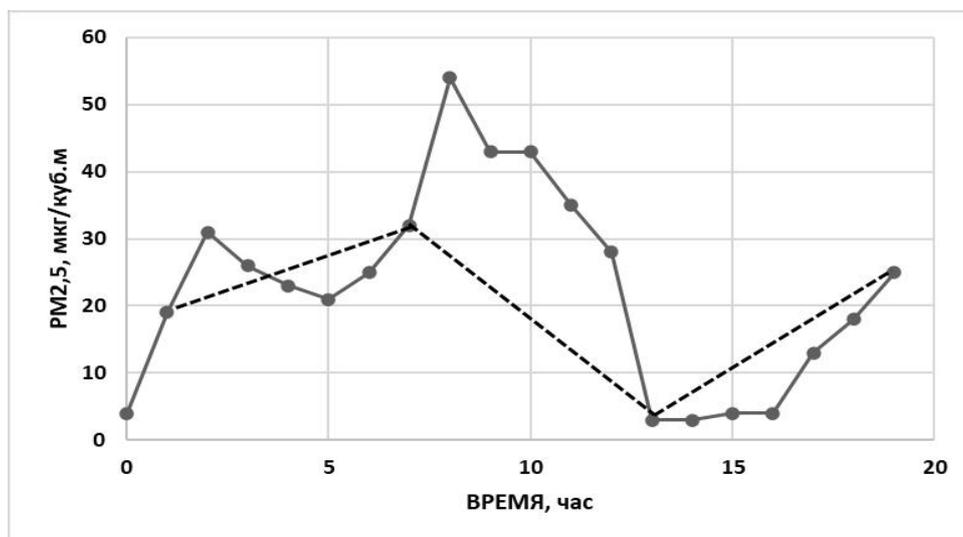


Рис. 2. Изменение концентрации мелкодисперсной пыли ($2,5 \mu\text{м}$)
в течение 19 часового промежутка времени

Как следует из рисунка, даже при нормативной шестичасовой периодичности пробоотбора вне поля зрения остаются значительные колебания концентраций между моментами измерений, что, безусловно, затрудняет текущую оценку реального уровня загрязнения атмосферного воздуха.

Непрерывное измерение концентраций примесей в воздушной среде открывает также возможности анализа результатов на основе использования методов исследования временных рядов [3]. На рисунке 3 в качестве примера приведен график изменения концентраций диоксида азота в одной из точек наблюдения. Визуальный анализ графика (с учетом соответствия начальной точки графика дню недели – пятница) позволяет предположить наличие циклической составляющей, связанной, например, с уменьшением концентрации исследуемой примеси в нерабочие дни. Действительно, расчет коэффициентов автокорреляции r_i временного ряда и анализ коррелограммы показывает статистическую значимость r_i для временного лага i , равного 1, 2, 3 и 6 суткам. Вместе с тем, следует отметить, что для более корректного использования методов анализа временных рядов требуется увеличение объема выборки, то есть увеличение периода наблюдений, как минимум, до двух лет.

Автоматизированные станции продемонстрировали безотказную работу, в том числе, благодаря встроенному источнику резервного питания. Положительным моментом повышения достоверности результатов является также минимизация ошибок измерения за счет исключения влияния «человеческого фактора».

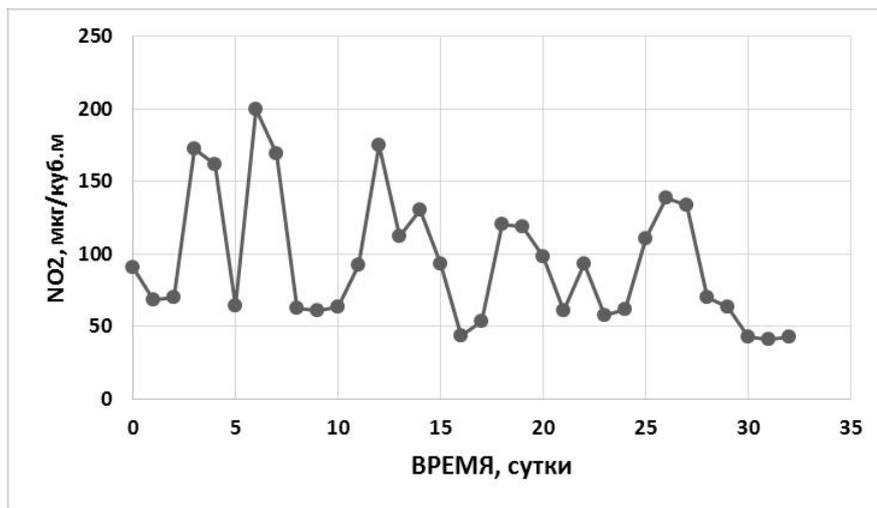


Рис. 3. Изменение концентрации диоксида азота в течение месяца

В целом, полученные результаты мониторинга являются надежной информационной основой для анализа закономерностей временных рядов концентраций с целью выявления реальных источников загрязнения воздушной среды. Перспективным направлением их анализа является также прогнозирование загрязнения воздушной среды с использованием алгоритмов нейросетевого моделирования.

Библиографический список

1. Мы создаем сети и сервисы мониторинга атмосферного воздуха в городах [Электронный ресурс]. – URL: <http://cityair.ru> (дата обращения: 20.10.222).
2. ГОСТ 17.2.301-86 Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных мест.
3. Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. Статистический анализ данных на компьютере / под ред. В. Э. Фигурнова. М. : ИНФРА-М, 1998. 528 с.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭМИССИИ ЗАПАХООБРАЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ИЗ НАВОЗНЫХ СТОКОВ

Н. В. Сырчина¹, Л. В. Пилип², Е. П. Колеватых³

¹ *Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

² *Вятский государственный агротехнологический университет, pilip_larisa@mail.ru*

³ *Кировский государственный медицинский университет, hibica@mail.ru*

Подкисление свиных навозных стоков серной кислотой до рН 5,5 приводит к снижению общего микробного числа и уменьшению численности микроорганизмов-аммонификаторов на 1–2 порядка, в результате чего интенсивность неприятного запаха и риск биологического загрязнения окружающей среды при внесении навозных стоков в почву существенно снижаются.

Ключевые слова: запах, навоз, устранение запаха, микробиота навозных стоков, рН навозных стоков.

Современные животноводческие комплексы входят в число важнейших источников интенсивного загрязнения атмосферного воздуха широким спектром запахообразующих веществ (ЗОВ), образующихся в процессе микробиологической деструкции навоза и навозных стоков [1, 2]. Благодаря высокому содержанию легкогидролизуемых органических соединений и нейтральной среде, навоз животных и навозные стоки (НС) являются благоприятной средой для развития различных аэробных и анаэробных микроорганизмов [3]. Наибольший вклад в эмиссию ЗОВ вносит гнилостная микробиота. В процессе гниения (аммонификации) в окружающую среду выделяются такие вещества, как аммиак, сероводород, летучие жирные кислоты, биогенные амины, меркаптаны и др. [4]. Многие из этих веществ обладают не только выраженным неприятным запахом, но и проявляют токсичные свойства [5]. Загрязнение воздуха летучими продуктами гниения представляет опасность как для населения прилегающих к животноводческим комплексам территорий, так и для сельскохозяйственных животных [6].

Основу микробиоты НС составляют микроорганизмы (МО), обитающие в кишечнике животных. Соответствующие МО проявляют высокую чувствительность к уровню рН [7]. Смещение рН из области оптимальных значений в кислую или щелочную сторону приводит к угнетению жизнедеятельности

или гибели части гнилостной микробиоты, что открывает определенные перспективы для снижения эмиссии ЗОВ за счет регулирования рН биогенных отходов.

Цель настоящей работы состояла в изучении взаимосвязи между интенсивностью запаха и составом микробиоты навозных стоков свиноводческих предприятий.

Образцы НС для проведения исследований отбирали на одном из свиноводческих предприятий Кировской области непосредственно из навозосборных ванн. Влажность отобранных образцов составляла 97,5%. Пробы отбирали в стерильную тару. Для трансформации состава микробиоты использовали прием подкисления НС раствором серной кислоты (H_2SO_4) до рН 5,5 (более сильное подкисление приводит к коррозии оборудования). Нативные НС и подкисленные НС помещали в стерильные емкости и выдерживали при температуре 22 ± 2 °С в защищенном от света месте (условия эксперимента соответствуют условиям навозных ванн). Оценка интенсивности и характера запаха, а также микробиологические исследования проводили через 14 суток после начала эксперимента (соответствует времени накопления НС в навозосборных ваннах). Для оценки запаха привлекали группу экспертов из 6 человек. Интенсивность запаха оценивали в баллах по шкале от 0 (запах отсутствует) до 5 (выраженный запах, аналогичный запаху свиного навоза). Микробиологические исследования осуществляли в специализированной лаборатории (проводили ряд серийных десятикратных разведений, высевали исследуемый материал на стандартные питательные среды и идентифицировали МО). Все исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов выполняли в программном комплексе STATISTICA.

Полученные результаты приведены в таблице.

Таблица

Влияние подкисления на запах и микробиоту навозных стоков

Объект	рН, ед.рН	Интенсивность запаха, баллов	Общее микробное число, КОЕ/мл	Доминирующие микроорганизмы (в порядке уменьшения численности)
Нативные навозные стоки	6,9±0,2	5,0	7,76±0,95	<i>Escherichia coli</i> , <i>Clostridium</i> spp., <i>Fusobacterium nucleatum</i> , <i>Peptoniphilus</i> sp., <i>Bacteroides fragilis</i> , <i>Proteus</i> spp., <i>Peptostreptococcus</i> sp.
Подкисленные навозные стоки	5,5±0,2	2,0±0,1	0,99±0,28	<i>Clostridium</i> spp., <i>Fusobacterium nucleatum</i> , <i>Escherichia coli</i>

Согласно приведенным в таблице данным, подкисление НС приводит к значительному уменьшению общего микробного числа и трансформации микробиоты, что способствует снижению интенсивности неприятного запаха. Различия между нативными и подкисленными НС статистически значимы.

Наиболее устойчивыми к подкислению до рН 5,5 оказались *Clostridium* spp. (продуцент аммиака, летучих жирных кислот), *Fusobacterium nucleatum* (продуцент индола [8]), *Escherichia coli* (продуцент меркаптанов), однако численность соответствующих микроорганизмов в подкисленных НС снизилась на 1–2 порядка по сравнению с нативными НС.

Результаты исследований свидетельствуют о возможности применения и достаточной эффективности приема подкисления НС для уменьшения эмиссии ЗОВ в атмосферный воздух. Снижение рН до 5,5 не только уменьшает интенсивность неприятного запаха, но и улучшает микробиологические характеристики НС, что имеет принципиальное значение для защиты окружающей среды от биологического загрязнения.

Библиографический список

1. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Экологическая проблема отрасли свиноводства // Аграрная наука – сельскому хозяйству : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, 2019. С. 193–196.
2. Сырчина Н. В., Шубин А. С., Береснева Т. П. Дезодорация свиного навоза, предназначенного для производства удобрений // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Киров : «Изд-во «Радуга-ПРЕСС», 2016. Кн. 1. С. 394–397.
3. Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина, А. В. Сазанов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 199–205. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-199-205
4. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 26–34. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-026-034
5. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 113–120. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
6. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Новые подходы к дезодорации свиного навоза // Иппология и ветеринария. 2018. № 4 (30). С. 99–106.
7. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики / Л. В. Пилип, В. А. Козвонин, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 161–167. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-161-167
8. Шейбак В. М., Павлюковец А. Ю. Триптофан: ключевой метаболит гомеостаза и регулятор функций организма // Гепатология и гастроэнтерология. 2021. Т. 5. № 2. С. 143–149. doi: 10.25298/2616-5546-2021-5-2-143-149

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА УСТЬ-КУТ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВАНИИ СНЕГОХИМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

*В. В. Трусова, О. Л. Качор, А. В. Паришин, И. А. Матюхин, З. Л. Икрамов
ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский
технический университет, vvtrusova@geo.istu.edu*

В статье представлены результаты исследования состояния атмосферного воздуха в городе Усть-Кут на основании проведенной снегохимической съемки. В результате проведенных исследований выявлены ореолы распространения загрязняющих веществ, в том числе в районе расположения уникального санатория «Усть-Кут».

Ключевые слова: снеговой покров, загрязняющие вещества, снегохимическая съемка, Усть-Кут, атмосферный воздух.

Город Усть-Кут – один из старейших населённых пунктов на р. Лена и один из самых молодых городов Иркутской области. Усть-Кут расположен на северо-западе Иркутской области в 960 км от областного центра – г. Иркутска. Население Усть-Кута составляет 42560 человек.

На территории г. Усть-Кут расположены и работают 13 теплоисточников: 11 муниципальных и 2 ведомственных. Также на данный момент в Усть-Кутском муниципальном образовании продолжается строительство объекта 1 категории – Иркутского завода полимеров. Целью строительства Иркутского завода полимеров является производство химической (полимерной) продукции (полиэтилен) путем преобразования газообразного органического сырья.

Метеорологические условия в Усть-Кутском муниципальном образовании мало благоприятны для рассеивания и превращения промышленных выбросов в приземном слое атмосферного воздуха. Низкий потенциал самоочищения атмосферы связан с продолжительным периодом отрицательных температур, низкими скоростями ветра и частыми штилями. При этом Иркутским территориальным управлением по гидрометеорологии стационарные наблюдения за загрязнением воздушного бассейна в районе г. Усть-Кут не проводятся.

В связи с вышесказанным для получения объективной информации о текущем состоянии атмосферного воздуха в районе г. Усть-Кут был оценен уровень загрязнения атмосферы методом снегогеохимической съемки. Снежный покров, обладающий высокой сорбционной способностью, представляет наиболее информативным объектом при выявлении техногенного загрязнения атмосферы [1]. Снежный покров в данном регионе сохраняется в течение 5–6 месяцев в году.

Снег адсорбирует из воздуха значительную часть загрязняющих веществ: аэрозоли (в т. ч. пыль), газы, тяжелые металлы, как во время снегопада, так и в периоды залегания, в результате чего минеральные и органические вещества накапливаются в однородном естественном субстрате, сохраняясь до периода таяния в неизменном виде. Таким образом по составу снежного покрова возможно надежно установить устойчивую структуру атмосферных выпадений, учитывая ландшафтно-климатические условия, и идентифицировать антропогенные источники воздействия.

Весной 2022 г. в период максимального накопления влагозапаса в снежном покрове авторами был проведен отбор проб снега с целью выявления загрязнения атмосферного воздуха в муниципальном образовании «город Усть-Кут». Всего было отобрано 175 проб снега, в том числе одна фоновая проба, которая была отобрана на юго-западе от города на значительном удалении от жилых домов и дорог (1,5 километра) в лесной зоне (168 проба на рис. 1). В связи с высоким риском пропуска в данных условиях значимых аномалий было принято решение о сгущении сети пробных площадок (рис. 1).

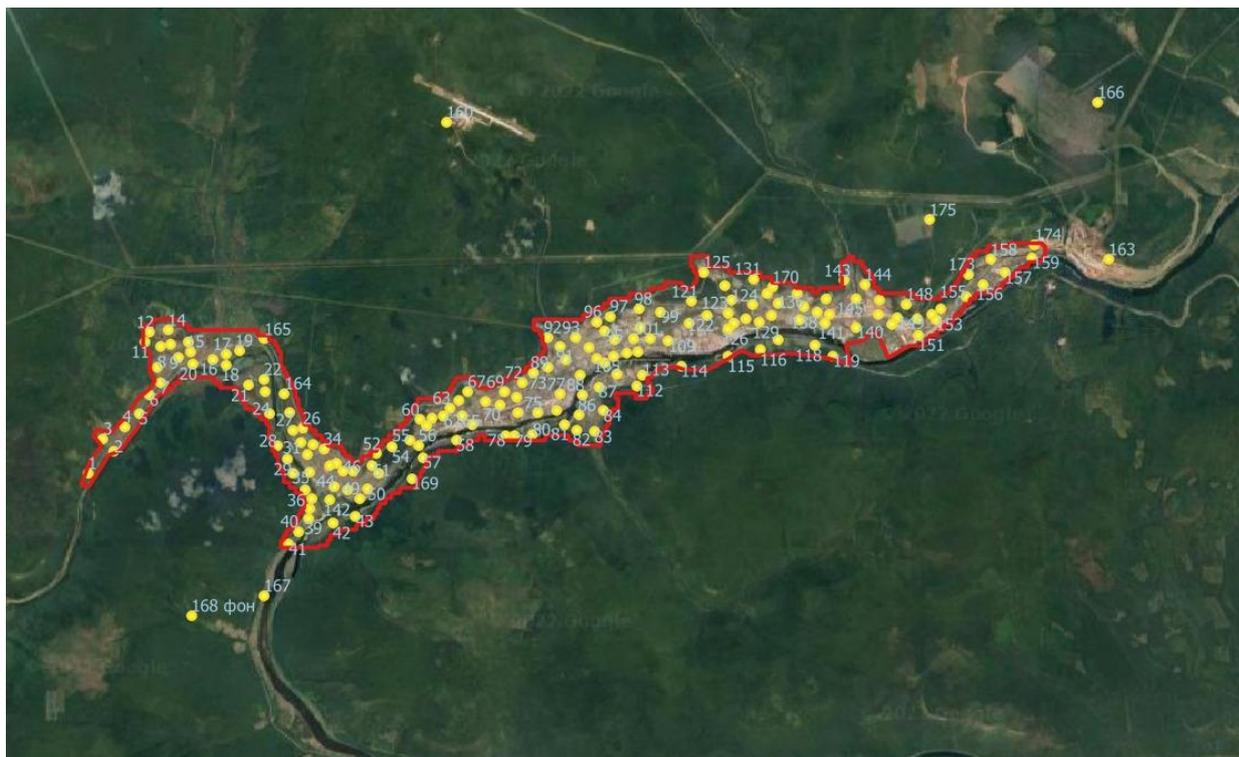


Рис. 1. Места отбора проб снега

Образцы были проанализированы методом ICP-MS в аккредитованной лаборатории ИГХ СО РАН по стандартизованным методикам на современном аналитическом оборудовании. Анализ проб проводили на содержание следующих элементов: Na, Mg, Si, K, Ca, Cu, Zn, As, Pb. Выборочно для 7 точек на жидкостном хроматографе в Иркутской межобластной ветеринарной лаборатории был определен бенз(а)пирен. Также была рассчитана пылевая нагрузка, результаты расчета которой отражены на карте (рис. 2).

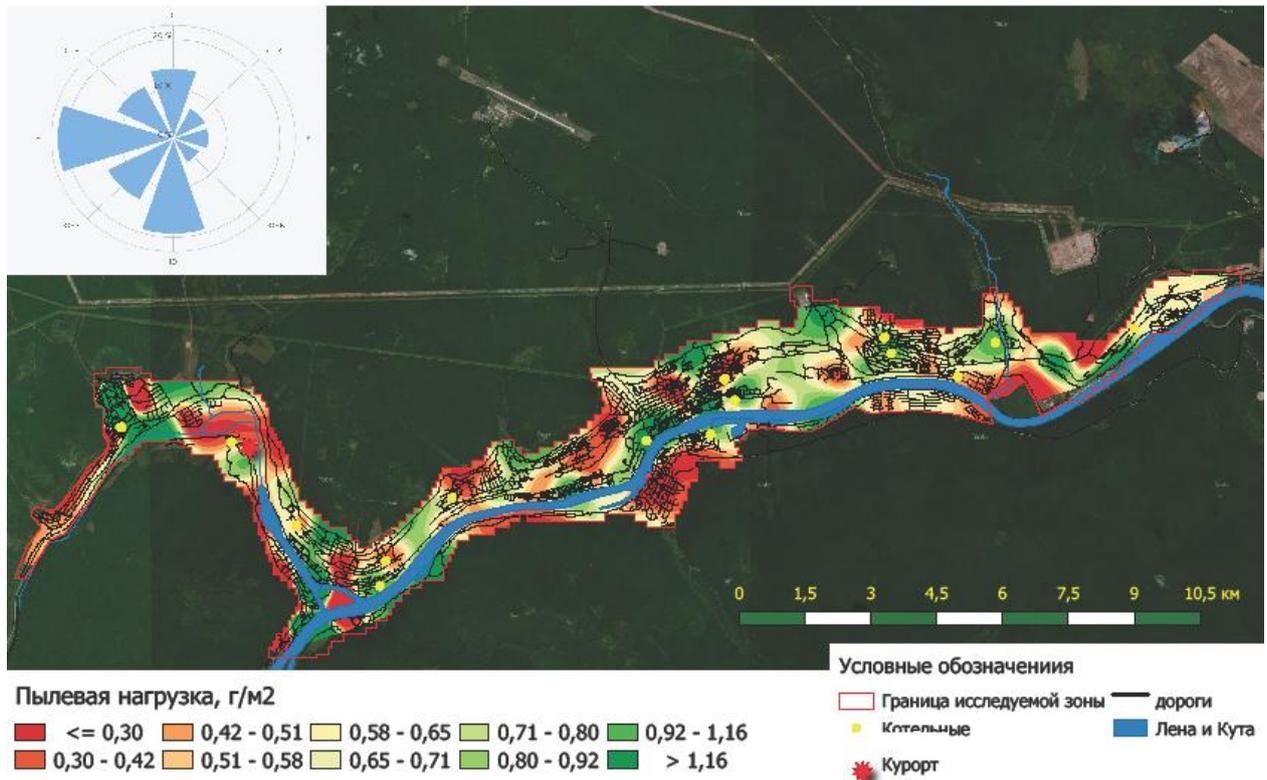


Рис. 2. Пылевая нагрузка

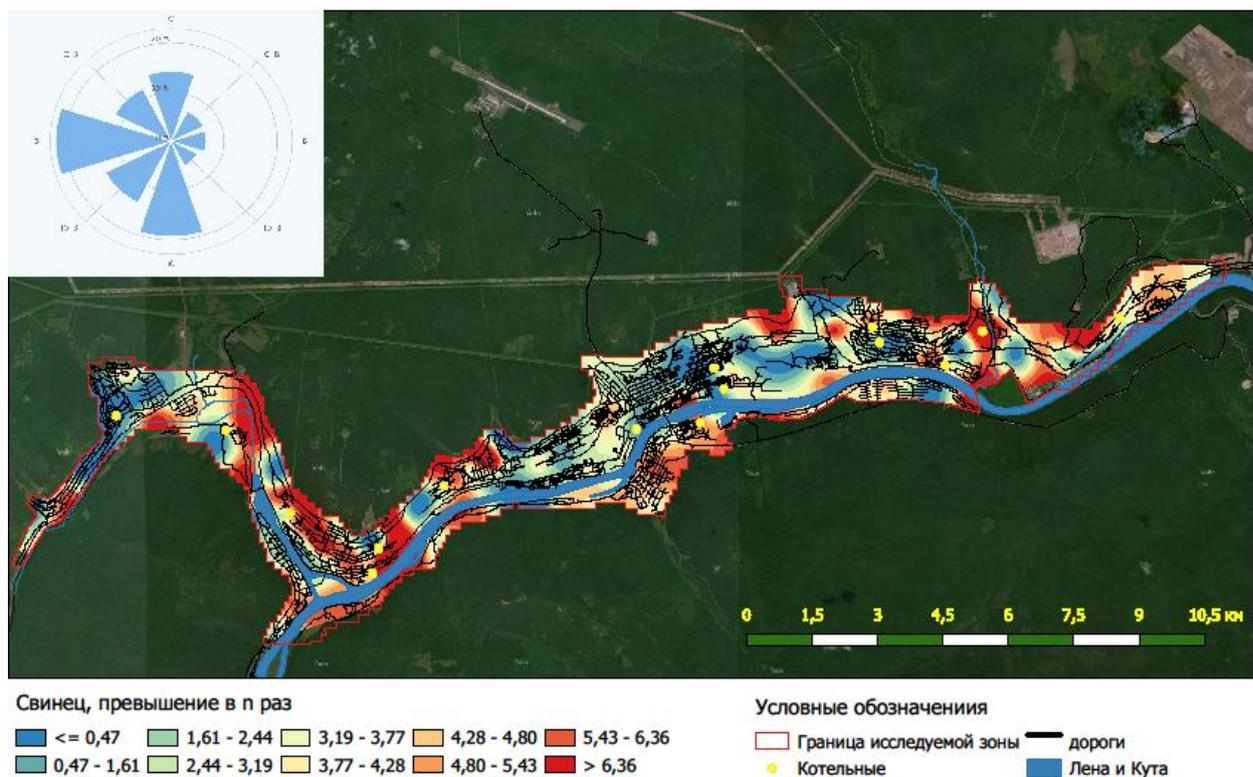


Рис. 3. Превышение концентрации свинца над фоновым содержанием

По результатам исследования выявлено превышение концентрации свинца в отдельных точках более чем в 6 раз относительно фоновых значений

(рис. 3), цинка – в 11 раз, меди – в 6 раз, натрия – в 5 раз, кремния – в 20 раз, кальция – в 8 раз, калия – в 12 раз, магния – в 6 раз. Концентрация мышьяка в большинстве проб ниже предела обнаружения. Концентрация бенз(а)пирена в точках 99,161 превышает ПДК в воде (0,005 мкг/дм³ [2]) в 1,2–1,4 раза, в точке 132 – в 230 раз (1,15 мкг/дм³).

В городе отсутствуют крупные производственные предприятия, поэтому предполагаемым источником загрязнения атмосферного воздуха являются предприятия теплоэнергетики и автотранспорт. Точка отбора проб 132 расположена в районе Котельной Бирюсинка-2. Точки отбора 99 и 161 расположены в районе автотранспортных предприятий: 99 – автозаправочная станция Роснефть и 161 стоянка грузового автотранспорта.

Превышение концентраций загрязняющих веществ также зарегистрировано в районе расположения санатория «Усть-Кут» (20, 21, 22, 23 точки отбора проб, рис. 1), являющегося одной из самых старейших здравниц Иркутской области. Санаторий знаменит минеральными водами и грязью озера Соленого. Лечебная грязь уникальная: она относится к высокоминерализованным сульфидно-хлоридно-натриевым иловым грязям. По своим физико-химическим показателям сравнима с грязями озера Тузлучного (Оренбургская область) и озера Старой Руссы (Новгородская область). Профилирующее направление санатория – лечение заболеваний костно-мышечной системы, дыхательных органов, проблем в области урологии и гинекологии, а также – нарушений в работе дыхательных органов, кожных болезней и др. [3].

Наиболее значимые превышения концентрации загрязняющих веществ по отношению к фоновым в районе расположения санатория зафиксированы по кремнию (в 5–20 раз), кальцию (в 3–10 раз), цинку (в 2–9 раз), свинцу (в 5–6,5 раз). Пылевая нагрузка по сравнению с фоновой точкой больше от 2 до 6 раз.

Таким образом, проведена детальная оценка состояния атмосферного воздуха на основании снегогеохимической съемки и выявлены зоны с повышенной антропогенной нагрузкой.

Библиографический список

1. Загрязнение атмосферы и содержание фтора в снеге на акватории оз. Байкал / И. А. Белозерцева, И. Б. Воробьева, Н. В. Власова, Д. Н. Лопатина, М. С. Янчук // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-2. С. 735. [Электронный ресурс]. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22004> (дата обращения: 01.11.2022).
2. Жилкина О. Ф., Малова Т. Н. Определение бенз(а)пирена в снежном покрове с использованием метода высокоэффективной жидкостной хроматографии // XXI век. Техносферная безопасность. 2020. № 3 (19). doi: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-3-253-261>
3. Санаторий Усть-Кут [Электронный ресурс] – URL: https://sanatoriyy-ustkut.ru/?page_id=809 (дата обращения: 01.11.2022).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА НАИБОЛЕЕ ОЖИВЛЕННОМ УЧАСТКЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

О. С. Ефремова, О. Е. Фалова

*Ульяновский государственный технический университет,
efremova.olesa01@mail.ru, falova@rambler.ru*

В статье представлены результаты изучения загрязнения атмосферного воздуха от автотранспорта на наиболее оживленном участке города Ульяновск. Проведен расчет выброса загрязняющих веществ в атмосферу от автотранспорта на участке Пушкаревское кольцо города г. Ульяновска.

Ключевые слова: автотранспорт, загрязнение атмосферы, Ульяновск.

Экологические проблемы городов, связаны с чрезмерной концентрацией населения, транспорта и промышленных предприятий на относительно небольших территориях и с формированием антропогенных ландшафтов [1]. Автомобильный транспорт потребляет наибольшее количество углеводородного топлива (бензин, газ, дизельное топливо), поэтому он также является одним из основных источников выбросов углекислого газа в атмосферу. Количество транспортных средств увеличивается с каждым годом, а, следовательно, и концентрация вредных веществ в атмосфере возрастает. Продолжающийся рост количества автомобилей оказывает негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека [2].

Среди отраслей экономики России транспортный комплекс является крупнейшим источником загрязнения окружающей среды. В масштабах страны, доля транспорта в суммарных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу от всех источников достигает 45%, в выбросах парниковых газов – примерно 10%, в массе промышленных отходов – 2%, в сбросах вредных веществ со сточными водами – около 3%, в потреблении озон разрушающих веществ – не более 5%. Доля транспорта в шумовом воздействии на население составляет 85–95% на различных территориях [2].

Испарения бензина в автомобиле имеют место при работе двигателя и в нерабочем состоянии. Они возникают не только в передвижных источниках, но и в стационарных, к которым, в первую очередь, следует отнести автозаправочные станции. Они получают, хранят и реализуют бензин и другие нефтепродукты в больших количествах. Это является серьезным каналом загрязнения окружающей среды, как в результате испарений топлива, так и в результате разливов.

Исследование проводилось по методическим указаниям [3]. В работе также использованы материалы Государственного доклада Ульяновской области за 2021 год.

Предмет исследования – участок автомобильной дороги в наиболее оживленном месте г. Ульяновск. Объект исследования – загрязнение атмосферного воздуха от автомобильного транспорта на наиболее оживленном участке промышленного города.

Наблюдения в городе Ульяновске проводятся на четырех стационарных постах государственной службы наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха (ПНЗ) ежедневно с периодичностью шесть дней в неделю, 3 раза в сутки (ПНЗ № 1, ПНЗ № 3, ПНЗ № 4, ПНЗ № 5) и трех региональных стационарных постах шесть дней в неделю, 4 раза в сутки (ПНЗ № 6, ПНЗ № 7, ПНЗ № 8). Стационарный пост наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха ПНЗ № 3 расположен по адресу: Засвияжский район, ул. Полбина, 46А.

На ПНЗ № 3 в 2021 г. были отобраны пробы атмосферного воздуха на содержание в них 20 ингредиентов: взвешенных веществ (пыли), диоксида серы, гидрохлорида, оксида углерода, диоксида азота, оксида азота, фенола, формальдегида, суммы предельных и непредельных углеводородов, бенз(а)пирена и тяжелых металлов (железо, кадмий, магний, марганец, кобальт, медь, никель, свинец, хром, цинк).

На рисунке 1 представлена сравнительная характеристика уровня загрязнения атмосферного воздуха веществами, вносящими наибольший вклад в загрязнение атмосферы города.

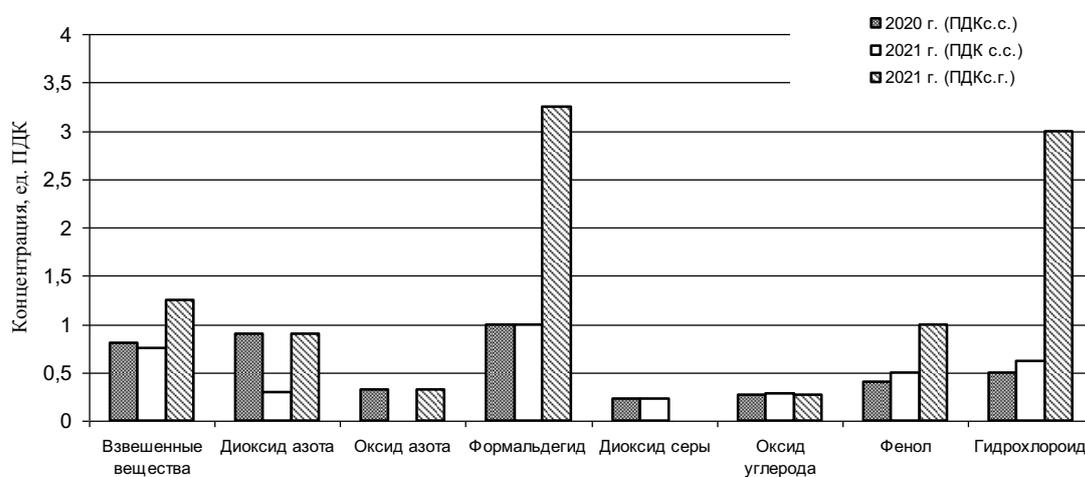


Рис. 1. Уровни загрязнения атмосферного воздуха основными примесями в г. Ульяновске

В 2021 г. отмечен рост уровня загрязнения атмосферы гидрохлоридом, фенолом; зарегистрировано снижение по содержанию диоксида азота и взвешенным веществам; содержание диоксида серы, оксида углерода, формальдегида не изменилось.

За 2021 г. в г. Ульяновске отмечено 99 случаев превышения уровня максимально разовой предельно допустимой концентрации, из них по отдельным ингредиентам: взвешенным веществам (пыли) 9 случаев превышения ПДКм.р.;

- формальдегиду 50 случаев превышения ПДКм.р.;
- диоксиду азота 5 случаев превышения ПДКм.р.;
- гидрохлориду 30 случаев превышения ПДКм.р.;
- аммиаку 5 случаев превышения ПДКм.р.

По диоксиду серы, оксиду азота, оксиду углерода, фенолу и предельным и непредельным углеводородам превышений ПДКм.р. не зафиксировано.

Исследование проводилось в г. Ульяновске на участке дороги с интенсивным движением (перекресток Пушкаревское кольцо) в дневное время (15:00–15:20), при различных погодных условиях (рис. 2).

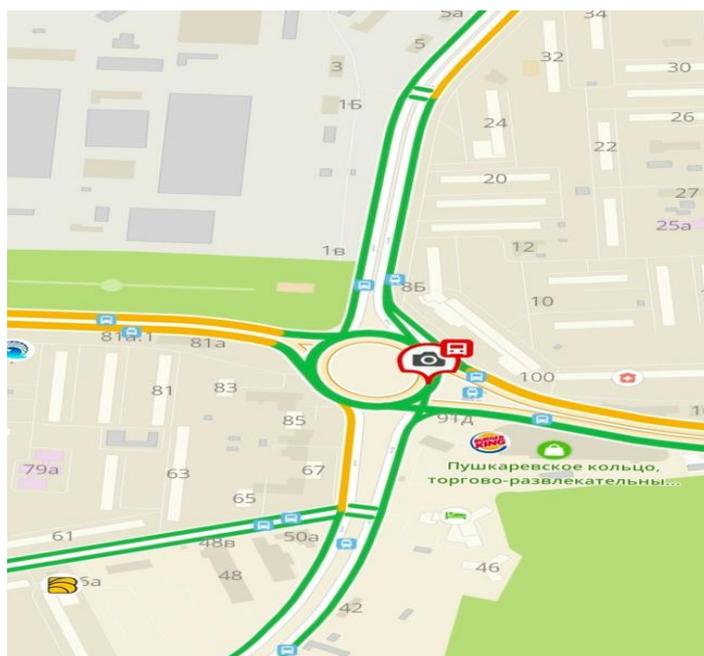


Рис. 2. Участок дороги Пушкаревское кольцо

На основе расчетных методов определены количества загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от автотранспорта. Результаты расчета выбросов загрязняющих веществ на участке города Ульяновска – перекресток Пушкаревское кольцо представлены в таблице.

Таблица

Результаты подсчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

Наименование транспорта	Выброс загрязняющих веществ, г/км				
	СО	NO ₂	СН ₄ ⁻	Сажа	SO ₂
Легковой	420	90	96	0,84	1,8
Грузовой	63,24	16,27	48,36	0,354	0,2325
Автобусы	12,48г	9,96	14,64	0,72	0,1008
Микроавтобусы	100,8	21	28,8	4,8	0,216

В результате имеем следующие данные по валовому выбросу (т/год): СО – 7754; NO₂–1781; СН₄– 2441,4; сажа – 87,2; SO₂– 30,42.

При суммировании данных выброса загрязняющих веществ от автотранспорта стоящего на запрещающем сигнале светофора и выбросе загряз-

няющих веществ от движущегося по данной дороге автотранспорта получаем 2165729 г/с [4].

Таким образом, выбранный участок исследования можно охарактеризовать стойким высоким выбросом загрязняющих веществ в атмосферу. Для снижения выбросов загрязняющих веществ можно рекомендовать использование качественного бензина, изменение логистики автотранспортных потоков, снижение холостой работы двигателя автомобиля, озеленение маршрутов движения транспорта.

Библиографический список

1. Диагностика локального загрязнения урбанозёмов в районах автозаправочных станций / А. С. Олькова, Н. М. Зимонина, Е. И. Лялина, В. Р. Бобрецова // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 56–62. doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-056-062
2. Ефименко К. М., Самоходкина О. В. Загрязнение окружающей среды автотранспортом города Шахты // Приоритетные направления развития образования и науки : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары : ЦНС «Интерактив плюс», 2017. С. 14–19.
3. ГОСТ 32965-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока.
4. Структура транспортных потоков г. Ульяновска и оценка загрязнения атмосферы города выбросами автотранспорта. [Электронный ресурс]. – URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=11540> (дата обращения: 25.10.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МИКРОРАЙОНА КОЛЛЕДЖА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И АВТОМОБИЛЬНОГО СЕРВИСА

Е. Н. Гвоздев, А. В. Демакова

*Колледж промышленности и автомобильного сервиса,
28gvozdevgeni96@gmail.com, makdemy@mail.ru*

В статье представлены данные по влиянию автомобильного транспорта на окружающую среду. Приведены результаты исследования состояния снега и снеговой воды, доказывающие загрязнение воздуха и окружающей среды различными веществами, образующимися при работе автотранспорта.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, негативное влияние автотранспорта, оценка снежного покрова.

В региональном докладе Министерства охраны окружающей среды Кировской области «О состоянии окружающей среды Кировской области в 2020 году» указывается, что на конец 2020 г. только в Кировской области выбросы от автотранспорта составили 93,87 тыс. т. При этом отмечается, что в ходе проведения мероприятий Госавтоинспекцией Кировской области совместно с сотрудниками министерства охраны окружающей среды Кировской

области в 2020 г. было выявлено 53 транспортных средства, у которых содержание загрязняющих веществ в выбросах превышало допустимые нормы [1]. Все вышеперечисленные факты свидетельствуют о негативном влиянии автотранспорта на состояние окружающей среды.

В связи с актуальностью проблемы было решено провести исследования для выявления негативного влияния автотранспорта на окружающую среду, в частности – на микрорайон Колледжа промышленности и автомобильного сервиса (КПиАС), который располагается на пересечении двух улиц г. Киров – Воровского и Солнечной. Вблизи колледжа располагаются автозаправка, жилые дома, продуктовые магазины и магазины одежды, за счет чего транспортная нагрузка на данный микрорайон значительно увеличивается. Улица Воровского считается одной из крупнейших улиц города, характеризуется достаточно оживленным движением и имеет статус магистральной улицы [2].

Оценка влияния автотранспорта на экологическое состояние микрорайона колледжа проводилась комплексно по четырем направлениям: оценка загруженности улицы, определение количества выбросов в отработавших газах автомобилей, визуальная оценка талого снега, оценка снеговой воды.

Изучение загруженности автотранспортом проводилось 26 марта 2022 г. (в субботу) в 11:00 по ул. Воровского на участке длиной 100 м. Интенсивность движения автотранспорта определялось методом подсчета автомобилей разных типов в течение 20 мин. Далее производился расчет количества автотранспорта разного типа за 1 час и за сутки (табл. 1).

После определялась загруженность микрорайона КПиАС автотранспортом согласно ГОСТ 32965-2014: низкая интенсивность движения – 4–9 тыс. автомобилей в сутки; средняя интенсивность – 10–19 тыс., высокая интенсивность – 20–32 тыс. и более [3].

Таблица 1

**Результаты подсчета автотранспорта в микрорайоне
Колледжа промышленности и автомобильного сервиса**

№ п/п	Тип автомобиля	Количество автомобилей		
		за 20 минут (шт.)	за 1 час (шт.)	за 1 сутки (шт.)
1	Легкий грузовой транспорт	26	78	1872
2	Средний грузовой транспорт	5	15	360
3	Тяжелый грузовой транспорт (дизельный)	0	0	0
4	Легковые автомобили	789	2 367	56 808
5	Автобусы	28	84	2 016
	ИТОГО	848	2 544	61 056

Исходя из результатов подсчета, можно сказать, что в исследуемом микрорайоне преобладает легковой транспорт, а, значит, основная транспортная нагрузка оказывается именно этим типом транспорта. За сутки на исследуемом участке дороге проезжает примерно 61056 транспортных средств. Согласно [3] интенсивность движения на данном участке оценивается как высокая.

Во время определения загруженности участка улицы Воровского автотранспортом, помимо подсчета единиц автотранспортных средств, также проводили подсчет количества переключений: торможение (n) и набор скорости (k). Результаты заносили в таблицу 3. Также использовали данные о количестве выхлопных газов за 1 мин. [4], указанные в таблице 2.

Таблица 2

Состав выхлопных газов бензиновых и дизельных двигателей (г/мин)

№ п/п	Компоненты выхлопных газов	Бензиновые двигатели	Дизельные двигатели
1	Оксид углерода (II) – CO	0,035	0,017
2	Оксид углерода (IV) – CO ₂	0,217	0,2
3	Оксиды азота (NO, NO ₂)	0,002	0,001
4	Сажа	0,04	1,1

Затем проводили расчет суммарного загрязнения каждого вида автотранспорта за 20 мин. (табл. 3) по формуле:

$$M = t \cdot n \cdot k \cdot (m_{CO} + m_{CO_2} + m_{NO_2} + m_{сажи}) \quad (1)$$

где M – суммарное загрязнение отработавшими автомобильными газами (г); t – время подсчета (мин); n – количество торможений (шт); k – количество автомобилей, набирающих скорость (шт); m_{CO} – масса выбросов оксида углерода (II) бензиновым или дизельным двигателем в минуту (г/мин); m_{CO_2} – масса выбросов оксида углерода (IV) бензиновым или дизельным двигателем в минуту (г/мин); m_{NO_2} – масса выбросов оксида азота бензиновым или дизельным двигателем в минуту (г/мин); $m_{сажи}$ – масса выбросов сажи бензиновым или дизельным двигателем в минуту (г/мин).

Таблица 3

Результаты расчета выбросов токсичных продуктов бензиновых двигателей транспортного потока в микрорайоне Колледжа промышленности и автомобильного сервиса

Вид автотранспорта	t, мин	n, шт	k, шт	m_{CO} , г/мин	m_{CO_2} , г/мин	m_{NO_2} , г/мин	$m_{сажи}$, г/мин	Суммарное загрязнение (M, г)
Легкий грузовой транспорт	20	6	6	0,035	0,217	0,002	0,04	211,68
Средний грузовой транспорт	20	2	2	0,035	0,217	0,002	0,04	23,52
Тяжелый грузовой транспорт (дизельный)	20	0	0	0,017	0,2	0,001	1,1	0
Легковые автомобили	20	253	253	0,035	0,217	0,002	0,04	376 372,92
Автобусы	20	10	10	0,035	0,217	0,002	0,04	588
ИТОГО								377 196,12

Таким образом, в ходе расчетов было выявлено, что в течение 20 мин. автотранспортный поток выделяет 377 кг 196 г вредных веществ, а сутки – 13579 кг. Из всей этой массы загрязняющих веществ 60% поступает в атмосферу в виде газов [5] и 40% оседает на почвенный покров в виде твердых частиц (сажи, копоть и т. д.) [6]. Следует учитывать тот факт, что данное количество автотранспорта можно наблюдать в районе колледжа в выходные дни. Соответственно, количественный расчет транспортных загрязнителей воздуха в будние дни может быть значительно выше из-за более плотного транспортного потока в будние дни.

Следующее направление исследования заключалось в визуальной оценке состояния снега, так как он является хорошим индикатором чистоты атмосферного воздуха и накопителем различных загрязняющих веществ [5]. Поэтому, чтобы оценить степень загрязненности окружающей среды микрорайона КПиАС автотранспортом, нами были взяты 6 проб снега на выбранных экспериментальных площадках, которые отбирались чистыми химическими стаканами: 2 пробы у забора со стороны ул. Воровского, 2 пробы во внутреннем дворе колледжа и 2 пробы около самого колледжа. После этого взятые пробы снега были растоплены для визуального изучения качества талой воды.

Визуальный осмотр талой воды показал, что наиболее загрязненными пробами являются те, которые были взяты у забора со стороны улицы (рис. 1а.). В этих местах основным источником загрязнения снега является транспорт. Темная окраска снега в данных местах и, соответственно, снеговой воды обусловлена несколькими причинами. Это вынос частиц (сажи, частиц каучука, кремния и др.), содержащихся в выхлопных газах, а также автопокрышек, истираемость которых в зимнее время резко возрастает. Ещё одним источником темной окраски служит химический и механический вынос битумных, масляных и других минерально-органических соединений с днищ автомобилей.

Более чистыми оказались пробы, взятые во внутреннем дворе колледжа (рис. 1б.). В снеговой воде содержался небольшой осадок, что можно объяснить, во-первых, малым движением автомобилей по территории колледжа, а, во-вторых, переносом загрязняющих веществ воздушными массами с дороги.

Наиболее чистыми оказались пробы снега, взятые рядом с колледжем (рис. 1в.). Обусловлено это более удаленным местоположением от дороги и наличием барьера в виде деревьев. Несмотря на низкую интенсивность движения автомобилей по внутреннему двору колледжа, они, так или иначе, вносят свой вклад в загрязнение окружающей среды микрорайона колледжа, что видно из небольшого осадка твердых частиц в снеговой воде.



А

Б

В

Рис. 1. Снеговая вода: а – снег, собранный у забора колледжа со стороны улицы; б – снег, собранный во внутреннем дворе колледжа; в – снег, собранный около колледжа

Снеговую воду фильтровали через складчатый фильтр, перенося на него осадок количественно. По результатам фильтрации (рис. 2) видно, что самыми загрязненными пробами является проба снега, взятая у забора со стороны улицы: количество твердых загрязняющих веществ на фильтре в этом случае максимально. Самыми чистыми являются пробы снега, отобранные около колледжа.



А

Б

В

Рис. 2. Результаты фильтрации снеговой воды: а – снега, отобранный у забора колледжа со стороны улицы; б – снег, отобранный во внутреннем дворе колледжа; в – снега, отобранный около колледжа

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных можно утверждать, что главным источником загрязнения окружающей среды микрорайона колледжа является автотранспорт. Высокая интенсивность транспортного потока со стороны ул. Воровского приводит к загрязнению микрорайона колледжа выхлопными газами автомобилей, сажей, копотью и другими загрязнителями. Все это подтверждается данными по состоянию снега и снеговой воды, которые являются индикаторами атмосферного загрязнения.

Библиографический список

1. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2020 году : Региональный доклад / под ред. А. В. Албеговой. Киров : Министерство охраны окружающей среды Кировской области, 2021. С. 6–15.

Улица Воровского (Киров) [Электронный ресурс]. – URL: <https://metal-archive.ru/stati/21100-ulica-vorovskogo-kirov.html> (дата обращения: 10.03.2022).

ГОСТ 32965-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока. М. : Стандартинформ, 2019. 8 с.

4. Альферович В. В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» дневной и заочной форм обучения: в 2 ч. Ч. 1: Анализ состава отработавших газов. Минск : БНТУ, 2016. 54 с.

5. Галева А. М. Об охране окружающей среды. М. : Изд-во политической литературы, 1986. 352 с.

6. Василенко В. Н., Назаров И. Н., Фридман Ш. Б. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л. : Гидрометеоиздат, 1985. 181 с.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ОГNETУШАЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ

У. Ю. Кузнецова¹, А. В. Новиков², О. В. Сумарукова³

*¹ Российский государственный социальный университет,
kuznetsova_ulya15@mail.ru*

*² Российский государственный социальный университет,
alexandervasnovikov@gmail.com*

³ ГБОУ города Москвы «Школа № 1223», kuznetsowa09@yandex.ru

В статье представлены особенности огнетушащих веществ, их применение для тушения определенных классов пожаров, а также показатели их негативного воздействия на окружающую среду в аспекте экологической безопасности.

Ключевые слова: экологические последствия, огнетушащее вещество, негативное влияние.

Деятельность человека: промышленная, хозяйственная, бытовая, в том числе и тушение пожаров, является антропогенным воздействием на окружающую среду.

Наряду с токсичными и вредными продуктами горения загрязнение окружающей среды может быть вызвано огнетушащими веществами, используемыми в пожаротушении. Огнетушащие вещества (ОВ) – это вещества, способные тушить пожар. Любое огнетушащее вещество воздействует на один или несколько типов пожаров. Вода, используемая для пожаротушения, вместе с растворенными в ней веществами может попасть в почву, грунтовые воды [1].

Огнетушащее вещество может быть выбрано по определенным параметрам: по степени токсичности (для населенных пунктов), по огнетушащим характеристикам, по возможности использования огнетушащего вещества в средствах пожаротушения по классу пожара.

Вещество с указанными свойствами применимо для определенного класса огнестойкости (табл. 1) [2].

Таблица 1

Классификация огнетушащих веществ по классу пожара

№	Класс пожара	Тип пожарной нагрузки	Огнетушащее вещество (ОТВ)
1	A	Твердые горючие материалы	Все виды ОТВ
2	B	Горючие жидкости	Все виды пен, порошки, составы на основе галогенуглеводородов
3	C	Горючие газы	Газовые составы
4	D	Металлы	Порошки
5	E	Электроустановки, находящиеся под напряжением	Хладоны, CO ₂ , порошки

В качестве ОТВ могут применяться пена, порошки, газовые составы, хладоны. Основным компонентом пены является пенообразователь, который не является токсичным веществом и относится к 3 классу опасности (умеренно опасные). Поверхностно-активные вещества (ПАВ), применяемые в пожарной охране как смачиватели и пенообразователи, также причиняют вред окружающей среде. Попадая в водоемы, они препятствуют поступлению кислорода. Огнетушащие порошки наносят наименьший ущерб окружающей среде, а при взаимодействии с различными продуктами горения различных огнетушащих веществ выделяется наименьшее количество вредных веществ [3].

Самым опасным из негорючих газов является окись углерода, которая при тушении пожара взаимодействует с различными веществами и может образовывать СО, фосген – сильнейшие токсичные вещества [4].

Все хладоны токсичны и воздействуют на мозг, почки, печень и другие части тела. Продукты их распада разрушают озоновый слой.

Во время ликвидации пожара только часть ОТВ расходуется на химические реакции, которые могут погасить горение. Вторая часть выбрасывается в атмосферу, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Исходя из вышеизложенного, при оценке воздействия ОТВ на окружающую среду учитываются следующие показатели:

- ODP – потенциал разрушения озонового слоя – это относительная величина, указывающая, сколько озона разрушается при тушении. Этот показатель не должен превышать 1,0;

- GWP – потенциал глобального потепления – это относительная величина, которая указывает, в какой степени уровень глобального потепления Земли увеличился в результате использования этого огнетушащего вещества. Значение GWP огнетушащего вещества не должно превышать 1,0;

- AL – продолжительность пребывания в атмосфере – это время воздействия на атмосферу химических компонентов данного огнетушащего веще-

ства. Время, проведенное веществом в атмосфере, заканчивается, когда они начинают разлагаться под воздействием химических реакций или других веществ (например, озона) или факторов, например, солнечной радиации;

– экологический риск.

В таблице 2 представлены показатели, позволяющие оценить негативное влияние некоторых ОТВ на окружающую среду [2, 5].

Таблица 2

Показатели негативного влияния на окружающую среду огнетушащих веществ

№	Огнетушащий состав	Химические компоненты	ODP	GWP	AL (год)	Экологический риск
1	Halon 1301	CF ₃ Br	10–14	80	80–150	0,04%
2	Оксид углерода	CO ₂	0	0	120	10%
3	Воздушно-механическая пена	CO ₂ + H ₂ O + Al ₂ (SO ₄) ₃ + Na ₂ SO ₄	0	0	136	0,6%
4	Фторпротеиновая пена	–	0	2050	31	7,5%

Чтобы уменьшить вредное воздействие ОТВ на окружающую среду, необходимо соблюдать определенные условия: значительно снизить расход воды при пожаре за счет смачивающих веществ; увеличить вязкость, используя при поливе мелко распыленную воду; применять автомобили водозащиты и другие средства, препятствующие растеканию воды, а также применять негорючие газы только для тушения определенных веществ. Администрация объекта должна организовать очистку продуктов горения и оставшихся ОТВ и их вывоз в назначенное место. При использовании пены необходимо разработать меры по ее устранению и, по возможности, использовать для тушения огнетушащие порошки.

Библиографический список

1. Онищенко В. Я. Определение экологического риска хозяйственной деятельности // Машиностроитель. 1996. № 11. С. 65–67.
2. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды (с изменениями на 12 июля 2011 года) М. : Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9034758> (дата обращения: 05.11.2022).
3. Курбатов В. А., Рысин Ю. С., Яблочников С. Л. Безопасность жизнедеятельности. Основы чрезвычайных ситуаций: Учебное пособие для СПО. Саратов : Профобразование, 2020. 121 с.
4. ГОСТ 4.99-83. СПКП. Пенообразователи для тушения пожаров [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010242> (дата обращения: 05.11.2022).
5. Кирильчук И. О., Беседин А. В., Иорданова А. В. Автоматизация оценки эколого-экономического ущерба от техногенных пожаров // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2021. Т. 11, № 3. С. 125–137.

ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОЯВЛЕНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А. С. Харыбина, А. И. Зеновская
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
anfisa.haribina@yandex.ru, anna.zenovskaya@mail.ru

Исследование наноструктур, наноявлений и нанопроцессов является одной из важнейших задач современной науки, выявившей безграничные перспективы их применения, а также способы и методы изучения наномира, что позволит дать дополнительную возможность в развитии техники и технологий. При этом, о существовании процессов, недоступных глазу человека, человечество догадывалось давно, и только с помощью мощных микроскопов эта тайна открылась людям. После чего многие идеи были переняты учеными для использования в технических системах.

Ключевые слова: наноявления, адгезия, углеродные нанотрубки, декарбонизация, секвестрация.

Несмотря на то, что нанотехнологии считаются недавним изобретением человека, в природе существует множество примеров архитектур наномасштаба, которые лежат в основе жизненно важных функций различных форм жизни на Земле. Далее будут представлены примеры только нескольких источников вдохновения, которые ученые уже смогли или только собираются использовать для создания технологий нового поколения [1].

В 1975 г. немецкие ботаники Вильгельм Бартлотт и Кристоф Найнуйс обратили внимание на традиционный символ чистоты у буддистов – лотос. Это растение обитает в темной мутной воде, однако до конца жизни остается чистым и незапятнанным. Именно эту особенность ученые из ФРГ вывели на патент – дело в наноструктурированных поверхностных областях растения.

Эффект лотоса заключается в том, что растение самоочищается не только от физических загрязнителей в виде пыли и грязи, но и от биологических (водорослей, спор грибов и микроорганизмов). Это связано с тем, что эпидермис лотоса и еще некоторых растений выделяет кутин – воскоподобное вещество (смесь высших жирных кислот и их эфиров) (рис. 1).

На оптимизированных поверхностях (например, цветке лотоса) проявляются супергидрофобные качества, благодаря которым мед и даже клей на водной основе не прилипают, а полностью стекают с поверхности.

С помощью закона Кассье (1) можно объяснить, почему значение контактного угла для поверхности, а, следовательно, условие несмачиваемости (самоочистки) можно легко изменить, придав поверхности необходимый в данном случае наноразмерный рельеф.

$$\cos \alpha = (\sigma_T - \gamma - \sigma_T - \gamma) / \sigma_{ж - г}, \quad (1)$$

где $\sigma_{т-г}$ – напряжение на межфазной границе «тело – газ», МПа; $\sigma_{т-ж}$ – напряжение в межфазной границе «тело – жидкость», МПа; $\sigma_{ж-г}$ – напряжение в межфазной границе «жидкость – газ», МПа.

Наиболее широкое применение нанотехнологии на основе «эффекта лотоса» получили в автомобильной промышленности, строительстве и в ряде других отраслей: это специальные препараты для лакокрасочного покрытия (краски, лаки, полироли, шампуни); непромокаемые зонты, плащи, брезент; водоотталкивающие спортивные купальные костюмы, антивандальные краски и покрытия; незапотевающие стекла, зеркала, керамическая плитка; мало-загрязняющийся бактерицидный текстиль и др. [2].

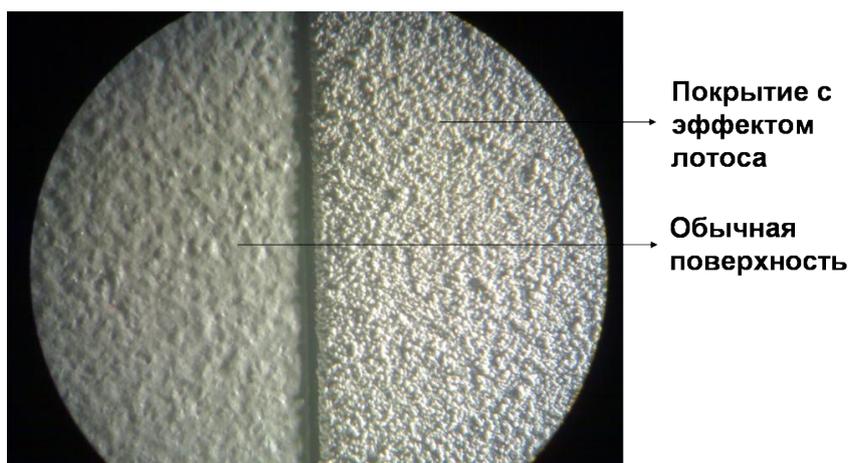


Рис. 1. Изображение двух видов покрытия стен: обычное и с эффектом лотоса (порошковое)

Рассмотрим другой пример применения биомиметики на примере известной ящерицы – геккона. На протяжении более 100 лет ученые пытались понять механизм прилипания, а по-научному – адгезии, миллиона ворсинок, расположенных на лапках гекконов (рис. 2), к любой поверхности, по которой перемещаются эти ящерицы.

Прежде считали, что их удерживают капиллярные силы и силы, возникающие при поляризации поверхности и ворсинок от трения. И лишь в начале XXI века появились первые доказательства того, что гекконов прочно удерживают даже на гладком и скользком оконном стекле Ван-дер-Ваальсовы силы. Щетинки совершенно не смачиваются водой, но одинаково эффективно прилипают и к несмачиваемой, и к влажной поверхности.

Ученые доказали, что важны не химические свойства поверхности, а лишь форма и размер контактирующих с поверхностью окончаний ворсинок. Опираясь на эти знания, они смогли воссоздать «эффект геккона» с помощью синтетических материалов. Одним из полученных материалов в результате подобию стал скотч, изобретенный учеными из Университета Калифорнии в Беркли в начале XXI века. Его особенностью является то, что он легко наносится и снимается с поверхностей, при этом при увеличении нагрузки его удерживающая способность также растет.

Сейчас исследователями из Университетов Стэнфорда и Карнеги-Меллона ведут разработки по созданию роботов, способных передвигаться по вертикальным поверхностям, не теряя своей производительности. В Стенфордском университете создали робота под названием Stickybot, который использует синтетические щетинки, чтобы перемещаться даже по очень гладким вертикальным поверхностям подобно гекконам [3].



Рис. 2. Строение лапки геккона: а) внешний вид лапки геккона; б) «подушечка» пальца геккона под микроскопом; в–д) щетинка лапы геккона под разным увеличением (фото: somuchnews)

Интересным фактом является то, что еще до изобретения микроскопов, способных продемонстрировать ученым наноструктуры, люди уже пользовались наноявлениями. Например, в дамасской стали, которая известна с IV века нашей эры, содержатся комплексы из углеродных нанотрубок (рис. 3), что определяет прочность знаменитых дамасских клинков.

Клинки производились из специальной стали под названием «вуц». Процесс создания самих нанотрубок мог быть связан с такими элементами, как ванадий, хром, марганец, кобальт и никель, которые были обнаружены в Дамасской стали. Во время термической обработки (горячая и холодная фазы) в процессе создания дамасской стали микроэлементы разделялись на плоскости, выступающих в качестве катализатора. Нанотрубки формировались вдоль плоскостей примесей, придавая тем самым дамасской стали ее фирменный знак – волнистые линии, называемые дамасскими узорами.

История открытия нанотрубок также достаточно длинная и многогранная. Еще в 1952 г. вышла статья советских ученых Леонида Радужкевича и Всеволода Лукьяновича, где они сообщали об электронно-микроскопическом наблюдении волокон с диаметром порядка 100 нм, полученных при термическом разложении окиси углерода на железном катализаторе. Молекулярное соединение фуллерен (C₆₀) было открыто исследовательской группой Роберта Керла, Харольда Крото, Ричарда Смолли в 1985 г., за что в 1996 г. ученые были удостоены Нобелевской премии по химии. Следующим этапом стало наблюдение структуры многослойных нанотрубок в 1991 г. Сумио Иидзимой,

который занимался изучением осадка, образующегося на катоде при распылении графита в электрической дуге.

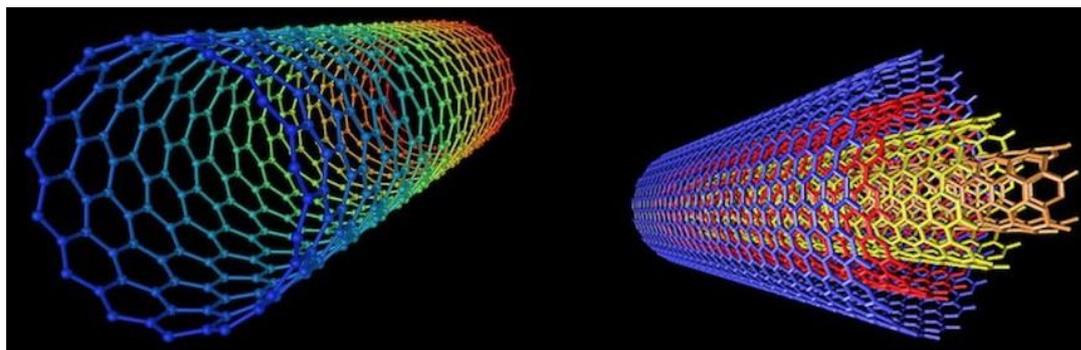


Рис. 3. Одностенные и многостенные нанотрубки

Благодаря своим свойствам – электропроводности, теплопроводности, химической стабильности, возможности приобретения полупроводниковых свойств – углеродные нанотрубки нашли широкое применение в микроэлектронике при изготовлении транзисторов, нанопроводов, топливных элементов. А также нанотрубки используются при изготовлении сверхпрочных нитей, композитных материалов, нановесов, нанопипеток, их применяют для создания соединений между биологическими нейронами и электронными устройствами в новейших нейροкомпьютерных разработках.

Есть и другие возможные области применения нанотрубок. В настоящее время происходит стремительное по геологическим меркам изменение геохимического цикла углерода, связанное со сжиганием ископаемых топлив: угля, нефти и газа. Этот процесс высвобождает в атмосферу углекислый газ и метан, содержащиеся в недрах Земли, создавая парниковый эффект. Для предотвращения стремительного роста температуры на планете и ограничения его на уровне 1,5 градуса, что является целью Парижского соглашения по климату, необходима полная декарбонизация экономики. Поскольку быстро сократить использование ископаемого топлива не получится, избыток углерода целесообразно секвестрировать из воздуха. Согласно цели, поставленной Международной группой экспертов по изучению климата, к середине текущего столетия человечеству необходимо секвестрировать 10 гигатонн CO_2 в год. Перспективными возможностями применения углеродных нанотрубок для задач охраны окружающей среды является технологии улавливания углекислого газа [4].

В 2009 г. была запатентована технология создания полимерных мембран с помощью объединения углеродных нанотрубок, за счет чего поток улавливания углекислого газа был увеличен на два порядка благодаря уникальным «нанофлюидным» свойствам материала. Лицензия на данную технологию была выдана Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса для коммерциализации дочерней компании Porifera. Серийное производство таких мембран планируется с 2025–2030 гг. Данная компания получила финансирование проекта по улавливанию углерода в размере

более 1 млн долларов от Агентства перспективных исследовательских проектов Министерства энергетики США.

Производство углеродных нанотрубок имеет высокую стоимость, что зачастую препятствует их практическому использованию. Наиболее дешевые углеродные нанотрубки, имеющие большой диаметр и обладающие небогатым набором характеристик стоят 100–200 долларов за килограмм. Одностенные нанотрубки, имеющие минимально возможный диаметр и обладающие подходящими свойствами, обойдутся покупателю не дешевле чем 100 тысяч долларов за килограмм.

Но данная ситуация может кардинально измениться, благодаря работе исследователей из университета Вандербилта. Они разработали эффективный метод превращения атмосферного углекислого газа в углеродные нанотрубки. Получаемые таким способом нанотрубки всегда имеют всего одну стенку, минимальный диаметр и самый богатый набор физических, химических и электрических параметров. Команда проекта не раскрывает детали нового процесса производства нанотрубок. Известно только то, что процесс имеет электрохимическую природу. Практической реализацией новой технологии сейчас занимается компания под названием SkyNano LLC, которая уже начала реализацию первых партий нанотрубок по стоимости, гораздо меньшей их стоимости на современном рынке [4, 5]. Аналогичная технология в компании C2CNT обеспечивает себестоимость порядка 1000 долларов за тонну материала и носит название «Алмазы с неба».

Таким образом, наноявления существуют в природе и с появлением мощных микроскопов нанотехнологии смогли найти широкое применение в промышленных технологиях, создаваемых человеком. Основываясь на биомиметике, ученые смогли разработать ткани, красящие и клеящие вещества, обладающие ценными свойствами. Открытие углеродных нанотрубок дает человечеству реальные перспективы в достижении углеродной нейтральности.

Библиографический список

1. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения / Б. М. Балоян, А. Г. Колмаков, М. И. Алымов, А. М. Кротов. М. : 2007. 125 с.
2. Формирование функционального микрорельефа на поверхности поликристаллических материалов в условиях НТП / А. В. Трофимов, Э. Ф. Вознесенский, И. Ш. Абдуллин, А. О. Фадеев, М. Алкин // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 12. С. 98–100.
3. Леонтьев А. В. Чему можно научиться у геккона? // Наука и жизнь: ежемесячный научно-популярный журнал. 2012. № 3. С. 91–94.
4. Золотухин И. В., Калинин Ю. Е. Углеродные нанотрубки и нановолокна : учебное пособие. Воронеж : Воронежский гос. технический ун-т, 2006. 228 с.
5. Получение углеродных нанотрубок из природного газа / А. Г. Жерлицын, В. С. Косицын, А. С. Кобец, П. С. Постников, М. Е. Трусова, В. П. Шиян // Вестник науки Сибири. 2012. № 3(4). С. 30–36.

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОБ ВОДЫ ИЗ ВНУТРЕННЕГО КОЛЬЦЕВОГО И МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛОВ ПОЛИГОНА «КРАСНЫЙ БОР»

В. В. Жилина¹, Т. Я. Ашихмина^{1,2}, С. В. Азопков³

¹ Вятский государственный университет, stud114614@vyatsu.ru

² Институт биологии Коми научного центра

Уральского отделения Российской академии наук,

³ Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

Менделеевская экологическая экспедиция «Финский залив» состоялась 11–16 сентября 2022 г. в г. Санкт-Петербург. Программа экспедиции включала тематические дни: гидрогеология, антропогенное воздействие и биоразнообразие. Культурно-историческая программа включала экскурсию на Балтийский завод, Кронштадт, музей Ленинградской атомной станции и другие знаковые места Санкт-Петербурга. Первая Менделеевская экологическая экспедиция состоялась в 2021 г. на Байкале. Экспедиция организована при совместной деятельности Федерального экологического оператора (предприятия Госкорпорации «Росатом»), сети Информационных центров по атомной энергии, просветительского проекта HomoScience и научно-образовательного консорциума «Передовые ЭкоТехнологии».

Ключевые слова: Менделеевская экологическая экспедиция, Финский залив, анализ воды, полигон промышленных отходов.

Участниками экспедиции стали учащиеся «менделеевских классов» – победители конкурсов экологических проектов, их педагоги, студенты и преподаватели вузов Консорциума «Передовые ЭкоТехнологии» из 6 регионов (Иркутская, Кировская, Курганская, Нижегородская, Саратовская области и Удмуртская Республика).

В ходе экспедиции участники провели учебные исследования по гидрогеологии и биоразнообразию, взяли пробы воды из реки Невы, Финского залива, реки Тосна, с карты-накопителя полигона Красный Бор и сбросного канала Ленинградской атомной электростанции. А затем оценили степень загрязнённости воды по физическим, химическим показателям; по растительным индикаторам, биотическому индексу, состоянию донных отложений; по плотности популяций видов – биоиндикаторов состояния водоёмов с оценкой обилия в баллах.

ФГУП «ФЭО» назначено Правительством Российской Федерации исполнителем работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде на полигоне токсичных промышленных отходов «Красный Бор» в Ленинградской области [1].

Полигон «Красный Бор» является одним из наиболее опасных объектов накопленного вреда окружающей среде в Российской Федерации. Полигон

был открыт в 1969 г. для приема и ликвидации химических и промышленных отходов. Территория полигона включает 70 карт-накопителей, в которых к моменту приостановления деятельности в 2014 г. размещено порядка 1,7 млн т отходов различных классов опасности [2]. К настоящему времени на полигоне проведена рекультивация 65 карт-накопителей с твёрдыми отходами и проводятся работы по подготовке к рекультивации 5 карт-накопителей с жидкими отходами.

В ходе Менделеевской экологической экспедиции участники посетили полигон «Красный Бор». Для анализа эффективности локальных очистных сооружений «менделеевцы» сравнили свойства воды проб до и после очистки. Для анализа качества воды использовались следующие методы.

Определение органолептических и физических показателей воды. Органолептические показатели – это характеристики внешнего состояния анализируемой воды. К органолептическим показателям относятся: цветность, запах, мутность и прозрачность, пенистость воды, температуру поверхностного слоя воды [3].

Определение гидрохимических показателей проб воды. Водородный показатель (рН). Визуально-колориметрический метод, который основан на реакции водородных ионов с универсальным индикатором в водной среде [4].

Щелочность. Щелочностью считается способность взаимодействовать с водородными ионами сильной кислоты, выражаемая количеством кислоты, потребленным при титровании. Расход кислоты на титрование всех потребляющих водородные ионы анионов пропорционален их общему содержанию в воде и выражает общую щелочность воды [4].

Кислотность. Кислотность воды обусловлена содержанием в воде веществ, реагирующих с гидроксид-ионами. Определение основано на титровании анализируемой воды раствором гидроксида натрия известной концентрации в присутствии индикатора фенолфталеина [4].

Растворенный кислород. Метод йодометрического титрования [4].

Перманганатная окисляемость. В этом методе окрашенный перманганат-ион частично восстанавливается до практически бесцветного катиона марганца(II): $MnO_4^- + 8H^+ + 5e = Mn^{2+} + 4H_2O$ [4].

Сульфат-ионы. Титриметрический метод. Определение основано на реакции сульфат-ионов с катионами бария с образованием нерастворимой суспензии сульфата бария по реакции: $Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4 \downarrow$ [4].

Хлориды. Титриметрический метод. Определение основано на титровании хлорид-ионов раствором нитрата серебра, в результате чего образуется суспензия практически нерастворимого хлорида серебра: $Ag^+ + Cl^- = AgCl \downarrow$. В качестве индикатора используется хромат калия, который реагирует с избытком нитрата серебра с образованием оранжево-бурого осадка хромата серебра: $2Ag^+ + CrO_4^{2-} = Ag_2CrO_4 \downarrow$ [4].

Качественное определение аммиака и ионов аммония. Метод определения массовой концентрации иона аммония является колориметрическим. Определение основано на реакции иона аммония с реактивом Несслера [4].

Нитраты. Визуально-колориметрический метод. Основан на предварительном восстановлении нитрат-иона до нитрит-иона цинковым восстановителем с последующим образованием азокрасителя в результате реакции с реактивом Грисса [4].

Нитриты. Определение основано на реакции нитрит-иона с реактивом Грисса [4].

Определение жесткости воды. Суммарное содержание солей кальция и магния называют общей жесткостью. Общая жесткость подразделяется на карбонатную, обусловленную концентрацией гидрокарбонатов (и карбонатов при $pH > 8,3$) солей кальция и магния, и некарбонатную – концентрацию в воде кальциевых и магниевых солей сильных кислот (хлоридов, сульфатов и пр.) [4].

Качественное определение свинца и других тяжелых металлов (по свинцу). Качественное определение свинца и других тяжелых металлов в исследуемых пробах производится визуальным методом – образование черного осадка PbS [4].

Качественное определение железа. Колориметрический метод. Определение основано на способности катиона железа (II) образовывать с ортофенантролином комплексное оранжево-красное соединение. При наличии в воде железа (III) оно восстанавливается до железа (II) солянокислым гидроксиламином в ацетатном буферном растворе [4].

Качественное определение сульфидов. Метод основан на реакции сероводорода и сульфидов с ионами свинца с образованием темного сульфида свинца: $S^{2-} + Pb^{2+} = PbS \downarrow$ [4].

Определение пленочной нефти. Обнаружение загрязнения водоемов пленочной нефтью проводят визуально-описательным методом [4].

Результаты исследований качества воды представлены в таблице.

Таблица

Качество проб воды, отобранных на территории полигона «Красный Бор»

Показатели	Проба 1 (до очистки) Внутренний кольцевой канал Красного Бора				Проба 2 (после очистки) Магистральный канал Красного Бора				ПДК, норматив для природных и других вод
	1	2	3	среднее	1	2	3	среднее	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гидрохимические показатели									
рН	5,7	6,0	5,6	5,8	8	7,5	7,5	7,7	6–9
Щелочность, мг.экв/дм ³	40	45	40	42	50	50	50	50	–
Кислотность	6	7	5	6	5,1 2	5	5	5,04	–
Растворенный кислород, мг/дм ³	7,6	7,2	7,6	7,5	5,2	5,3	5,3	5,3	4

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Перманганатная окисляемость, мг О/дм ³	4	8	5	5,7	4	4	4	4	5
Содержание сульфат-ионов, мг/дм ³	384	383	385	384	192	197	195	195	500
Содержание хлоридов, мг/дм ³	92,3	95	93,4	93,6	192	190	193	191,7	350
Содержание аммиака и ионов аммония, мг/дм ³	1,5	1,6	1,7	1,6	2,6	2,4	2,1	2,4	1,5
Содержание нитратов, мг/дм ³	5	5	5	5	15	15	15	15	45
Содержание нитритов, мг/дм ³	0,02	0,02	0,02	0,02	0,5	0,5	0,5	0,5	3,3
Определение Жесткость воды, ммоль-экв/дм ³	5	5	5	5	4	4	4	4	7
Содержание свинца и других тяжелых металлов (по свинцу), мг/дм ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
Содержание железа, мг/дм ³	0,1	0,1	0,2	0,1	0,7	0,5	0,5	0,6	0,3
Содержание сульфидов, мг/дм ³	0	0	0	0	0	0	0	0	–
Определение пленочной нефти, мг/дм ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3
Органолептические и физические показатели воды									
Запах	Гнилостный, слабой интенсивности			Болотный, очень слабой интенсивности			–		
Цветность, градусы	10			10			–		
Мутность/прозрачность, см	30			прозрачная			–		
Пенистость	–			–			–		
Температура	12			12			–		

На финальной защите «менделеевцы» представили результаты анализа проб воды участникам экспедиции, предположили причины полученных значений. Так, группа, исследующая пробы воды с каналов до и после локальных очистных сооружений полигона «Красный Бор», сделала вывод об относительной эффективности данных сооружений. Большинство показателей после прохождения нескольких стадий очистки воды соответствуют значениям ПДК или остаются в пределах близких к этим значениям, к примеру, рН очи-

щенной воды приближается к значениям нейтральной, уменьшаются значения перманганатной окисляемости. В 2 раза снижается количество сульфатов. Однако в пробах воды магистрального канала отмечено превышение ПДК по железу (основной причиной по данному показателю могут быть сроки использования металлических труб, по которым проходит очищенная вода), увеличивается (не превышающее значений ПДК) после очистки количество хлоридов. Понижается количество растворенного кислорода и увеличивается концентрация нитратов (причиной этого может быть деятельность микроорганизмов в застойной воде магистрального канала), возрастает количество аммиака и ионов аммония. Стоит отметить, что действующие локальные очистные сооружения носят временный характер и к 2025 году должны быть заменены на новые современные очистные системы. В случае замены некачественных труб и своевременном усовершенствовании технологий очистки сточных вод, над решением которых занимается Федеральный экологический оператор, можно будет говорить об эффективности локальных очистных сооружений полигона «Красный Бор».

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги», номер государственной регистрации в ЕГИСУ № 1220401000325.

Библиографический список

1. Официальный сайт ФГУП «ФЭО» [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosfeo.ru/> (дата обращения: 11.10.2022)
2. Официальный сайт Федерального государственного казённого учреждения «Дирекция по организации работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде, а также по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений полигона «Красный Бор» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.poligonkb.spb.ru> (дата обращения: 11.10.2022).
3. Ашимихина Т. Я. Школьный экологический мониторинг : учеб-метод, пособие для вузов / под ред. Т. Я. Ашимихиной. М. : АГАР, 2000. 387 с.
4. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки / под ред. А. Г. Муравьева. СПб. : «Крисмас+», 2011. 264 с.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ГОРОДА КАЗАНИ

*О. В. Никитин*¹, *В. З. Латыпова*^{1,2}, *Т. Я. Ашихмина*^{3,4}, *Р. С. Кузьмин*⁵,
*И. И. Харипов*¹, *Э. И. Насырова*¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, *olnova@mail.ru*

² Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, *ecoanrt@yandex.ru*

³ Вятский государственный университет, *ecolab2@gmail.com*

⁴ Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,

⁵ ООО «Экоаудит», *ecotexp@yandex.ru*

В работе обоснована методология и модифицирована методика пробоподготовки донных отложений водных объектов для количественного выделения частиц микропластика и его последующего определения в донных отложениях с погрешностью до 20%. С использованием предложенной методики впервые количественно оценено содержание микропластика в донных отложениях водных объектов города Казани (река Казанка и озеро Средний Кабан).

Ключевые слова: внутригородские водные объекты, донные отложения, микропластик, количество частиц, методика определения.

Одним из важнейших факторов, существенно влияющих на прогрессирующую деградацию внутригородских водных объектов, является качественное изменение твердого стока, поступающего с водосборной территории в водные объекты [1]. Эти изменения связаны в основном с большим количеством мелкодисперсных взвесей техногенного происхождения, в том числе мелкодисперсных частиц микропластика. Пластиковые отходы, претерпевающие процессы физико-химической, микробиологической, механической деградации, являются источником огромного количества микропластика в компонентах окружающей среды, в том числе в компонентах пресноводных экосистем (воде, донных отложениях, телах гидробионтов) [2, 3].

Крайне низка доля работ, посвящённых определению содержания микропластика в донных отложениях водных экосистем [4], особенно пресноводных [2]. Вместе с тем, в процессе миграции и седиментации микрочастицы скапливаются в донных отложениях, и информация об их среднем содержании в данном резервуаре может дать возможность выявления их опасности для бентосных организмов, ведущих процессы самоочищения водных экосистем. В связи с этим анализ используемых методик, их модификация и апробация методик оценки количества частиц микропластика в донных отложениях пресноводных экосистем представляет значительный интерес для создания базы достоверных данных по уровню содержания частиц микропластиков в

различных пресноводных матрицах и выявления их опасности для биотических компонентов водных экосистем.

Целью работы является проведение количественной оценки содержания микропластика в донных отложениях внутригородских водных объектов с использованием модифицированной в работе методики.

Объектом исследования стали донные отложения, отобранные во внутригородских водных объектах г. Казани: р. Казанка (Казанский залив Куйбышевского водохранилища) и озеро Средний Кабан, испытывающих наибольшее воздействие поверхностного стока с территории водосборов [1].

Донные отложения исследуемых водных объектов хорошо изучены [5, 6]. В структуре современных донных отложений Средний Кабан абсолютно доминируют серые илы [5]. Содержание пелитовой фракции ($< 0,01$ мм), определяющей тип отложений по гранулометрическому составу, в основном варьирует в пределах 30–60%. В структуре отложений Казанского залива Куйбышевского водохранилища доминирующее положение занимают глинистые илы [7].

Отбор проб донных отложений проводили в ходе мониторинга реки Казанки и озера Средний Кабан в октябре 2020 г., испытывающих воздействие поверхностных стоков с территории г. Казань с помощью коробчатого штангового дночерпателя Заболоцкого (поверхностный слой донных отложений глубиной приблизительно 30 см). Координаты точек отбора донных отложений приведены в таблице.

Определение содержания микропластика в исследуемых пробах донных отложений реки Казанки и озера Средний Кабан в районе выпуска поверхностных сточных вод с территории города Казань проводили, используя оптические методы обнаружения частиц, предварительно отделив пробу от самих частиц по модифицированной нами методике на основе работы [7].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программ Statistica 10.

Методология и методика оценки количества частиц микропластика в донных отложениях. Проведённый в работе сравнительный анализ и экспериментальная апробация используемых в литературе методик [8, 9] определения частиц микропластика в донных отложениях выявили отсутствие детализации методики проведения опытов на каждом из этапов, а многочисленные попытки извлечения микропластика по данным методикам – низкую воспроизводимость количественной оценки частиц микропластика.

В качестве основы методологии оценки содержания микропластика в донных отложениях были выбраны конкретизация всех этапов процедуры выделения частиц микропластика из гетерогенной среды и поиск подходов, состоящих в выборе параметров, условий и технических приёмов, способствующих поэтапному снижению погрешности на каждом из всех этапов процесса в ходе пробоподготовки.

Обоснованная в работе методика оценки количества частиц микропластика (в диапазоне 0,1–0,3 мм) в донных отложениях пресноводных экоси-

стем включает следующие стадии: 1) Высушивание пробы донных отложений до воздушно-сухого состояния. 2) Приготовление водной суспензии донных отложений (1:4) и перенос в делительную воронку. 3) Плотностное разделение гетерогенной среды с использованием раствора NaCl с плотностью 1200 мг/л с целью отделения от пробы неорганической фракции в делительной воронке. 4) Фильтрация жидкой фазы из делительной воронки сито при постоянной температуре. 5) Удаление органической фазы из взвешенного вещества на сите путём его разложения смесью кислот в условиях контролируемого температурного режима в автоматической водяной бане. 6) Микроскопический анализ оставшихся частиц микропластика на поверхности сита.

Специальными опытами по анализу проб донных отложений на количественное содержание частиц микропластика в 3-х кратной повторности по предлагаемой методике было показано, что погрешность результата измерения не превышает 20%.

Апробация методики. Предложенная методика определения частиц микропластика в донных отложениях пресноводных экосистем опробована на примере донных отложений внутригородских водных объектов. Экспериментальные результаты количественной оценки содержания частиц микропластика в исследованных объектах приведено в таблице.

Таблица

**Содержание частиц микропластика в донных отложениях
внутригородских водных объектов города Казань**

Объект исследования	Местоположение точек отбора донных отложений и их координаты	Содержание частиц микропластика в донных отложениях (частиц/кг сухого веса)
Река Казанка	Третья транспортная дамба (левый берег), 55°49'26,4"N 49°10'06,8"E	7,3±1
	Кировская дамба (правый берег), 55°47'52,8"N 49°04'39,2"E	4,0±1
	Кировская дамба (левый берег), 55°47'52,0"N 49°04'43,7"E	11,0±2
Озеро Средний Кабан	Выпуск ливневых стоков на озере Средний Кабан, 55°45'21,1"N 49°08'35,6"E	10,0±2

Впервые на основе полевых и лабораторных экспериментальных исследований выявлено наличие микропластика в донных отложениях внутригородских водных объектов города Казани в количествах до 11 частиц/кг. Можно отметить, что найденное количество частиц микропластика меньше значений, которые можно было бы ожидать, учитывая оценённое ранее их содержание в водной толще исследуемых объектов (60–350 частиц/м³ [10]), но в целом соответствует порядку значений, известных из литературы [11–14].

На конечный результат измерений количества частиц микропластика в донных отложениях могут влиять прямые факторы, связанные с составом

микропластика (в донных отложениях в первую очередь депонируются более тяжёлые виды полимерных материалов). Удельная плотность большинства пластиков находится в пределах от 0,8 до 1,7 г/см³ (максимальный диапазон – от < 0,05 г/см³ (пенополистирол) вплоть до 2,1–2,3 г/см³ (политетрафторэтилен / тефлон) [7]). Могут влиять и косвенные факторы, связанные с морфологией частиц, с гидрологическими характеристиками (более мелкие и легкие частицы имеют меньшую скорость оседания в прибрежье водных объектов, легче сносятся течением) и процедурой пробоподготовки, в процессе которой, для плотностного разделения, чаще всего используют растворы солей NaCl (1,2 г/см³), NaBr (1,4 г/см³), NaI (1,6 г/см³), ZnCl₂ (1,7 г/см³) [6], что может найти отражение в составе и количестве обнаруживаемых частиц. Также на конечный результат измерений могут влиять размерные характеристики частиц, выявляемые в ходе анализа, т.к. доля той или иной фракции в донных отложениях может быть различной [15].

В работе обоснована и экспериментально опробована методология исследования микропластика в пресноводных экосистемах. Предложена методика, позволяющая определять в донных отложениях пресноводных экосистем количество частиц микропластика размером от 0,1 до 0,3 мм с погрешностью до 20%. Впервые на основе полевых и лабораторных экспериментальных исследований оценено содержание частиц микропластика (от 4 до 11 частиц/кг) в донных отложениях реки Казанки и озера Средний Кабан, испытывающих воздействие поверхностных стоков с урбанизированной территории.

Библиографический список

1. Нагрузка ливневого стока на поверхностные воды внутригородского водотока / Р. Н. Сабанаев, О. В. Никитин, В. З. Латыпова, Н. Ю. Степанова, Д. Е. Лукоянов, О. Г. Яковлева, А. Т. Горшкова, Р. М. Сафиуллин // Вестник технологического университета. 2016. № 19. С. 157–160.
2. Микроскопические частицы синтетических полимеров в пресноводных экосистемах: изученность и современное состояние / О. В. Никитин, В. З. Латыпова, Т. Я. Ашихмина, Р. С. Кузьмин, Э. И. Насырова, И. И. Харипов // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 241–249. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-242-249
3. Кочуров Б. И., Блинова Э. А. Оценка экологических последствий использования полимерных изделий // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 210–215. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-210-215
4. Хансен Р. А., Гросс А. Определение микропластика в прибрежных отложениях моря Каттегат (Дания) // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 75–82. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-075-082
5. Иванов Д. В. Донные отложения озера Средний Кабан города Казани // Георесурсы. 2012. № 7 (49). С. 18–23.
6. Мониторинг донных отложений нижнего течения реки Казанка / Д. В. Иванов, Р. Р. Шагидуллин, И. И. Зиганшин, Э. Е. Паймикина, А. А. Марасов, В. В. Маланин, Р. Р. Хасанов, Л. К. Мустафина // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 2. С. 11–16.
7. Казмирук В. Д. Микропластик в окружающей среде: нарастающая проблема планетарного масштаба. М. : Изд-во Ленанд, 2020. 432 с.

8. Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива / Ш. Р. Поздняков, Е. В. Иванова, А. В. Гузева, Е. П. Шалунова, К. Д. Мартинсон, Тихонова Д. А. // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 4. С. 411–420. doi: 10.31857/S0321059620040148
9. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов / М. Б. Зобков, Е. Е. Есюкова // Океанология. 2018. № 1. С. 149–157. doi: 10.7868/S0030157418010148
10. Гранулометрический состав и содержание микроскопических частиц синтетических полимеров в пресноводных экосистемах / О. В. Никитин, В. З. Латыпова, Т. Я. Ашихмина, Р. С. Кузьмин, Э. И. Насырова, И. И. Харипов, Л. М. Миннегулова // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2020. С. 62–67.
11. Сибирцова Е. Н., Темных А. В., Силаков М. И. Контроль микропластикового загрязнения донных отложений рекреационных зон Севастопольского региона // Системы контроля окружающей среды. 2021. № 4 (46). С. 91–101. doi: 10.33075/2220-5861-2021-4-91-101
12. The distribution of microplastics in water, sediment, and fish of the Dafeng River, a remote river in China / S. Liu, H. Chen, J. Wang, L. Su, X. Wang, J. Zhu, W. Lan // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2021. Vol. 228. 113009. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.113009
13. Microplastics in freshwater sediment: A review on methods, occurrence, and sources / L. Yang, Y. Zhang, S. Kang, Z. Wang, C. Wu // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 754. 141948. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141948
14. Микропластик в воде и донных отложениях Мешинского залива / Л. С. Кузьмин, К. А. Шевчук, А. Р. Гайсин, Н. Ю. Степанова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 260–263.
15. Содержание микропластика в абиотических и биотических компонентах Мешинского залива (Республика Татарстан) / Н. Ю. Степанова, К. А. Шевчук, Л. С. Кузьмин, А. Р. Гайсин // MicroPlasticsEnvironment–2022 (МРЕ–2022) : материалы I Всерос. конф. с междунар. участием по загрязнению окружающей среды микропластиком / под общ. ред. Ю. А. Франк. Томск : Изд-во Томского государственного университета, 2022. С. 38–42.

УСТАНОВЛЕНИЕ МАСШТАБОВ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ПРОМПОЩАДКИ БЫВШЕГО ЗАВОДА «ВОСТСИБЭЛЕМЕНТ» НА ОБЪЕКТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

О. Л. Качор, А. В. Паршин, В. В. Трусова, А. В. Курина
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
olgakachor@geo.istu.edu

В статье представлены исследования по установлению масштабов влияния выявленного объекта накопленного вреда – промплощадки бывшего завода «Востсибэлемент» на различные объекты окружающей среды города Свирск. Представлены карты коэффициентов контрастности свинца в снежном фильтрате. Установлено накопление свинца и мышьяка в растительности и донных отложениях.

Ключевые слова: экологический мониторинг, накопленный вред, снего-геохимическая съемка, загрязнение, биотестирование, Прибайкалье.

В 2021 г. в рамках научно-исследовательских работ и летней учебной практики студентов нами был выявлен объект накопленного вреда окружающей среде в г. Свирск Иркутской области [1]. Это заброшенная промплощадка завода Востсибэлемент, в течение 60 лет (до конца 90-х г.) выпускавшего аккумуляторы для военных и гражданских нужд. Исследуемый объект площадью 35 га находится в черте города и в 5 метрах от береговой линии реки Ангары. Летом 2021 г. нами была проведена детальная (375 проб) геохимическая съемка, позволившая установить максимальные валовые содержания загрязняющих веществ и выявить приоритетные токсиканты [2]. Также нами был установлен класс опасности некоторых наиболее представительных проб отходов промплощадки и техногенного грунта, который по валовому содержанию загрязняющих веществ характеризуется как отход. Биотестирование показало наличие проб IV, III и II классов опасности, что привело к необходимости более масштабного изучения территории, подверженной влиянию объекта накопленного вреда [1].

В 2022 г. исследование объекта было продолжено. В феврале была проведена снегогеохимическая съемка по всему городу Свирск для изучения загрязнения атмосферного воздуха. В городской черте были отобраны 44 пробы снега (рис. 1), две фоновые точки были отобраны на значительном удалении от города. Пробы были отфильтрованы, и фильтрат проанализирован методом ИСП-МС для установления содержания тяжелых металлов по обычной методике [3].



Рис. 1. Схема отбора проб снега: ● – пункты пробоотбора; ● – социально-значимые объекты; □ – границы промплощадки

На основании полученных результатов количественного химического анализа были построены карты распределения загрязняющих веществ в снежном покрове города Свирск – в виде абсолютных значений и в виде карт коэффициентов контрастности аномалий по отношению к фону [4]. На рисунке 2 представлена карта распределения свинца в фильтрате снежных проб.

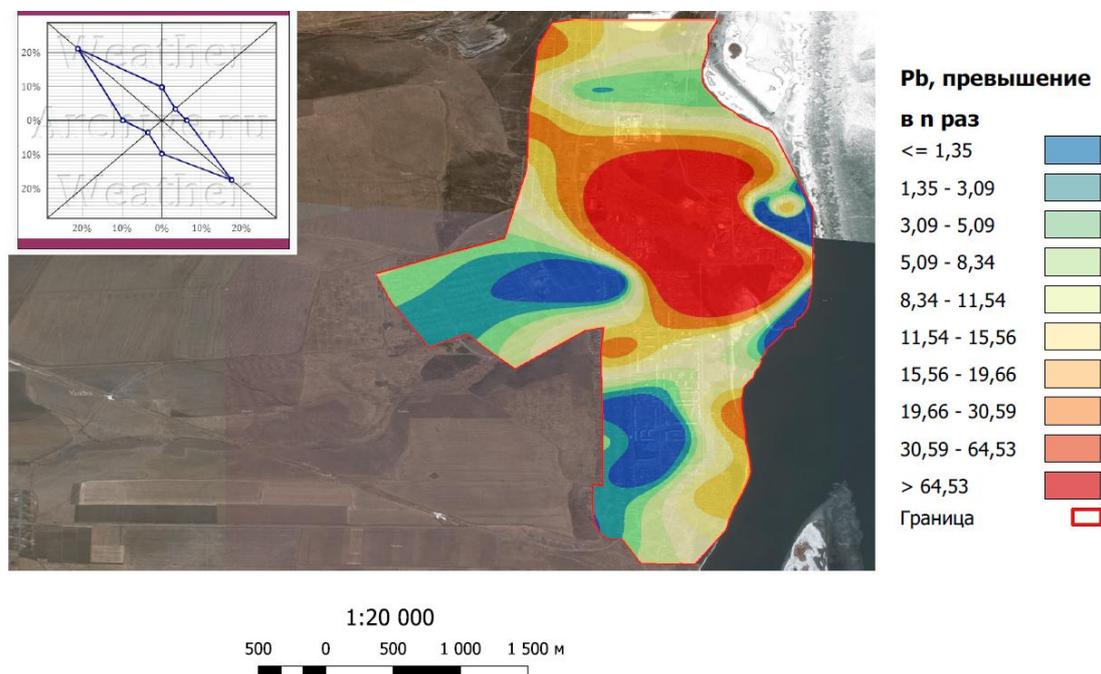


Рис. 2. Карта коэффициента контрастности (по фону) свинца в снежном фильтрате

Из рисунка 2 видно, что ореолы загрязнения свинцом соответствуют преобладающему в холодный период года направлению ветра, начинаясь на территории промплощадки бывшего завода и распространяясь в северо-западном направлении. При этом зафиксировано максимальное превышение фоновых значений более чем в 64 раза. В этой зоне расположены территории садоводств, частный сектор и производственные площадки.

В летний период с целью установления масштабов миграции загрязняющих веществ были отобраны пробы растительности на территории завода, и пробы донных отложений.

Количественный химический анализ листвы, отобранной с территории промплощадки, показал значительное превышение (в сотни раз) по свинцу и мышьяку по сравнению с содержанием этих элементов в листве с экологически чистых районов.

Пробы донных отложений были отобраны в р. Ангара выше по течению относительно уровня бывшего завода, в непосредственной близости к нему, а также ниже по течению. Так выше по течению выявлены лишь незначительные превышения по мышьяку. В донных отложениях, отобранных в реке рядом с заводом, уже начинает появляться небольшое превышение по обоим параметрам. Пробы, отобранные ниже по течению, уже имеют превышения ПДК по свинцу и мышьяку в десятки раз.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено влияние промплощадки бывшего завода ВСЭ на загрязнение атмосферного воздуха в городе Свирск на основании снегогеохимической съемки. В большей части города выявлено превышение содержания свинца в фильтрате снежных проб относительно фоновых участков. Кроме того, установлены значимые превышения свинца и мышьяка в листве на территории бывшей промплощадки завода, что является существенным показанием к закрытию для проникновения туда, например, домашнего скота. Также значительные содержания свинца и мышьяка обнаружены в донных отложениях р. Ангары ниже по течению относительно места расположения бывшей промплощадки. Учитывая высокую скорость течения реки на данном ее участке, это свидетельствует о длительном масштабном накоплении токсикантов, а также о вероятной их аккумуляции на геохимических барьерах ниже по течению реки.

Библиографический список

1. Качор О. Л., Паршин А. В. Опыт комплексирования наземных методов и маловысотных дистанционных зондирований для экспресс-оценки геоэкологического состояния техногенно нарушенных территорий // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 211–216.

2. Распределение содержания свинца и формы его соединений в техногенной почве г. Свирска (Южное Прибайкалье) / Б. А. Баенгуев, Г. А. Белоголова, Е. В. Чупарина, С. Н. Просекин, П. Г. Долгих, М. В. Пастухов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 8. С. 205–214. doi: 10.18799/24131830/2022/8/3670

3. Филимонова Л. М., Паршин А. В., Бычинский В. А. Оценка загрязнения атмосферы в районе алюминиевого производства методом геохимической съемки снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 75–84.

4. Холодова М. С., Пастухов М. В., Полетаева В. И. Особенности минерально-вещественного состава твердофазных выпадений снегового покрова территории г. Свирска // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 4 (57). С. 109–118. doi: 10.21285/0130-108X-2016-57-4-109-118

ОЦЕНОЧНЫЕ КРИТЕРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ АНАЛИЗЕ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ТЭЦ-1 г. ЙОШКАР-ОЛЫ

Т. Н. Ефимова, Т. Е. Шведова
Поволжский государственный технологический университет,
ShvedovaTE@volgatech.net

В статье рассматривается влияние городской ТЭЦ на различные компоненты природной среды. Выделены и проанализированы экологические риски данного предприятия, проведена оценка вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: загрязнения окружающей среды, загрязняющие вещества, экологические риски.

МУП «Йошкар-Олинская ТЭЦ-1» обеспечивает население г. Йошкар-Олы тепловой и электрической энергией. Для того чтобы оценить воздействие выбросов загрязняющих веществ ТЭЦ-1 на природную среду, была проведена комплексная оценка воздействия. Определение пространственного масштаба воздействий проводится на анализе технических решений, математического моделирования, или на основании экспертных оценок по баллам, представленным в таблицах 1–5.

Воздействие на качество атмосферного воздуха представлено в таблице 1.

Таблица 1

Комплексная оценка и значимость воздействия на атмосферный воздух

Компоненты природной среды	Источник и вид воздействия	Пространственный масштаб	Временной масштаб	Интенсивность воздействия	Комплексная оценка	Категория значимости
Атмосферный воздух	влияние выбросов на образование фотохимического смога	ограниченное (2)	продолжительное (3)	незначительное (1)	6	низкая
	влияние выбросов на образование кислотных дождей	ограниченное (2)	средняя продолжительность (2)	умеренное (3)	12	средняя
	влияние выбросов на качество атмосферного воздуха	ограниченное (2)	продолжительное (3)	слабое (2)	12	средняя

Воздействие ТЭЦ на атмосферный воздух имеет широкий диапазон.

Необходимо проведение мероприятий по снижению количества выбросов, при этом требуются пылеулавливающие установки.

Также была проведена оценка воздействия выбросов загрязняющих веществ ТЭЦ-1 на качество почвы, результаты представлены в таблице 2.

При комплексной (интегральной) оценке воздействия выбросов загрязняющих веществ на почву, было выявлено, что изменения в природной среде превышают пределы природной изменчивости, но природная среда полностью самовосстанавливается. Так как воздействие низкое, то имеет место ситуация, когда последствия испытываются, но величина воздействия настолько низка, что находится в пределах предельно допустимой концентрации.

Третьим компонентом для оценки воздействия выбросов был ландшафт. Воздействие на качество ландшафта представлено в таблице 3.

Таблица 2

Комплексная оценка и значимость воздействия на почву

Компоненты природной среды	Источник и вид воздействия	Пространственный масштаб	Временной масштаб	Интенсивность воздействия	Комплексная оценка	Категория значимости
Почва	повышение кислотности	ограниченное (2)	средняя продолжительность (2)	умеренное (3)	12	средняя
	нарушение биологического равновесия	локальное (1)	средняя продолжительность (2)	умеренное (3)	6	низкая
	повреждающее воздействие на объекты биоты	локальное (1)	средняя продолжительность (2)	слабое (2)	4	низкая

Таблица 3

Комплексная оценка и значимость воздействия на ландшафт

Компоненты природной среды	Источник и вид воздействия	Пространственный масштаб	Временной масштаб	Интенсивность воздействия	Комплексная оценка	Категория значимости
Ландшафт	деформация поверхности, изменение рельефа	локальное (1)	кратковременное (1)	слабое (2)	2	низкая
	сокращение численности видов растительности, биоразнообразия	ограниченное(2)	средняя продолжительность (2)	слабое (2)	6	низкая
	разрушение хлорофилла, повреждение листьев и хвои	локальное (1)	кратковременное (1)	слабое (2)	2	низкая

Проведя оценку воздействия и рассчитав оценку воздействия на ландшафт, видно, что интенсивность воздействия загрязняющих веществ слабая и природная среда полностью самовосстанавливается. Последствия, которые испытываются ландшафтом вблизи территории низкие, поэтому величина воздействия – в пределах допустимых стандартов.

Таким образом, проведя интегральную оценку воздействия выбросов загрязняющих веществ на три компонента природной среды можно сделать вывод, что предприятие ТЭЦ-1 имеет незначительное влияние.

Согласно критериям отнесения деятельности субъектов электроэнергетики, осуществляющих производство электрической и тепловой энергии на тепловых электрических станциях, к категориям риска, ТЭЦ с установленной мощностью в диапазоне от 150 до 500 МВт относятся ко 2 категории риска, а именно значительной.

МУП «Йошкар-Олинская ТЭЦ-1» в своем составе имеет ТЭЦ тепловой мощностью – 344 Гкал/час и согласно приказу № 97 относится ко 2 категории.

Согласно классификации условий экологической безопасности региона в зависимости от уровня экологического риска приведенной в таблице 4, уровень экологического риска за год от ТЭЦ-1 меньше 10^{-6} .

Таблица 4

Классификация условий экологической безопасности

Категория	Уровень экологического риска в год	Общая оценка условий экологической безопасности
I	$< 10^{-8}$	Условия экологического благополучия
II	$< 10^{-6}$	Удовлетворительные условия. Состояние нормы. Техногенное воздействие на ОС не превышает допустимых нагрузок
III	$10^{-5} - 10^{-3}$	Неудовлетворительные условия. Техногенное воздействие на ОС нарушает ее устойчивость. Появляются и развиваются тенденции деградации биоты
IV	$10^{-3} - 10^{-2}$	Плохие условия. Идет деградация биоты. Аномальная заболеваемость и смертность в отдельных половозрастных группах населения. Возникновение социальной напряженности
V	$> 10^{-2}$	Состояние экологического бедствия. Биота не восстанавливается или восстанавливается за период жизни нескольких поколений. Повсеместное ухудшение здоровья всех половозрастных групп населения. Аномальная смертность населения, тенденция вымирания

Исходя из представленной классификации видно, что у предприятия по оценке экологической безопасности удовлетворительные условия, что говорит о том, что состояние природной среды вблизи территории предприятия находится в норме. Используя данные уровня экологического риска предприятия ТЭЦ-1 и оценку воздействия на компоненты природной среды, была создана матрица экологического риска. С помощью матрицы экологического риска, представленной в таблице 5, определяется вероятность аварии и уровень экологического риска.

Матрица экологического риска

Значимость в баллах	Последствия (воздействия на окружающую среду) в баллах			Уровень воздействия на окружающую среду	Частота аварий (число случаев в год)					
	Компоненты природной среды				< 10 ⁻⁶	> 10 ⁻⁶ по < 10 ⁻⁴	>10 ⁻⁴ по < 10 ⁻³	>10 ⁻³ по < 10 ⁻¹	> 10 ⁻¹ по < 1	> 1
	атмосферный воздух	почва	ландшафт		практически невозможная	редкая	маловероятная	случайная	вероятная	частая
1–8	v	v	v	незначительное						
9–27	v	v		невысокое						
27–64				местное						
				значительное						
				сильное						

В таблице 5 серым цветом выделена область низкого (приемлемого) риска, белым – область среднего риска, обязательны мероприятия по сокращению риска. Темно-серым цветом выделена область высокого (неприемлемого) риска.

Как видно из матрицы, уровень воздействия предприятия на окружающую среду имеет в основном незначительное влияние и невысокое. По частоте возможных аварий на предприятии, ТЭЦ-1 относится к предприятиям с практически невозможными авариями.

Результаты говорят о том, что деятельность предприятия безопасна для природной среды города Йошкар-Олы и объектов, находящихся рядом с предприятием. Самая большая опасность на территории ТЭЦ – это возникновение пожара. Возгорания на энергетических объектах требуют неотложной помощи и ликвидации. Опасен пожар на ТЭЦ по следующим причинам:

- огонь распространяется очень быстро, переходя на соседние здания и конструкции;
- при воспламенениях кабелей, шахт, топлива выделяются токсичные продукты горения;
- возникает опасность выделения радиации;
- есть угроза обрушения конструкций и несущих элементов;
- горят объекты под высоким напряжением;
- при взаимодействии горящих веществ с кислородом, водородом или другими материалами возможен взрыв с большим выделением энергии.

Последствия пожара на ТЭЦ могут быть критическими. Если вовремя предупредить возгорания, можно обезопасить себя и население от взрыва и выброса токсичных горючих веществ. Для предотвращения этого проводят каждые три месяца противопожарные учения и проработку возможных ситуаций, связанных с риском возникновения аварий.

За последние годы на предприятии не были зафиксированы техногенные аварии и катастрофы, которые могли бы оказать негативное воздействие на окружающую среду.

Библиографический список

1. Ваганов П. А., Ман-Сунг Им. Экологические риски : учебное пособие. Изд-е 2-е. СПб. : СПбГУ, 2001. 152 с.
2. Оценка экологического риска. Аналитический обзор публикаций [Электронный ресурс]. – URL: <https://narfu.ru/upload/iblock/cfb/11.pdf> (дата обращения: 30.10.2022).
3. Официальный сайт МУП «Йошкар-Олинская ТЭЦ-1» [Электронный ресурс]. – URL: <https://yolatec1.ru> (дата обращения: 30.10.2022).
4. Новиков Ю. В. Экология, окружающая среда и человек. М. : ФАИР-ПРЕСС, 2005. 735 с.
5. Хохлов Н. В. Управление риском. М. : «Юнити-Дана», 2001. 239 с.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ДОБЫЧЕ НЕРУДНОГО ИНДУСТРИАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Е. О. Измайлова

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
kat191289@mail.ru*

В статье рассмотрено воздействие на окружающую среду предприятий по добыче нерудных полезных ископаемых – щебня, гравия, скальника. Представлены объёмы выбросов вредных веществ в атмосферный воздух, влияние на отдельные компоненты окружающей среды.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, выбросы, негативное воздействие.

Горнодобывающее производство является одной из крупнейших отраслей народного хозяйства. Кроме энергетической отрасли, цветной и черной металлургии, добычи драгоценных полезных ископаемых в горнодобывающей промышленности одно из основных направлений занимает добыча и переработка нерудных строительных материалов [1, 2]. Воздействие на окружающую среду при разработке месторождений такого типа карьеров проявляется в следующем:

- изъятие природных ресурсов (земельных, водных);
- загрязнение воздушного бассейна выбросами взвешенных веществ;
- шумовое воздействие;

- изменение рельефа территории;
- загрязнение территории землеотвода образующимися отходами и сточными водами;
- изменение социальных условий жизни населения [3].

Рассмотрим воздействие на окружающую среду при добыче нерудных полезных ископаемых на примере предприятия ООО «Строительные решения».

Предприятие ООО «Строительные решения» занимается добычей и переработкой общераспространенных полезных ископаемых, а именно – гравия, щебня и т.п. Добыча данных строительных материалов производится на месторождении «Таксиминское». Таксиминское месторождение габбро-диоритов расположено в Муйском районе Республики Бурятия, в 36 км западнее поселка Таксимо и в 7 км на северо-запад от станции Улан-Макит.

Негативное воздействие на окружающую природную среду на исследуемом объекте оказывается земляными работами, буровзрывными работами, выбросами пыли и отработанных газов горных машин и механизмов, загрязнением атмосферы и недр. Источники выбросов при разработке Таксиминского месторождения малочисленны и рассредоточены по площади карьера и вдоль автодорог, расстояние между ними достигает от 100–200 м. Самые значительные вклады в загрязнение атмосферы вносят источники выделений: буровзрывные работы, экскаватор, бульдозер, автосамосвалы.

Объёмы вредных веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух, представлены в таблице.

Таблица

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Структурное подразделение (площадка, цех или другое)	Источник		Наименование загрязняющего вещества	ПДВ, т/с	Фактический выброс, т/с	Превышение ПДВ или временно согласованного выброса, раз
	№	Наименование				
1	2	3	4	5	6	7
Карьер добычи габбро-диоритов Таксиминского месторождения	6001	Буровые работы	Пыль неорганическая: до 20%, 70–20%, более 70% SiO ₂	0,1613733	0,06551756	0,406
	6002	Буровые работы		0,007296	0,002952176	0,406
	6003	Взрывные работы		250	101,5	0,406
	6004	Бульдозер на добыче		0,5901168	0,239587	0,406
	6005	Добычные работы		1,99584	0,81031104	0,406
	6006	Транспортировка на базу		0,1702	0,0691012	0,406
	6007	Отвал ПРС		0,8125	0,329875	0,406

1	2	3	4	5	6	7
Карьер добычи габбро-диоритов Таксиминского месторождения	6008	Отвал вскрышных пород	Пыль неорганическая: до 20%, 70–20%, более 70% SiO ₂	1,4194	0,5762764	0,406
	6009	Склад магматических пород	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	0,0060513	0,002456828	0,406
	6003	Взрывные работы	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	5,973333	2,425173	0,406
			Углерод оксид	27,5	11,165	0,406

Сильнее выражено воздействие горных работ на земельные ресурсы. Производственная деятельность на Таксиминском месторождении характеризуется большой землеёмкостью. Горные работы приводят к негативным последствиям для природного ландшафта с появлением техногенного рельефа, который характеризуется наличием выработок, искусственных насыпей, инженерных сооружений и обваловок. Все это приводит к полной ликвидации растительности, изменению уровня грунтовых вод, перемешиванию литологических слоев рыхлых отложений, сегрегации пород по крупности.

Добыча щебня, гравия на рассматриваемом месторождении оказывает многостороннее воздействие на окружающую среду, однако наибольший вред наносится речной сети. Это выражается в основном в загрязнении воды твердыми тонкодисперсными частицами – взвесями. Взвешенные вещества являются причиной снижения содержания в воде растворенного кислорода, определяющего условия жизнедеятельности водных организмов.

На основании анализа данных о характере воздействия добычи нерудных строительных материалов на окружающую среду на примере Таксиминского месторождения нами был разработан ряд мероприятий и предложений по минимизации экологического ущерба окружающей среде:

- уменьшение количества пылевого загрязнения путем орошения безопасными для окружающей среды пылеподавателями;
- проезд транспортных средств по обусловленным маршрутам;
- аккумуляция ливневых стоков промышленных площадок;
- рекультивация нарушенных земель;
- организация мониторинга за состоянием почв, атмосферы и водных ресурсов;
- автоматизация производственных процессов;
- оптимальный вариант наземных сооружений и объектов;
- шумоизоляционные ограждения – посадка насаждений.

Предложенные рекомендации подразумевают улучшение качества окружающей среды на рассматриваемой территории – уменьшение пылевой нагрузки, минимизация возникновения аварийных ситуаций. Рекультивация нарушенных земель позволит увеличить плодородность почв на нарушенных территориях, а организация хозяйственно-бытовой и дождевой канализации позволит избежать загрязнения почвы тяжелыми металлами и бытовыми отходами; рациональное использование недр позволит избежать истощения природных ресурсов. Насаждение лесополосы будет преградой для распространения производственного шума, а также озеленение территории будет дополнительной очисткой воздуха.

Рассмотренный нами объект характеризуется как малоопасный для окружающей среды. Добыча нерудных строительных материалов на магматическом месторождении должна регламентироваться нормами рационального природопользования. Соблюдение условий и параметров по землепользования, недопущение аварийных ситуаций, сокращение расхода карьерных вод, защита отвалов от размыва талыми и дождевыми водами, недопустимость попадания карьерных вод в речную сеть, а нефтепродуктов – в почву и в водоемы позволят минимизировать негативное воздействие на окружающую среду на данной территории.

Библиографический список

1. Федеральный закон «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха» от 26.07.2019 № 195-ФЗ (с изменениями на 26 марта 2022 года) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/560761948> (дата обращения: 05.11.2022).
2. Грабовый П. Г. Экологические аспекты обоснования производственных решений по добыче и переработке каменных пород для предприятий стройиндустрии // Недвижимость: экономика, управление. 2020. № 1. С. 15–19.
3. Григорович М. Б., Немировская М. Г. Месторождения минерального сырья для промышленности строительных материалов. М. : Недра, 2017. 145 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЫБОРА ТРАССЫ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «СИЛА СИБИРИ» В РАЙОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Ю. В. Бондаренко, В. А. Домрачева

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
uvbond@mail.ru*

В статье представлены сведения об экологической безопасности газотранспортной системы, а также дана экономическая оценка выбору трассы магистрального газопровода «Сила Сибири» в районе озера Байкал. Проведен сравнительный анализ действующей газотранспортной системы, проходящей по дну Керченского пролива и ГТС «Сила Сибири» в районе озера «Байкал».

Ключевые слова: газопровод «Сила Сибири», газотранспортная система (ГТС), республика Бурятия, Иркутская область, Кяхта, Тункинская долина, особо охраняемая природная территория, озеро Байкал.

Россия является ведущей мировой газовой державой, крупнейшей как по запасам газа, так и по объемам его добычи [1]. Трубопроводный транспорт занимает особое место в единой транспортной системе Российской Федерации [2]. На сегодняшний день практически весь объем добываемого газа транспортируется по системе магистральных газопроводов, которые, в свою очередь, могут представлять опасность для окружающей среды. Магистральные трубопроводы имеют большую протяженность, они практически пересекают все природно-климатические пояса и регионы. В этой связи экологическую безопасность стоит рассматривать, как социоприродную и научно-обоснованную реальность, которая является объектом исследования разных областей наук (естественных, социальных, юридических и др.) и охватывает сложный комплекс взаимосвязей человека с окружающей природной средой. Экологическую безопасность можно считать неким допустимым уровнем негативного воздействия природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

Газ является одним из основных видов топлива, которое применяется во многих сферах. Поиск месторождений, добыча, транспортировка топлива неразрывно связаны с ущербом, который наносится окружающей природной среде [3].

Строительство газовых объектов приводит к целому ряду проблем:

- ухудшению состояния почвенного покрова в местах проведения работ;
- нарушению естественного рельефа;
- угнетению или уничтожению растений и животных;
- скоплению отходов, образующихся при строительстве;
- загрязнению выбросами техники;
- авариям на газопроводах и утечкам газа при испытаниях перед сдачей

объекта или в ходе эксплуатации.

Снижение воздействия на окружающую среду является ключевым фактором устойчивого развития газовой отрасли, ее конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности. Следует более подробно остановиться на тех мерах, которые сегодня предпринимаются для сведения к минимуму негативного воздействия на окружающую среду газотранспортной системы (ГТС) «Сила Сибири».

Как известно, ПАО «Газпром» внедряет в производство самые современные практики наилучших доступных и инновационных технологий по минимизации негативного воздействия и охране окружающей среды, уделяет пристальное внимание энергоэффективности и снижению углеродного следа продукции [4]. Эта работа ведется в партнерстве с заинтересованными сторонами – государственными органами, ведущими научными институтами, насе-

лением, работниками компании. Безопасная транспортировка газа является одной из приоритетных задач политики Газпрома.

Трассировка газопровода – это выбор его трассы – линии, определяющей направление газопровода в каждой ее точке. При трассировке выбирается возможный кратчайший путь транспортировки газа потребителям.

По территории Иркутской области был выбран следующий маршрут:

– с севера области – на юг через г. Зима и г. Саянск, где действуют и планируются крупные химические производства;

– г. Черемхово;

– территория Тункинского района Бурятии – Тункинская долина – до границы с Монголией;

– через Кяхтинский и Закаменский районы Бурятии – снова к российско-монгольской границе;

– предусматривается ответвление от магистрального газопровода для нужд республики Бурятия в районе посёлка Танхой. Газопровод планируется проложить по дну Байкала;

– пересечение границы в районе г. Кяхта (вторая ветка – для Монголии).

Однако, у научного сообщества экологов остро встал вопрос о возможности строительства газопровода по такому маршруту (по дну Байкала, Тункинской долине). Способен ли этот маршрут обеспечить максимальную безопасность для «Священного озера» и заповедных зон, окружающих его?

Следует отметить, что в основе выбора такого маршрута трассы лежит технико-экономическое обоснование.

Основными технико-экономическими преимуществами такой прокладки ГТС являются:

1. сокращение бюджета строительства на 80 млрд рублей;

2. реструктуризация и модернизация топливно-экономического комплекса республики Бурятия (по предварительным подсчетам на это необходимо более 300 млрд рублей);

3. причинно-следственной связью выбора такого маршрута является сокращение выбросов от угольных котельных в регионе. На данный момент во многих регионах показатели выбросов значительно превышают норму ПДК, изменить это возможно только модернизацией топливно-энергетического комплекса (ТЭК);

4. меньшее количество почвенно-растительных ресурсов пострадает от строительства и эксплуатации газопровода. Программа по сохранению окружающей среды при такой прокладке имеет бюджет 5 млрд рублей, против 13 млрд при наземной прокладке по суше;

5. наземная прокладка по суше делает трубопровод более уязвимым перед природными стихиями.

К минусам такой прокладки ГТС относят:

1. Более сложные технические решения по прокладке, удорожание компонентов системы, так как требуется еще большая надежность сети. По пред-

варительным подсчетам на это необходимо закладывать 20–30 млрд рублей, что делает выгоду от строительства уже не 80 млрд рублей, а 50–60 млрд рублей.

2. В случае прорыва трубы, количество газа в разы превысит содержание природных газогидратов в озере, что может с большой долей вероятности привести к экологической катастрофе.

3. Строительные работы по дну озера однозначно нанесут вред флоре и фауне озера Байкал, ущерб по подсчетам ученых может начинаться от нескольких млрд рублей, до полной невозможности спасти озеро, а это крупнейший источник пресной воды.

4. Сейсмичность региона и глубина озера, что делает опыт строительства по другим водным акваториям бесполезным.

5. Многие ученые, экологи считают, что острый вопрос с ТЭК в Бурятии необходимо решать другими методами, не сопряженными с такими рисками для природы.

6. Байкал – это ресурс знаний и научных возможностей. Биохимический состав живых организмов озера уникален [5]. К примеру, на панцире глубоководного рачка ученые из НИИ биологии ИГУ нашли уникальный антибиотик, который он вырабатывает, защищаясь от врагов.

7. Сложная экологическая обстановка в национальном парке «Тункинская долина».

8. Запрет на строительство по территории национального парка федеральным законом об особо охраняемых природных территориях.

Несмотря на уйму минусов, вопрос выбора трассы ГТС «Сила Сибири» скорее всего предрешен. Остается надеяться, что ПАО «Газпром» будет строить газопровод максимально надежно и экологично, чтобы ни в коей мере не нанести непоправимый вред природной среде Иркутской области и республики Бурятия.

Если строительство газопровода будет соответствовать разработанному плану, то уже к 2030 г. Бурятия может получить долгожданный газ, небо над регионом станет немного чище.

Сторонники выбранного маршрута газопровода сравнивают строительство «Силы Сибири» со строительством ГТС по дну Керченского пролива, как показано на рисунке.

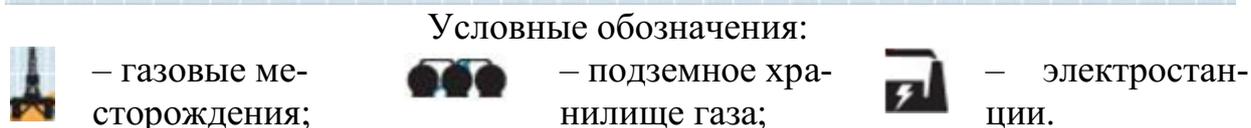


Рис. Схема газотранспортной системы, проходящей через Керченский пролив

Магистральный газопровод «Краснодарский край – Крым» начал функционировать в декабре 2016 г. с целью обеспечения топливом основных электростанций полуострова, расположенных в городах Симферополе и Севастополе. Газопровод призван обеспечить на должном уровне надежную и стабильную работу газотранспортной системы на Крымском полуострове, которая требует серьезной реконструкции в связи с малыми объемами добычи газа и использованием устаревших мощностей.

Газопровод в Крым проходит от станции «Южная» по дну Керченского пролива вначале до г. Симферополя, а затем – до г. Севастополя. Газопровод проходит по сложной местности, поэтому для его строительства потребовались трубы различного диаметра. Газопровод сочетает подземную и подводную прокладку. Проектирование газопровода осуществлялось с учетом одного важного момента – обеспечение защиты от сейсмоактивности в 7–9 баллов.

Газопровод протяженностью 400 км строился в три очереди:

I очередь – сухопутный участок длиной 1,2 км, пролегающий по территории Таманского полуострова;

II очередь – участок, проходящий через Керченский пролив, две ветки, протяженностью по 16 км;

III очередь – сухопутный участок, длиной около 20,4 км, пролегающий по территории Керченского полуострова.

Строительство газопровода осуществлялось ускоренными темпами. В октябре 2015 г. была произведена закупка 200 км труб, а весной 2016 г. газопровод в Крым уже был готов на 30%. В марте 2016 г. было завершено

утверждение всей необходимой документации по проекту Главгосэкспертизой РФ по участку «Кубань-Крым», а в мае – по крымской части газопровода. К сентябрю 2016 г. работы были уже сделаны на 90%. В ноябре 2016 г. Крым снова возобновил подачу газа в украинский Генчешек, который все это время испытывал газодefицит. Так как строительство газопровода было практически окончено, то было принято решение о возобновлении поставок. Окончание строительства и введение в эксплуатацию готового газопровода произошло 27 декабря 2016 г.

Финансирование проекта по строительству газопровода осуществлялось за счет средств государственного бюджета Российской Федерации. На реализацию потребовалось около 20 млрд руб., из них 14 млрд руб. были направлены на закупку материалов, необходимых для строительства и монтажа газопровода. Основная сложность данного строительства заключалась в сжатых сроках.

Стоит отметить, что обе рассматриваемые ГТС объединяют схожие проблемы:

- строительство на территории с сейсмичной активностью 6–9 баллов;
- наличие природоохранных территорий, парков;
- трассировка газопровода по земле, воде, наружным и подземным способами.

Несмотря на выше изложенные проблемы, ныне действующая ГТС, проходящая через Керченский пролив, доказала свое право на существование подобных проектов в столь сложных природных зонах.

Нынешняя экономическая и социальная ситуация в части Иркутской области и республики Бурятия безусловно не только накладывает свой отпечаток на ситуацию со строительством участка газопровода «Сила Сибири» в районе озера Байкал, но и диктует свои условия. И надо четко понимать, что полностью избежать нарушений, связанных с причинением вреда окружающей природной среде при современных методах освоения невозможно, поэтому главная задача состоит в том, чтобы свести к минимуму нежелательные последствия, применяя экологический подход, здраво оценивая всевозможные риски и рационально используя природные условия.

Таким образом, положительное решение проблем при строительстве ГТС, проходящей через Керченский пролив, может быть основанием для строительства участка газопровода «Сила Сибири» в районе озера Байкал в аналогичных природных условиях.

Библиографический список

1. Гриценко А. И., Аكوпова Г. С., Максимов В. М. Экология. Нефть и газ. М. : Наука, 1997. 598 с.
2. Шац М. М. Эколого-геокриологическая специфика проектируемого магистрального газопровода «Алтай» // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 2. С. 93–98. doi: 10.25750/1995-4301-2016-2-093-098
3. Влияние газовой промышленности на экологию. Особенности газодобычи и актуальность ущерба окружающей среды для России [Электронный ресурс]. – URL:

<https://greenologia.ru/eko-problemy/dobycha-gaza/gazovay-promyshlennost.html> (дата обращения: 28.09.2022).

4. Отчет о выполнении природоохранных мероприятий ПАО «Газпром» за 2020 год. СПб. : ООО «Корпоративный научно-технический центр экологической безопасности и энергоэффективности», 2021. 156 с.

5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году». Иркутск : ООО «Мегапринт», 2020. 314 с.

ОЦЕНКА ФОНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ПРИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИБАЙКАЛЬЯ

А. В. Ланько, А. В. Паршин, З. Л. Икрамов, И. А. Матюхин
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
lav@geo.istu.edu

В статье представлен анализ эффективности различных подходов к определению фоновых значений при геоэкологических исследованиях снежного покрова на территории города и его пригородов.

Ключевые слова: снежный покров, фоновые значения загрязнения снежного покрова, геохимические аномалии.

Поступление большого количества химических веществ в окружающую среду в результате деятельности человека вызвало увеличение концентрации многих элементов в поверхностных водах, отложениях и почвах, особенно в промышленных районах. Изучение этих аномалий, называемых «антропогенными аномалиями», стало неотъемлемой частью геохимических и экологических исследований.

Формирование техногенных геохимических аномалий в различных компонентах городского ландшафта отражает главную геохимическую особенность промышленного, транспортного и муниципального воздействия на среду города. Контрастность и пространственное положение этих аномалий зависит от сочетания функциональной структуры города, определяющей характер и уровень техногенного воздействия на среду, и ландшафтно-геохимических условий, дифференцирующих это воздействие. Очень трудно точно разграничить антропогенные и природные уровни загрязнения окружающей среды ведь единой классификации источников поступления аэрозольных частиц в снеговой покров не существует. Поскольку окружающая среда представляет собой сложное сочетание природных и антропогенных элементов, то для выявления техногенных геохимических аномалий в исследуемой городской среде изначально необходимо провести оценку природного геохимического фона территории.

Одним из эффективных подходов к оценке качества атмосферного воздуха в регионах с устойчивой зимой является снегогеохимическая съемка.

Так, на территории юга Иркутской области (Прибайкалье), относящейся к уникальным природным объектам и при том подверженной интенсивной хозяйственной деятельности, снежный покров сохраняется в течение 4–5 месяцев, что позволяет использовать его в качестве индикатора атмосферного загрязнения. В нашем исследовании для изучения снежного покрова в марте 2021 г. были отобраны 95 проб сезонного снега (СЗН). Выполнен ИСР-MS-анализ на 61 химический элемент, а также произведены измерения рН и электропроводности талой воды. На основе этих данных было необходимо выделить значимые аномалии и установить их природу и источник.

Существует несколько способов определения геохимического фона. Первый заключается в выборе фоновой точки, находящейся вне зоны влияния загрязняющих источников. Второй способ базируется на анализе эталонных выборок, которые характеризуют однородные фоновые площади. Он применяется в районах, не подверженных загрязнению. Его также используют в условиях незначительного техногенного воздействия, где можно найти площади с похожими, но не загрязненными ландшафтами. В третьем способе анализируются смешанные выборки, которые характеризуют неоднородное геохимическое поле. Он применяется в местах интенсивного развития производства. Здесь в качестве эталонных можно выбрать участки слабого загрязнения, расположенные в периферийной части. Если таких участков нет, например, в городе, то за фон условно берут средний уровень загрязнения. В работах авторов, изучающих снежный покров, за фоновое значение чаще всего принимаются точки, находящиеся вдали от источников загрязнения, в периферийной части исследуемой территории.

Целью работы является анализ различий при определении фонового значения всеми тремя способами и выбор оптимального подхода для Прибайкалья. Рассматривается участок территории, включающий город Шелехов (центр металлургического производства), часть территории города Иркутска, фрагмент Олхинского плато и находящиеся между ними природные и природно-антропогенные комплексы.

В первом случае за фоновую берется точка (т. 163) (рис. 1), расположенная на соизмеримом расстоянии от крупных источников загрязнения (Иркутский алюминиевый завод и ТЭЦ), за пределами города и садоводств.

Следующий способ определения фоновых значений химического элемента – выбор фоновых площадок. Расстояния от известных источников определялись с помощью геоалгоритмов программы NextQGIS. Затем близко расположенные точки были исключены. На рисунке 1 показаны основные источники загрязнения на исследуемой территории (ОИЗ) и второстепенные (ВИЗ) – это промышленные площадки, на которых возможно нахождение мелких частных предприятий. Линиями показано, какие объекты могут напрямую влиять на загрязненность снежного покрова в исследуемой точке, а также удаленность от этого объекта. От ОИЗ точки расположены на расстоянии более 2 км.

Выбор смешанных фоновых площадок на территории города опирается на использование функционального зонирования города Иркутска. В работе коллектива Института географии Сочава «Атласы развития г. Иркутска» [1] представлено функциональное зонирование г. Иркутска. Согласно атласу «Функциональные типы застройки» на территории Свердловского района г. Иркутска и примыкающих к нему пригородных территорий выделяются: ЖВ – жилые высотные застройки; ЖМЭ – жилые малоэтажные застройки; ДС – дачные, садовые территории (СНТ, ДНТ, ИЖС); ОЦ – общественные центры и государственные учреждения (образовательные, медицинские); ПП – территории промышленных предприятий; КС – коммунально-складские территории; СН – территории специального назначения; ТР – транспортные. В данную классификацию нами добавлены территории лесных и парковых зон – ЛП, области открытых площадей без застроек и растительности такие, как река, озеро, стадион, поле – РОСП. Для определения фонового значения третьим способом были выбраны смешанные выборки, составленные из точек отбора, отнесённых к функциональным зонам ЛП и РОСП. Нахождение точек отбора проб более 2 км от указанных источников загрязнения. Расстояния от известных источников определялись также с помощью геоалгоритмов программы NextQGIS (рис. 1). Затем близко расположенные точки были исключены.

Во втором и третьем подходе с помощью программы Statistica были рассчитаны описательные статистики (среднее, медиана, мода, стандартное отклонение и геометрическое среднее) по полученным выборкам каждого метода. Поскольку на среднее арифметическое, как оценку математического ожидания, сильно влияют отдельные выдающиеся значения признака, для анализа взята медиана, т. е. срединное значение в ранжированном вариационном ряду, которая мало зависит от крайних «выскакивающих значений вариационного ряда». Также медиану можно определить, даже если до 25% проб оказались за «порогом» чувствительности анализа [2]. Медиана устойчивее в эксцессивных (островершинных) распределений и совершенно не зависит от распределения случайной величины. Затем были рассчитаны коэффициенты контрастности по формуле $K_c = C/C_f$, где C_f – медиана концентрации химического элемента выборки соответствующих фоновых площадок [4–5].

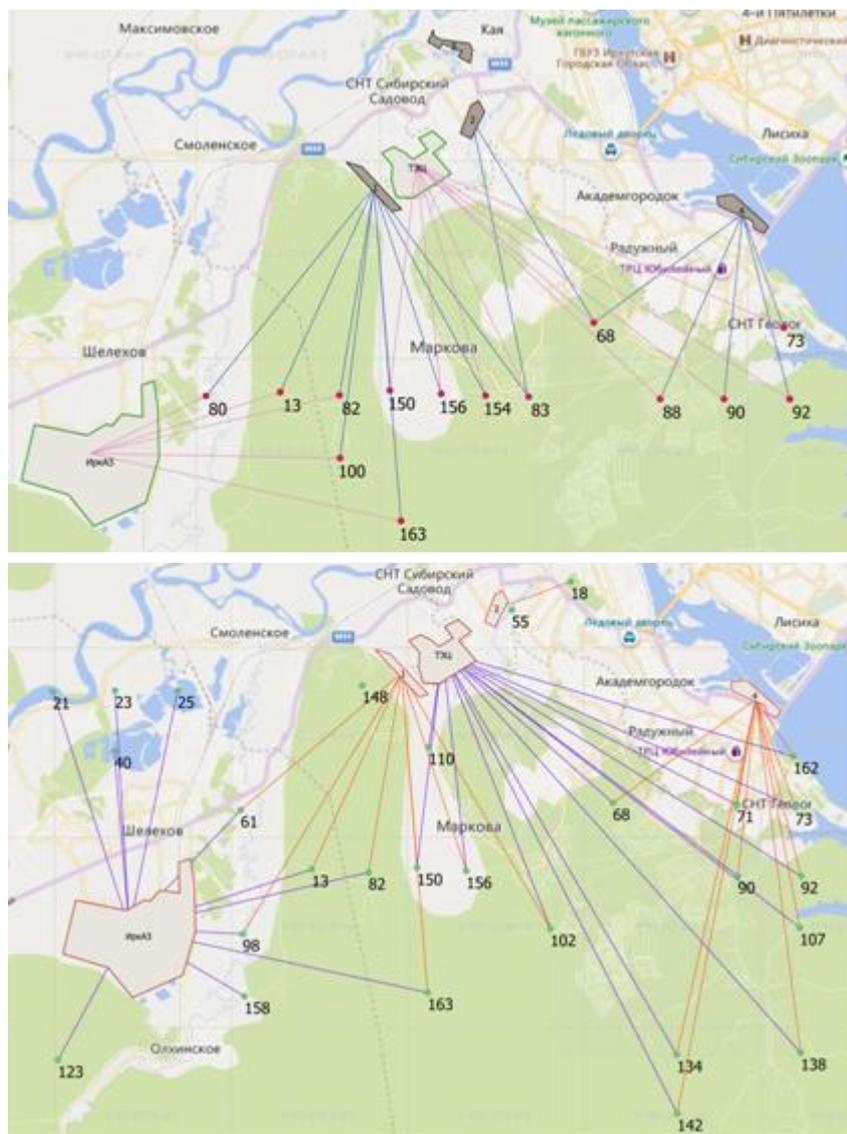


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб снега: вверху – используемые для расчета фонового значения по способу 2; внизу – используемые для расчета фонового значения по способу 3

В таблице 1 приведены диаграммы распределения Ca^{2+} в пробах талой воды в разных выборках. В таблице 2 представлены примеры диаграмм концентраций некоторых исследуемых элементов. Можно заметить, что наиболее стабильными остаются результаты, полученные третьим способом, где учитывались точки смешанных фоновых площадок.

Таблица 1

Диаграммы распределения концентрации Ca^{2+} в пробах
снежного покрова

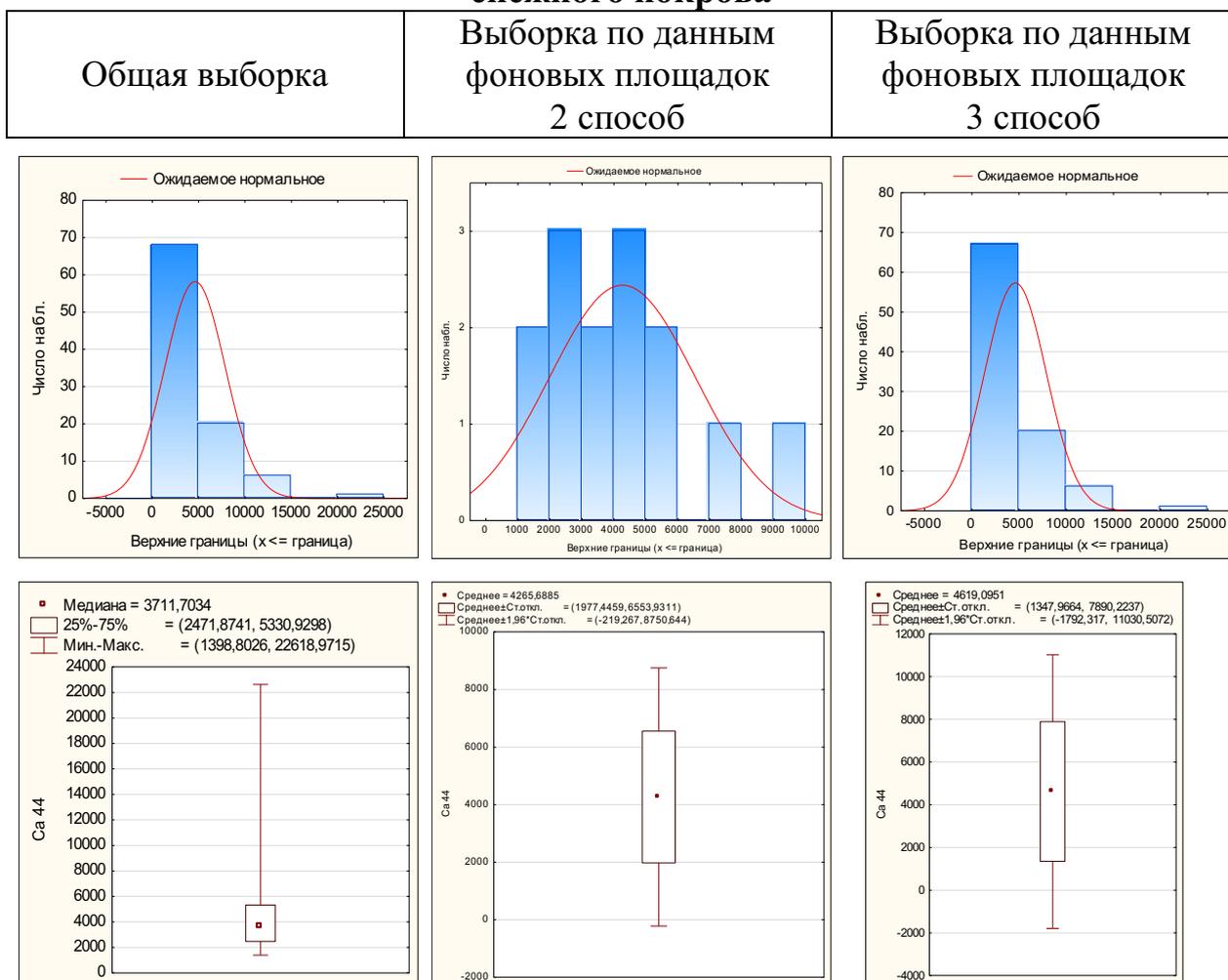
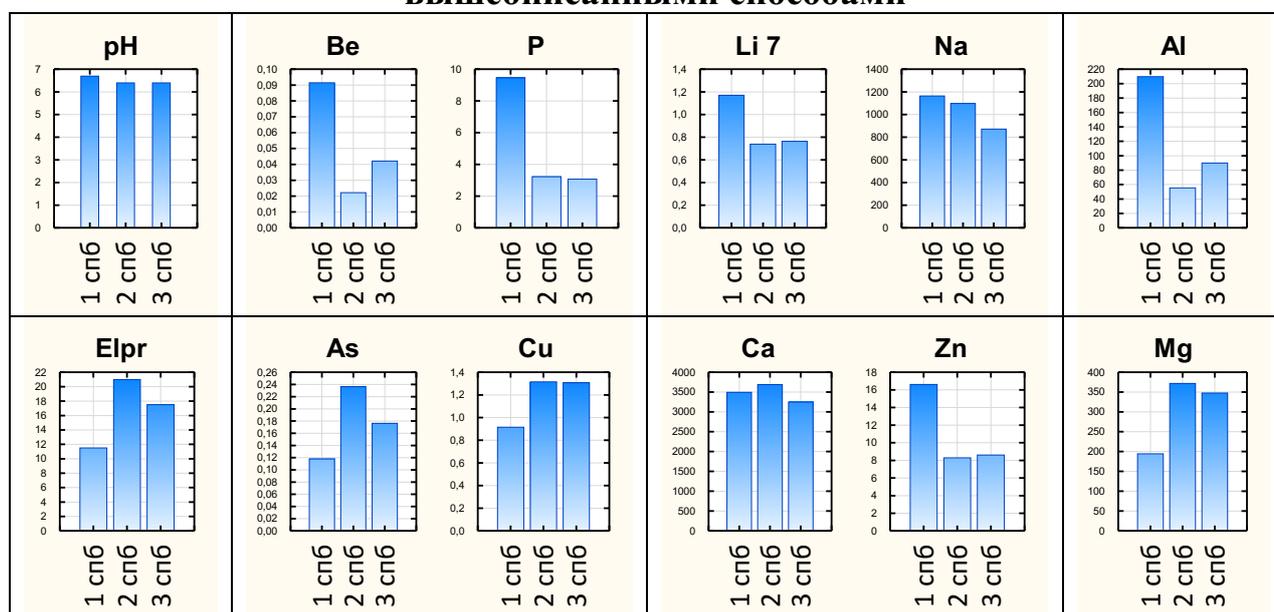


Таблица 2

Диаграммы фоновых значений, полученных
вышеописанными способами



На рисунке 2 приведены изолинии распределения Кс элементов Са и Al. В обоих случаях наблюдается схожесть контуров и зон повышенных значений, но имеются отличия в описываемой площади. Отсюда можно сделать вывод, что для определения источника загрязнения можно воспользоваться любым из рассмотренных способов определения фонового значения. Но, при определении площади загрязнения, необходимо учитывать дополнительные факторы, и в этом случае наиболее подходящим будет третий способ.

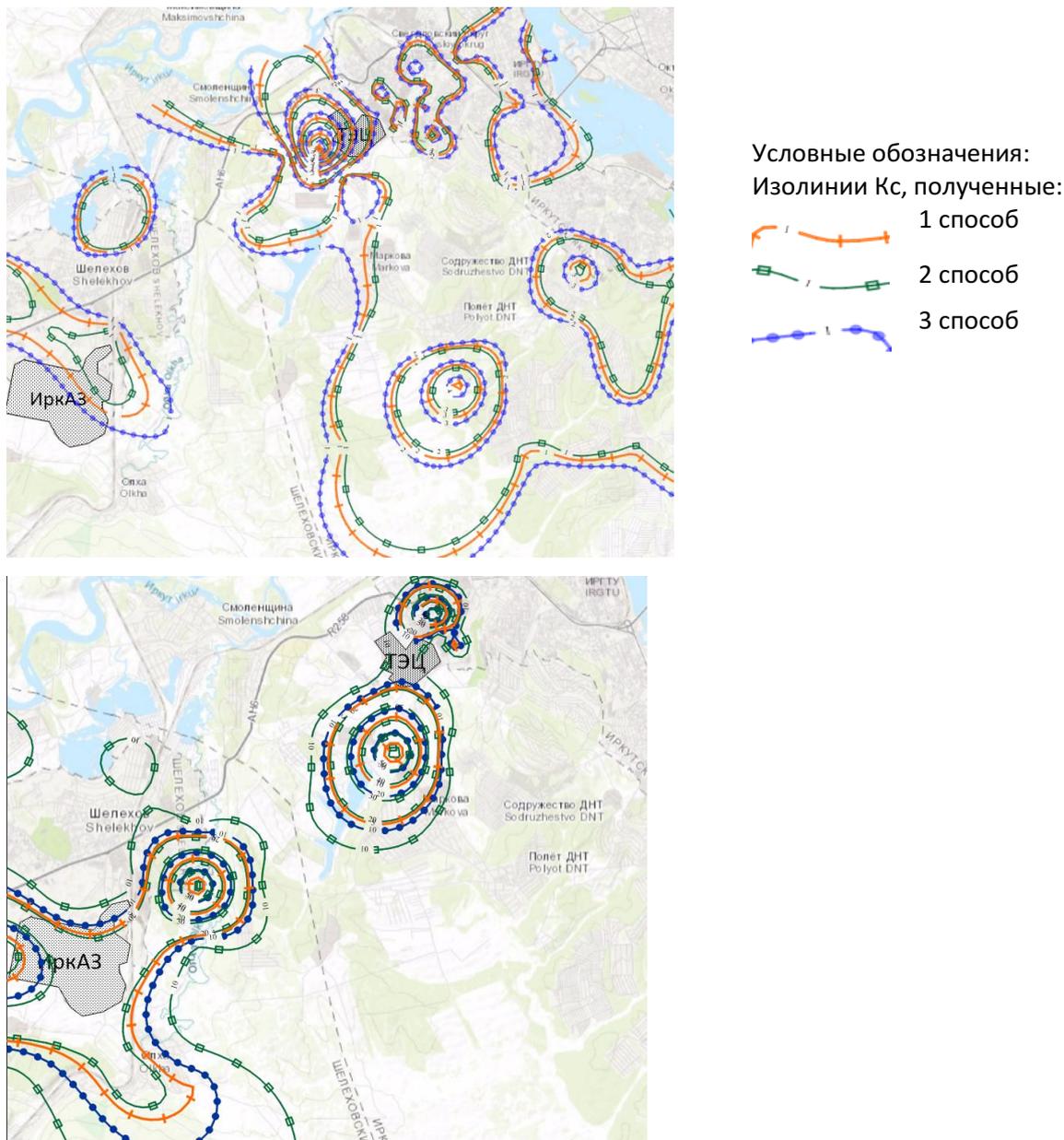


Рис. 2. Схема распределения изолиний контрастности (Кс) содержания элементов Са (сверху) и Al (снизу) в пробах талой воды

Библиографический список

1. Атлас развития Иркутска. 2011 г. [Электронный ресурс]. – URL: http://irkipedia.ru/content/atlas_razvitiya_irkutska_2011_g_soderzhanie (дата обращения: 01.03.2022).

2. Portier K. M. Statistical issues in assessing anthropogenic background for arsenic // Environmental Forensics. 2001. Vol. 2. P. 155–160. doi: 10.1006/enfo.2001.0051

3. Филимонова Л. М., Паршин А. В., Бычинский В. А. Оценка загрязнения атмосферы в районе алюминиевого производства методом геохимической съемки снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 75–84.

4. Прожорина Т. И., Якунина Н. И. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Воронежа по состоянию снежного покрова // Астраханский вестник экологического образования. 2014. № 1(27). С. 111–114.

5. Московченко Д. В., Пожитков Р. Ю., Соромотин А. В. Геохимическая характеристика снежного покрова г. Тобольск // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 5. С. 156–169. doi: 10.18799/24131830-2021/05/3195

АНАЛИЗ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АО «ЗОЛОДОБЫВАЮЩАЯ КОМПАНИЯ «ЛЕНЗОЛОТО» И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЕЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

Д. А. Хагдаева, Е. Ю. Фомина

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Kosheleva1290@mail.ru, e_u_fom@bk.ru*

В статье предоставлен анализ природоохранной деятельности АО «Золотодобывающая компания «Лензолото». Определены основные природоохранные мероприятия компании в области охраны атмосферного воздуха, водных объектов, земельных ресурсов, а также в области управления отходами. Предложены мероприятия по усовершенствованию природоохранной деятельности предприятия.

Ключевые слова: золотодобывающая промышленность, природоохранная деятельность, охрана атмосферного воздуха, охрана водных объектов, охрана земельных ресурсов, управление отходами.

Известно, что золотодобывающая промышленность – одна из самых ресурсозатратных сфер производства [1]. В процесс золотодобычи задействованы все компоненты природных ресурсов: недра, рельеф, почва, атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, флора и фауна.

Ежегодно, в результате добычи россыпного золота происходит увеличение техногенного воздействия на окружающую природную среду, так как извлекать драгоценный металл приходится во все более сложных условиях: разные глубины (залегание от 3 до 40 м), сложные горно-геологические условия, невысокое содержание золота.

Золотодобыча сопровождается комплексом негативных воздействий на окружающую среду, главнейшими из которых являются истощение и загрязнение подземных и поверхностных вод, затопление и заболачивание отработанных территорий, деградация почв, загрязнение атмосферного воздуха.

Снижение негативного воздействия на окружающую среду – стратегия АО «Золотодобывающая компания «Лензолото» (АО «ЗДК» Лензолото»).

АО «ЗДК «Лензолото» входит в группу компаний ПАО «Полюс», включая в себя группу золотодобывающих предприятий АО «Светлый», АО «Севзото», ЗАО «Ленсиб», которые осваивают россыпные золотоносные месторождения открытым раздельным и дражным способами на территории Бодайбинского района Иркутской области.

На балансе группы предприятий АО «ЗДК «Лензолото» числятся до 100 лицензий на право добычи и разведки россыпного золота.

Согласно статистическим данным, ежегодно группой предприятий АО «ЗДК «Лензолото» производится добыча золотосодержащих песков в объеме около 8,4 млн м³, как следствие нарушаются земли на площади около 800 га.

Компанией осуществляются природоохранные мероприятия для минимизации антропогенной нагрузки на окружающую природную среду, в отношении:

– атмосферного воздуха: минимизация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу – цель, достижение которой осуществляется за счет сокращения объемов потребления топлива, при оптимизации маршрутов движения транспортных средств. Выбросы в атмосферу на предприятии не превышают максимальных допустимых значений. Компанией ежегодно осуществляется мониторинг за качеством атмосферного воздуха;

– водных объектов: АО «ЗДК «Лензолото» придает особое значение вопросам рационального водопользования, за счет сокращения объемов водозабора из природных источников (использования оборотного водоснабжения, с пополнением безвозвратных потерь карьерными водами и атмосферными осадками, с устройством каскада илоотстойников и размещением хвостов промывки в отработанном пространстве). Также компанией осуществляются программы производственного экологического контроля за водными объектами; программы регулярных наблюдений за водными объектами; программы измерений качества сточных вод; разрабатываются и осуществляются компенсационные мероприятия по сохранению водных биоресурсов и среды их обитания. За период 2019–2022 гг. группой компании АО «ЗДК «Лензолото» было выпущено 284 900 штук молоди хариуса [2];

– отходов: в компании соблюдаются действующие экологические, санитарно-эпидемиологические и технологические нормы и правила при обращении с отходами I–V класса опасности; действует обязательное требование по раздельному сбору отходов; обеспечивается соблюдение установленных нормативов предельного размещения отходов. В 2021 г. были закуплены установки по утилизации (сжиганию) отходов «Форсаж-2» для производственных подразделений «Карьер Маракан» и «Дальняя Тайга»;

– почвы: «Ликвидация и рекультивация нарушенных земель» – один из стандартов «Полюса», основанный на требованиях природоохранного, земельного и лесного законодательства Российской Федерации. Ведутся работы

по сохранению ландшафтов и сокращению площади нарушенных земель. По программе «лесовосстановление» – в Иркутской области за 2021 г. «Полюсом» была засажена территория в 325 га саженцами сосны [3];

– «биоразнообразии» созданы следующие проекты:

«Поддержка диких копытных животных» – направленный на сохранение и увеличение численности естественных популяций диких копытных животных (лося, северного оленя, изюбря, кабарги, косули сибирской и других видов млекопитающих) на территории государственного природного заповедника Иркутской области «Витимский»;

«Исследование и сохранение редких видов водоплавающих и хищных птиц» – на территории заповедника «Витимский» обитает 21 вид птиц, включенных в Красную книгу Иркутской области и 15 – Российской Федерации. Выполнение проекта создаст условия для сохранения редких видов птиц в районе расположения заповедника, обеспечит возможность наблюдения за дикими животными в естественных условиях [3].

Для усовершенствования природоохранной деятельности компании предлагаем внедрить технологии, которые позволят сократить антропогенное воздействие на природную среду. К ним относятся:

– применение нейтрализаторов и катализаторов выхлопных газов на автотранспорте, снижающих выбросы токсичных веществ в атмосферу;

– использование пиролизной установки, которая перерабатывает, обезвреживает и утилизирует углеродосодержащие промышленные отходы 3–5 класса опасности (отходы резины, включая бывшие в употреблении шины; мазутов; масел; каучука; шламов нефти и нефтепродуктов; полиэтиленовой тары и пленки и т. д.). В процессе пиролизной переработки (утилизации) отходов получают товарные продукты в виде жидкого печного (пиролизного) топлива, обожженного металла, углерода, парафин, а вырабатываемый пиролизный газ направляется на работу пиролизной системы [4];

– использование линии переработки отработанных шин для получения материала, пригодного для повторного использования (строительные плиты, уплотнители);

– использование противомембранного экрана с применением геотекстильного материала, обладающего высокой адсорбционной способностью и созданием противомембранной с использованием водорастворимых полимеров для сокращения забора свежих вод из водотоков, для использования в производственном процессе, предлагается увеличить качество противомембранной защиты гидротехнических сооружений [5];

– использование геотекстильных фильтров с наполнителем из цеолита для улучшения качества сточных и дренажных вод, для дальнейшего сброса вод в водные объекты. Такие фильтры способны очищать сточные воды от мельчайших взвешенных частиц, химических соединений тяжелых металлов и нефтепродуктов [5].

Таким образом, результаты анализа природоохранной деятельности АО «ЗДК «Лензолото» показывают, что компания успешно выполняет основ-

ные направления экологической политики в области охраны атмосферного воздуха, водных объектов, земельных ресурсов, а также в области управления отходами. Для ее усовершенствования предложены мероприятия, которые позволят сократить антропогенное воздействие на природную среду.

Библиографический список

1. Тикунов В. С., Черешня О. Ю. Индекс загрязнения и индекс напряженности экологической ситуации в регионах Российской Федерации // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 34–38. doi: 10.25750/1995-4301-2017-3-034-038
2. «Полюс» : водный отчет. Использование водных ресурсов и водохозяйственная деятельность [Электронный ресурс]. – URL: <http://POLYUS.COM> (дата обращения: 08.08.2022).
3. Отчет об устойчивом развитии ПАО «Полюс» 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <http://POLYUS.COM> (дата обращения: 08.08.2022).
4. Пиролизные установки «Т-ПУ1» для утилизации промышленных отходов 3–5 класса опасности с получением жидкого топлива из отходов [Электронный ресурс]. – URL: <https://pronowosti.ru/2021/04/03/piroliznye-ustanovki-t-pu1-dlya-utilizacii-promyshlennyh-othodov-3-5-klassa-opasnosti-s-polucheniem-zhidkogo-topliva-iz-othodov/> (дата обращения: 10.08.2022).
5. Субботин Ю. В., Овешников Ю. М., Авдеев П. Б. Водоснабжение драг и очистка технологической воды при разработке россыпи «Средняя Борзя» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 2. С. 58–68.

Научное издание

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ
С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Материалы

IV Всероссийской научно-практической конференции

с международным участием

30 ноября 2022 г.

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова

Дизайн обложки: Ю. Д. Иванова

Подписано в печать 30.11.2022 г. Печать цифровая.

Бумага для офисной техники.

Усл. печ. л. 15,87. Тираж 50 экз. Заказ № 410.

Отпечатано с готового оригинал-макета

в центре полиграфических услуг

Вятского государственного университета.

610000, г. Киров, ул. Московская, 36.