

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Казанский национальный исследовательский технологический университет

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Материалы конференции

16–17 апреля 2026 г.



ISBN 978-5-7882-3679-7

© Казанский национальный исследовательский
технологический университет, 2026

УДК 502.3:330.341
ББК 20.1
С56

Издается по решению Ученого совета
Казанского национального исследовательского технологического университета

Редакционная коллегия:

Шайхиев Ильдар Гильманович — д-р техн. наук, проф. кафедры инженерной экологии КНИТУ, действительный член обществ. Российской экологической академии, Казань, Россия;

Акберова Альбина Руслановна — заведующий лабораторией кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Алексеева Анна Александровна — канд. техн. наук, доц. кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Гармонов Сергей Юрьевич — д-р хим. наук, проф. кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Дряхлов Владислав Олегович — канд. техн. наук, и.о. зав. кафедрой инженерной экологии КНИТУ;

Зайнуллин Айдар Маратович — канд. техн. наук, доц. кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Мадыкина Альмира Мустакимовна — канд. хим. наук, доцент кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Резапова Наталья Владимировна — зав. лабораторией кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Романова Светлана Марсельевна — канд. хим. наук, доц. кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Ряписова Лариса Викторовна — канд. хим. наук, доцент кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Савельева Анна Владимировна — канд. техн. наук, ассист. кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Савельев Сергей Николаевич — канд. техн. наук, доц. кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Санатуллова Земфира Талгатовна — канд. техн. наук, доц. кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Сольяшинова Ольга Александровна — канд. хим. наук, доцент кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Степанова Светлана Владимировна — д-р техн. наук, профессор кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Фазулина Алсу Асгатовна — канд. хим. наук, доц. кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Фатыхова Лилия Айдаровна — канд. хим. наук, доц. кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Шайхиева Карина Ильдаровна — канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной экологии КНИТУ;

Ярошевский Аркадий Борисович — канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной экологии КНИТУ

С56 Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности : материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (Казань, 16–17 апреля 2026 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2026.

ISBN 978-5-7882-3679-7

Представлены научные материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности –2026».

Цель конференции – решение проблем, связанных с охраной воздушной и водной сред, переработкой отходов производства и потребления, мониторингом объектов окружающей природной среды, а также выработка научно обоснованных предложений по решению экологических проблем.

Все материалы представлены в авторской редакции.

УДК 502.3:330.341
ББК 20.1

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования:

- Windows: процессор Intel 1,3 Гц или аналогичный;
Microsoft Windows XP Service Pack 2
128 МБ оперативной памяти
- MacOS: процессор PowerPC G4 или Intel
MacOS X 10.5
128 МБ оперативной памяти
- Linux: 32-разрядный процессор Intel Pentium или аналогичный
SUSE Linux Enterprise Desktop 10 или Ubuntu 7.10; GNOME или KDE Desktop Enviroment

Ответственный за выпуск В. О. Дряхлов

Подписано к использованию 21.07.2026

Объем издания 31,7 Мб Заказ 43/26

Издательство Казанского национального исследовательского
технологического университета

420015, г. Казань, К. Маркса, 68

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ И ПРИРОДНЫХ ВОД	12
Аверина А. А. Ультрафильтрация водомасляной эмульсии различными полимерными мембранами.....	12
Аетов А. У., Фан М. К., Соловьев В. О. Применение метода сверхкритического водного окисления для утилизации сточных вод различного происхождения на примере аффинажного производства и полигонных фильтратов	17
Аешин Н. С., Воронин Н. А., Сомин В. А., Ефрюшин Д. Д. Определение статической сорбционной ёмкости хитина из панцирей моллюска <i>Helix pomatia</i> по отношению к ионам хрома (VI).....	25
Акберова А. Р., Шайхиев И. Г., Мубаракшин А. А. О возможности использования шишек деревьев в качестве нефтесорбентов (обзор литературы)	29
Атаманова О. В., Проказов Н. Д. Исследование нефтеемкости сорбционных материалов на основе гидрофобизированного бентонита	35
Борисова Р. Р., Хурамшин Д. Р., Филиппов Д. В., Мингазетдинов И. Х. Устройство и принцип работы вертикального нефтесборщика	43
Бхандари М. Р., Иванцова Н. А. Оценка эффективности высокоинтенсивных окислительных методов в очистке воды от фенола	48
Вокурова Д. А., Никифорова Т. Е. Термодинамика сорбции ионов Cu(II) сорбентом на основе гранулированной целлюлозы и углеродных нанотрубок.....	52
Воронин Н. А., Лавриненко Е. С., Ускорников Я. В., Паталаха А. А., Сомин В. А. Описание сорбционных возможностей панцирей моллюсков по отношению к ионам кобальта из водных растворов с применением моделей Ленгмюра и Френдлиха.....	60
Галимова А. Р., Яваева З. И. Применение комбинированного сорбента на основе цеолита и гидролизного лигнина для очистки сточных вод от ионов меди и никеля.....	69
Грабазей А. В., Гафаров Р. Р., Свергузова С. В., Шайхиев И. Г., Бударный Н. П. Электроповерхностные свойства отработанной отбелочной глины и их роль в очистке сточных вод от ионов тяжёлых металлов.....	73
Грабазей А. В., Гафаров Р. Р., Свергузова С. В., Шайхиев И. Г., Кузенков Н. С. Влияние дозы отбелочной глины на эффективность очистки стоков птицефабрики	78
Дворянкин Д. Ю., Клепалова И. А., Первова И. Г. Химическое улучшение сорбционных свойств опилок лиственницы.....	83

Дряхлов В. О., Шайхиев И. Г., Атаева А. А., Бабаев М. Б., Атаева Б. Х. Математическое моделирование ультрафильтрации эмульсии углеводородов полисульфонамидными мембранами.....	89
Емельяненко Т. А., Арефьева О. Д., Либанов В. В. Деградация тетрациклина с использованием кобальтсодержащих Фентон-подобных катализаторов.....	93
Жихарева Д. С. Ресурсосберегающая технология очистки сточных вод с использованием отходов сталеплавильного производства	99
Кастро Карраско З. Д., Иванцова Н. А. Оценка эффективности адсорбционного метода для очистки воды от формальдегида	103
Зарифов А. Р., Сагдеева Г. С. Перспективы замены хлорирования на ультрафиолетовое обеззараживание на водоподготовительных установках нефтехимических предприятий	107
Иванов А. А., Любушкин Т. Г. Исследование влияния температуры и pH на окисление резорцина персульфатом аммония	112
Иванцова Н. А., Шлыкова А. Ю. Влияние pH на фотоокисление сульфидсодержащих сточных вод.....	119
Ихсанова С. М. Определение химического потребления кислорода водомасляных эмульсий при разделении полимерными мембранами	123
Комарова Д. В. Усовершенствование технологии очистки сточных вод гальванического производства от ионов тяжелых металлов.....	127
Красильников И. О., Сомин В. А., Ковалева Ю. С., Ершова Е. А. Совершенствование методов разделения водно-фенольных растворов с помощью модифицированных полисульфонных мембран.....	130
Линсцер Г. А., Степанова С. В. Оценка эффективности матов из шелухи пшеницы для очистки воды от нефти при ламинарном течении	136
Любушкин Т. Г., Мостовык П. Р., Иванов А. А. Влияние железа (II) на скорость окисления фенола с помощью пероксодисерной кислоты	141
Маврин Г. В., Насыров И. А., Шафигуллин Л. Н. Силанизация твердого продукта пиролиза иловых осадков сточных вод для полипропиленовых композитов	147
Мартышкин К. Н., Файзетдинова Д. И., Санатуллова З. Т., Шайхиева К. И. Отходы оболочки семян гороха посевного (<i>Pisum sativum</i>), в качестве сорбента при очистке водоемов от нефтяных пленок.....	153
Масалова М. А., Поздняков Ш. Р., Политаева Н. А., Зибарев Н. В., Опарина А. М. Оценка адаптационного потенциала <i>Eichhornia crassipes</i> и её способности к удалению азотно-фосфорных соединений из водной среды	159
Мостовык П. Р. Фотоокисление метиленового голубого в присутствии пероксида водорода	167

Мурзина А. А., Габдрахманова Г. Н. Разработка сорбента на основе кокосового угля и природного цеолита для удаления Ni^{2+} и Cu^{2+} из промышленных стоков.....	171
Пироженкова С. В., Валиуллина А. Р., Обухова В. Б., Пестерникова Г. Г. Исследование адсорбционных свойств активных углей, полученных из разных пород древесины	175
Поплавская О. Е., Габдрахманова Г. Н. Экономическая эффективность адсорбционной очистки сточных вод производств синтетического каучука от ионов железа	180
Поплавская О. Е., Габдрахманова Г. Н. Очистка сточных вод предприятий синтетического каучука адсорбционным методом.....	185
Рябова Т. А., Габдрахманова Г. Н. Очистка сточных вод от ионов металла с помощью комбинированного фильтроматериала.....	190
Ряписова Л. В., Рахматуллин Р. Р., Иванов С. С. Применение мембранного биореактора в схеме очистки сточных вод участка НОПСВ ПАО «Казаньоргсинтез»: сравнительный анализ вариантов модернизации и перспективы организации оборотного водоснабжения	194
Савельева А. В., Савельев С. Н. Сравнительный анализ каталитического эффекта Cu^{2+} и Ni^{2+} , содержащихся в гальваностоках, в процессе окисления компонентов сернисто-щелочных сточных вод.....	201
Савельева А. В., Савельев С. Н. Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод химическими методами с применением каталитических систем.....	210
Садоян Р. Б., Карловская И. В., Сомин В. А. Опыт флокуляционной очистки речной воды	218
Сапронова Ж. А., Мурзаханов Я. А., Красникова Н. А., Грибинюк Д. Е. Очистка модельных вод модифицированным глинистым сорбентом.....	223
Сапронова Ж. А., Сафонов И. В., Михайлов В. Г., Хубатхузин А. А. Сорбционная очистка воды от ионов никеля.....	230
Сафиуллин Д. Ф., Сафарова В. И., Фатьянова Е. В., Хатмуллина Р. М., Шайдулина Г. Ф. Методы очистки речных систем и их особенности	235
Свергузова С. В., Воронина Ю. С., Лукашин Е. А., Мирошников К. С. Сорбционные материалы, применяемые для очистки сточных вод.....	245
Селезнева М. А., Иванцова Н. А. Влияние типа источника излучения и дозы пероксида водорода на эффективность фотохимического окисления сернисто-щелочного стока	255
Хабибрахманова Е. Н., Шайхиев И. Г. Плазмохимическая модификация конопляной костры для повышения сорбционной активности по отношению к ионам никеля	260
Хабибрахманова Е. Н., Шайхиев И. Г. Использование компонентов биомассы конопли (<i>cannabis sativa</i>) для удаления ионов металлов из водных сред (краткий обзор)	265
Хисамова А. Ш., Степанова С. В. Исследование сорбционных свойств материалов на основе плодовых оболочек зерен пшеницы для очистки вод от нефтяных загрязнений	270

Чакилева Е. А., Арефьева О. Д., Имшинецкий И. М. Получение золя кремниевой кислоты на основе биогенного кремнезема.....	274
Шайхиева К. И., Свергузова С. В. Использование стеблей кукурузы (<i>Zea mays</i>) для удаления ионов Cr(VI) из водных сред (обзор литературы).....	281
Шамрай Д., Первова М. Г., Саморукова М. А., Салоутин В. И. Использование опилок древесины берёзы для адсорбционной очистки сточных вод от полихлорированных бифенилов	290

Секция 2. ОХРАНА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО И НЕОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ..... 297

Аврамович Д. Д., Шарифуллин А. В., Зарифьянова М. З. Изучение процесса экстракционного извлечения нефтяных сульфонов из оксидата дизельной фракции водными растворами изопропилового спирта и оценка ее эксплуатационных свойств.....	297
Гаврилова А. Э., Романова С. М. Мероприятия для снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на биологических очистных сооружениях.....	307
Кабаков Д. А., Савельев С. Н. Оценка качества атмосферного воздуха г. Казани по данным стационарных постов наблюдения в 2020–2025 гг	311
Киямова А. А., Шавалеева С. М. Расчет технологических параметров абсорбционной очистки выбросов стекловаренной печи от оксидов азота.....	319
Кулик Д. И., Нурмехамитова В. А., Галимова А. Р. Оценка влияния выбросов автозаправочных станций на окружающую среду	322
Петров В. И., Кашапова А. Ф., Бычихин Н. С., Хамидуллина А. Р. Сравнительный анализ абсорбционной и адсорбционной очистки газов и пути повышения их эффективности.....	328
Попов А. Д., Сахаров И. Ю., Халитов Р. А., Сахаров Ю. Н., Мусина Д. Б. Сотовый катализатор очистки газовых выбросов газоперекачивающих агрегатов.....	335
Сахаров И. Ю., Попов А. Д., Сахаров Ю. Н., Мусина Д. Б. Технические решения экологических проблем технологии производства нитрата аммония	343
Ткаченко М. В., Панасенко А. Е. Химические сенсоры на основе полианилина для определения аммиака в газовой среде.....	349
Ханов Р. Р., Замалутдинов И. М., Фазуллина А. А. Оценка воздействия Казанской ТЭЦ на атмосферный воздух.....	356
Шагидуллин А. Р., Мурзина А. А. Расчет приземных концентраций выбросов автотранспорта в зонах, прилегающих к автомагистралям г. Нижнекамск (на примере улицы корабельной) для оперативного управления качеством воздуха.....	360
Щербаков Г. А., Халитов Р. А. Моделирование и исследование аэродинамики вихревой контактной ступени	366

Явеева З. И., Шагидуллин А. Р. Расчет приземных концентраций выбросов автотранспорта в зонах, прилегающих к автомагистралям г. Нижнекамска (на примере проспекта Строителей) для оперативного управления качеством воздуха меди и никеля.....	372
--	-----

Секция 3. УТИЛИЗАЦИЯ И РЕКУПЕРАЦИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ..... 379

Ахмадуллина А. А., Савельев С. Н. Оценка технологических параметров и экономической целесообразности методов очистки в процессе переработки отработанного моторного масла	379
Бомба И. В., Свергузова С. В., Шайхиев И. Г., Сапронова Ж. А. Влияние зоокомпоста культивирования личинок мухи <i>Hermetia illucens</i> на буферную емкость почвы.....	385
Бомба И. В., Свергузова С. В., Дмитриева Ю. А., Лукашин Е. А., Бударный Н. П. Количественное определение кислородсодержащих функциональных групп в зоокомпосте культивирования личинок мухи «Черная львинка».....	391
Бомба И. В., Свергузова С. В., Шайхиев И. Г., Сапронова Ж. А. Морфологические исследования и элементный состав зоокомпоста культивирования личинок мухи <i>Hermetia illucens</i>	397
Гаптрахманова З. А., Романова С. М., Мадякина А. М. Метод биологической утилизации осадков сточных вод.....	404
Грабазей А. В., Гафаров Р. Р., Свергузова С. В., Шайхиев И. Г., Кузенков Н. С. Отработанная отбельная глина – сырьё для сорбционного материала	411
Гильмутдинов Р. Р., Зайнуллин А. М. Пиролиз отходов.....	417
Исхакова Р. Я. Обработка избыточного активного ила с целью получения топливных гранул для термической утилизации.....	422
Кравцова В. В., Степанова С. В. Переработка зерновых отходов в целлюлозу: методы и перспективы	426
Кузин Е. Н. Получение диоксида титана из кварц-лейкоксового концентрата	432
Маврин Г. В., Инюшева А. А., Смирнова Н. Н. Аспекты экологической безопасности перехода от традиционной к MGL-технологии применения СОЖ при механической обработке металлов.....	437
Мифтахов М. Н. О возможности применения отхода от переработки макулатуры – целлюлозы в строительной отрасли в качестве теплоизолирующего материала.....	444
Михрабов А. И., Тихонова И. О. Отраслевые утилизаторы в промышленных симбиозах как региональные центры по утилизации промышленных отходов.....	449

Нгуен Д. А., Шайхиев И. Г., Хоанг Т. В. А., Чан Ф. Н. Исследование по использованию гидроксида калия для повышения эффективности анаэробного сбраживания осадка из очистных сооружений бытовых сточных вод	455
Сайфутдинова Р. Д., Степанова С. В. Методы переработки куриного помета	463
Серазеева Е. В., Исмаилова Р. Н., Гармонов С. Ю. Использование цинксодержащих металлургических отходов в качестве микроудобрений и оценка их агрономического потенциала	466
Федосеева О. Д., Саржевская Е. А., Снурницына В. А. Биотехнология в рециклинге отходов АПК	471
Фильцов Р. Н., Кудашев С. В. Способы утилизации отходов производства полиэтилентерефталата	475
Шайхаттаров А. М. Цифровизация системы учета и контроля в сфере обращения с отходами производства	480
Шайхиева К. И., Фазуллина А. А., Хабибуллин Р. Э. Перспективы использования порошка тыквенной кожуры в рецептуре мясных изделий	485
Шанина П. А., Шабрина А. А., Пестерникова Г. Г., Шарифуллин А. В. Исследование процесса регенерации отработанных моторных масел	492

Секция 4. УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ В СИСТЕМЕ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

498

Акчурина А. Р., Галимова А. Р. Применение газового хроматографа «Кристалл-5000» с ионной комплектацией для мониторинга содержания угарного газа в выбросах ТЭС	498
Ахмадиев Г. М. Экологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения в РФ	505
Зайнуллин А. М., Габдулхакова Л. И. Пространственно-временная динамика качества воды реки Сухая под влиянием сброса сточных вод	514
Газеев Н. Х. Мониторинг и популяризация реализации принципов Хартии Земли в Татарстане	519
Гараев Т., Зайнуллин А. М. Источники и путей миграции микропластика в водных объектах города	530
Данилова П. О., Дворяшина Д. С., Смоленская Л. М. Исследование процессов влагообмена в почвах города Белгорода	534
Дворяшина Д. С., Данилова П. О., Рыбина С. Ю. Анализ состояния атмосферного воздуха в зоне деятельности фармацевтического производства	540
Ишмуратова Д. Р., Зайнуллин А. М. Оценка антропогенного влияния на качество воды р. Волга (г. Казань) по данным эколого-аналитического мониторинга	546
Коробкина Е. В., Юровских З. Ю., Смоленская Л. М. Анализ экосистемы реки Ракита	551

Мифтахутдинов Д. А., Романова Р. Г., Гармонов С. Ю. Экстракционно-фотометрическое определение массовой доли нефти в промышленных сточных водах	557
Мяскинова Э. А., Степанова С. В. Оценка фитотоксического действия ионов свинца на начальные этапы развития кресс-салата.....	560
Рахматуллин А. И., Степанова С. В. Экологический мониторинг снежного покрова как инструмент управления качеством городской среды (на примере г. Казани).....	565
Рябова Т. А., Шагидуллин А. Р. Расчет приземных концентраций выбросов автотранспорта в зонах, прилегающих к автомагистралям г. Нижнекамска (на примере проспекта Химиков)	569
Сагдатов И., Сольяшинова О. А. Оценка комплекса инженерных и управленческих решений по снижению техногенного воздействия объектов нефтедобычи на окружающую среду	576
Сайфутдинова Р. Д., Степанова С. В. Фитотоксическое влияние растворов мелассы на энергию прорастания семян редиса	579
Сафина Г. Р., Фатьянова Е. В. Учет выбросов от стоянки автотранспорта при инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха: нормативные изменения и сравнительная оценка выбросов автомобилей химической лаборатории	582
Свинцова Е. А., Галимова А. Р. Применение жидкостного хроматографа «Стайер» с ионной комплектацией для мониторинга нитратов в сточных водах.....	589
Святченко А. В., Джиколум Р. Экологические последствия нефтедобычи в Чаде	596
Романова С. М., Сиделева А. А. Мониторинг воздействия полигона тко на окружающую среду.....	603
Хисамова З. М., Афанасьев С. А., Мингалеева А. А., Хакимуллин А. М., Фазулина А. А. Оценка воздействия на окружающую среду для намечаемой деятельности по проектной документации объекта «парогазовая установка».....	609
Шушанян Г. А. Геотехнический мониторинг многолетнемерзлых грунтов. Опыт российских компаний	614
Секция 5. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	619
Васильева А. В. Создание базы данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов	619
Васильева Л. Ю., Политаева Н. А. Международные и национальные механизмы регулирования обращения с пластиковыми отходами.....	639
Виноградова П. Ю. Влияние изменения состава сточных вод на сообщество микроорганизмов активного ила	647

Воробьев Н. А. Мобильные приложения как инструмент цифровизации производственных процессов	651
Ключко О. Л., Семенистая Т. В. Разработка мероприятий по благоустройству территории на месте полигона твердых коммунальных отходов	655
Мадякина А. М., Кузьмин А. А. Оценка воздействия производства упаковочных машин на компоненты окружающей среды в окружающую среду	662
Нестерова О. А., Каменская Е. Н. Анализ численности работников металлургического производства, занятых в условиях акустического воздействия, в контексте обеспечения техносферной безопасности	670
Нурбердиев Р., Оразгулыева Г. И., Ораздурдыева О., Хомматгулыев Э., Дурдыев Ш. Экологические аспекты производства и использования природных красителей растительного происхождения	676
Пентешин М. Ю. Экологические аспекты применения полимер-неорганических композитов на основе стеклянного волокна в строительной отрасли	683
Пулатова З. Ф., Пулатов Х. Л., Сабилов Б. Т. Отбор критериев для построения математической модели применения бентонитовых глин для влагоудержания в почве	693
Романова С. М., Бурганов А. И. Оценка воздействия производства сложных эфиров целлюлозы на окружающую среду	700
Романова С. М., Мадякина А. М., Федорова А. С., Сафин Р. М. Пути снижения экологической нагрузки при производстве азотнокислых эфиров целлюлозы	708
Сабирова Л. А., Романова С. М. Воздействие полигонов твердых коммунальных отходов на компоненты окружающей среды и мероприятия по минимизации негативных последствий	713
Самойлова К. О., Фатыхова Л. А. Анализ эффективности современных методов организации тушения пожаров в городских условиях	720
Санагатуллина А. А., Сольяшинова О. А. Риски при обращении с серосодержащими реагентами при производстве поверхностно-активных веществ (ПАВ) в химической промышленности	727
Скобова Н. В., Кириллова М. Д., Шитикова А. А. Экологический аспект практики применения природных красителей для окрашивания текстильных материалов	734
Унгуриян С. Р., Казаков Т. П., Шибанов П. Б. Технологии минимизации выбросов парниковых газов при добыче, транспортировке и переработки нефти	741
Урядникова Н. С., Гоголь Э. В. Бережливое производство в управлении экологической безопасностью нефтепромыслового трубопровода	751

Фатыхова Л. А., Ведерников С. А. Актуальные аспекты проектирования систем противопожарной защиты производственных зданий предприятий оборонно-промышленного комплекса	760
Фатыхова Л. А., Чернова А. В. Совершенствование системы водоподготовки химического производства на примере ПАО «Казаньоргсинтез» с использованием рециркуляции осадка	766
Ярошевский А. Б. Взаимодействие вуза и производства. Опыт кафедры инженерной экологии в этом вопросе	772

Секция 1. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ И ПРИРОДНЫХ ВОД

УДК 628.313

Ультрафильтрация водомасляной эмульсии различными полимерными мембранами

Аверина А. А.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: проведено исследование мембранной очистки воды, загрязненной маслом «И-20А», с использованием мембран из полиэфирсульфона, полиакрилонитрила и ацетата целлюлозы. В ходе экспериментов построены графики зависимости производительности мембран от концентрации масла в воде, что позволило проанализировать их эффективность в процессе очистки. Результаты показали, что мембрана из ацетата целлюлозы продемонстрировала наилучшие показатели, что делает её наиболее эффективным вариантом для очистки водомасляной эмульсий. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего развития технологий водоочистки и улучшения экологической ситуации в водоемах, загрязненных углеводородами.

Ключевые слова: водомасляная эмульсия, полимерные мембраны, ФМПЭС, ФМΠΑИ, ФМАЦ, производительность

Водомасляные эмульсии широко используются в различных отраслях, включая нефтехимию, фармацевтику и пищевую промышленность. Эффективное разделение этих эмульсий имеет важное значение для повышения качества конечных продуктов и снижения затрат на переработку. В последние годы полимерные мембраны стали одним из наиболее перспективных методов для достижения этой цели благодаря своей высокой селективности и эффективности.

Полимерные мембраны функционируют как фильтры, позволяя разделять воду и масло на основе различных физических и химических свойств. Их применение позволяет не только улучшить качество разделенных фракций, но и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Важно отметить, что производительность мембран, то есть скорость и эффективность процесса разделения, зависит от ряда факторов, включая пористость, химический состав

и толщину мембран. В данной работе использовались три типа мембран из полиэфирсульфона, полиакрилнитрила и ацетат целлюлозы.

ФМПЭС – это гидрофильная мембрана из полиэфирсульфона, характеризуется низким связыванием белков, хорошей химической совместимостью и термостабильности. Размер пор – 100 кДа, диаметр – 47 мм. Дата выпуска 2010 год. Мембрана фирмы «Владисарт».

ФМАЦ – фильтр мембранный ацетат целлюлозный, является хорошим материалом для фильтрации под давлением, так как может сочетать в себе высокую скорость потока, температурную стабильность с низкую неспецифической сорбирующей активностью. Размер пор – 0,45 мкм, диаметр 47 мм. Дата выпуска 2021 год. Мембрана фирмы «Владисарт».

ПАН – мембрана из полиакрилнитрила. Она обладает высокой стабильностью к нефтепродуктами, повышенной задерживающей способностью по отношению к белковым соединениям и устойчивостью к коллоидным соединениям железа. Размер пор – 60 кДа.

В таблице 1 представлены итоговые результаты экспериментов с различной концентрацией масла в воде. Эти показатели были получены в ходе тестирования, где учитывались такие параметры, как скорость потока, время обработки и концентрация эмульсии.

Таблица 1

Производительность по водомасляной эмульсии

Мембрана	Концентрация масла в воде, %				
	1	0,8	0,6	0,4	0,2
	Q, дм ³ /(м ² *час)				
ФМАЦ (0,45 мкм)	4470,644	4470,644	4190,516	9268,435	947,351
ПАН (0,06 мкм)	39,789	44,210	229,890	48,631	92,840
ФМПЭС (0,1 мкм)	70,736	181,260	66,315	101,682	141,471

По полученным результатам можно сделать вывод, что высокой производительностью обладает мембрана ФМАЦ, предположительно, из-за более крупных размер пор. Также эта мембрана обладает большой пропускной способностью, так как быстрее всех пропустила эмульсию и больший объем за короткое время.

По данным производительностей мембран на эмульсии с разной концентрации: 1 %, 0,8 %, 0,6 %, 0,4 %, 0,2% построены графики зависимостей производительности от концентрации. Результаты представлены на рис. 1, 2, 3.

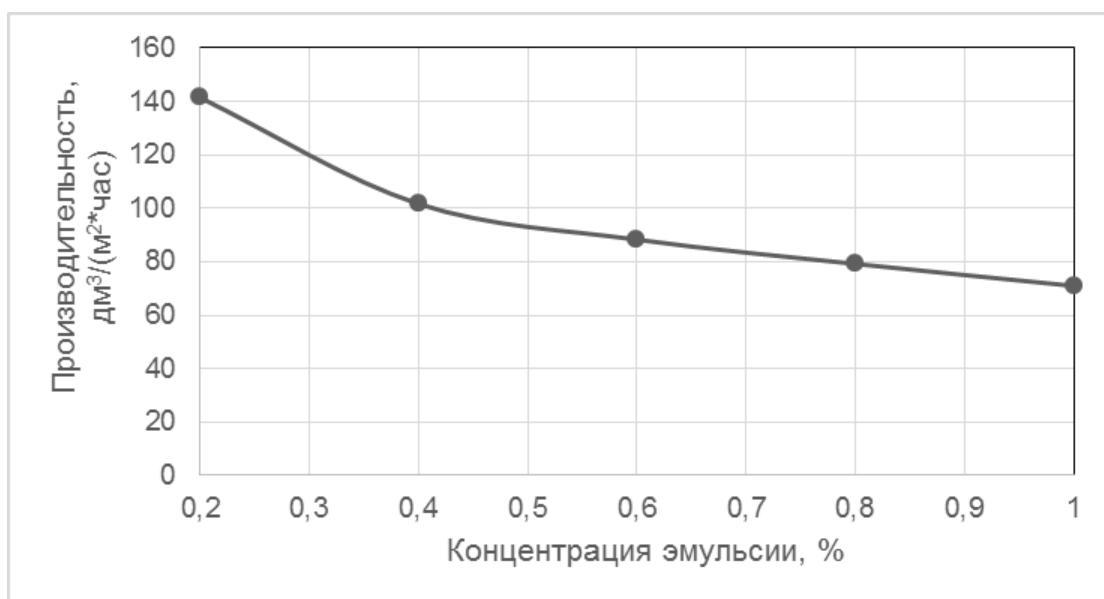


Рис. 1. Производительность разделения водомасляной эмульсии на ФМПЭС

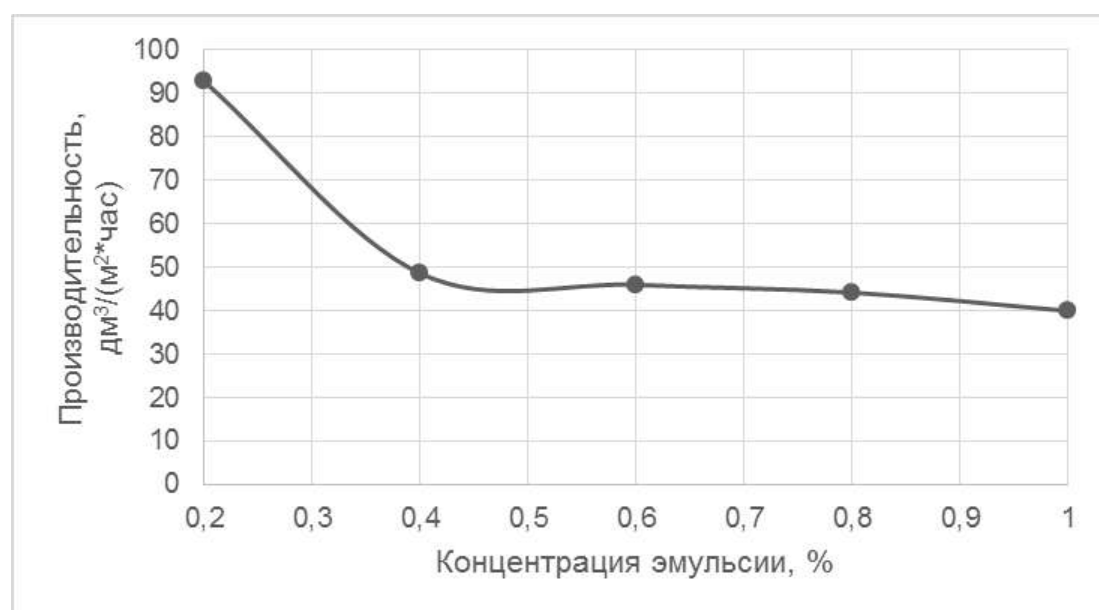


Рис. 2. Производительность разделения водомасляной эмульсии на ПАН

На основании представленных на рис. 1–3 зависимостей показано снижение производительности с увеличением концентрации масла в эмульсии. Это связано с тем, что высокая концентрация углеводородов может привести к образованию осадков на поверхности мембран, что снижает их пропускную

способность и, следовательно, понижает производительность. Следует совершать более частую промывку или замену мембран, с целью повышения производительности разделения эмульсии.

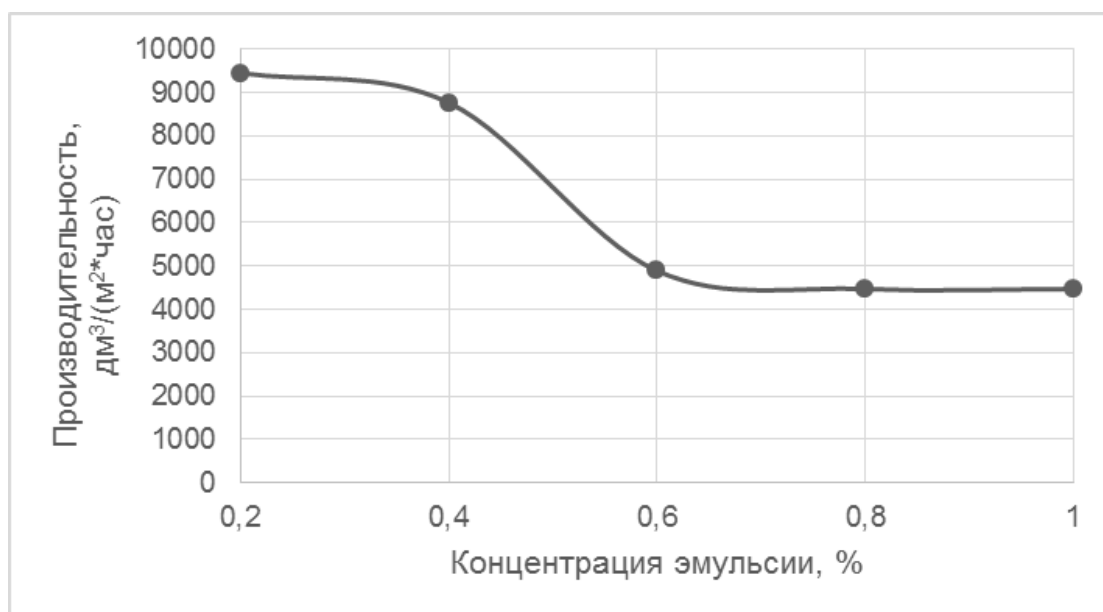


Рис. 3. Производительность разделения водомасляной эмульсии на ФМАЦ

Мембрана ФМАЦ обладает высокой производительностью, по сравнению с другими двумя мембранами. При увеличении концентрации производительность уменьшается, идет обратная пропорциональная зависимость [1–5].

Список литературы

1. Шайхиев И.Г. Мембранная очистка воды, содержащей отработанные смазочно-охлаждающие жидкости / И.Г. Шайхиев, В.О. Дряхлов, Д.Д. Фазуллин // Черные металлы. 2020. № 7. С. 46-50. – Текст непосредственный.
2. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Savelyeva A.V., Savelyev S.N., Dryakhlov V.O., Shaikhiev I.G. Sewage treatment from heavy metal ions by the method of deposition, using sulfur-alkaline wastewater as a reagent / D.D. Fazullin, G.V. Mavrin, A.V. Savelyeva, S.N. Savelyev, V.O. Dryakhlov, I.G. Shaikhiev // International Journal of Green Pharmacy. 2017. Т. 11. № 4. С. S831-S835. – Текст непосредственный.
3. Shaikhiev I.G. Separation of oil emulsion using polyacrylonitrile membranes, modified by corona discharge / I.G. Shaikhiev, V.O. Dryakhlov, M.F. Galikhanov,

D.D. Fazullin, G.V. Mavrin // Inorganic Materials: Applied Research. 2020. Т. 11. № 5. С. 1160-1164. – Текст непосредственный.

4. Bonev B.S. Применение мембран для обработки флуидов (потоков) 1. морфология полимерных мембран / B.S. Bonev, И.Г. Шайхиев, В.О. Дряхлов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 8. С. 181-185. – Текст непосредственный.
5. Абдель-Гадир Б.М. Модифицированные растительные сорбенты для очистки воды от нефтяных загрязнений / Б.М. Абдель-Гадир, В.О. Дряхлов, Г.Г. Ягафарова, Г.М. Кузнецова, И.Р. Низамеев, Е.С. Нефедьев // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26. № 2. С. 75-79. – Текст непосредственный.

Применение метода сверхкритического водного окисления для утилизации сточных вод различного происхождения на примере аффинажного производства и полигонных фильтратов

Аетов А. У.

Старший преподаватель

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Фан М. К.

Преподаватель

Бакнинский промышленно-технический колледж, Вьетнам

Соловьев В. О.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: рассмотрен процесс сверхкритического водного окисления сточных вод различного происхождения: аффинажного производства ОАО «Красцветмет», а также проб вод рекультивации земельного участка со свалкой отходов на 9 км Велижанского тракта г. Тюмени. Получены графические зависимости влияния температуры на значение ХПК. Результаты свидетельствуют о перспективности использования данной технологии для очистки сточных вод и возможности её масштабирования.

Ключевые слова: сверхкритическое водное окисление, промышленные отходы, очистка промышленных сточных вод, химическое потребление кислорода

Проблема загрязнения окружающей среды высокотоксичными промышленными стоками остается одной из наиболее острых экологических проблем. Традиционные методы водоочистки (механические, биологические, реагентные) часто оказываются малоэффективны при переработке стоков с высоким содержанием стойких органических загрязнителей или требуют значительных временных затрат. В связи с этим возрастает интерес к перспективным деструктивным методам, среди которых особое место занимает сверхкритическое водное окисление (СКВО) [1].

Вода в сверхкритическом состоянии (СК-Н₂O) приобретает уникальные свойства: при переходе за критические параметры ($T > 374^{\circ}\text{C}$ и $P > 22,1 \text{ МПа}$) полярная

в жидком состоянии вода становится практически неполярной, что обеспечивает ее неограниченную смешимость с газами (кислородом, воздухом) и органическими соединениями. Помимо окислительных процессов, сверхкритическая вода в комбинации с различными реагентами применима для проведения гидролиза, гидратации, реакций с участием углерод-углеродных связей (как их образования, так и расщепления), а также гидрирования и иных превращений [2].

Принципиальным отличием метода СКВО от традиционных подходов к утилизации сточных вод является не только экологическая безопасность процесса, но и его энергосберегающий характер. В продуктах окисления в сверхкритической воде отсутствуют диоксины и оксиды азота, а такие токсичные соединения, как аммиак и цианиды, разлагаются до CO_2 , H_2O и N_2 . Помимо высоких массообменных характеристик и малой продолжительности окисления, важным преимуществом технологии выступает осаждение неорганических примесей, теряющих растворимость в сверхкритической воде. Данная особенность создает предпосылки для рециклинга ценных элементов, содержащихся в отходах производства. [3–5].

Развитие данного научно-технологического направления первоначально было связано с решением задач оборонной и химической промышленности, однако в настоящее время сфера его применения существенно расширяется. Вышеизложенное послужило основанием для проведения настоящего исследования, целью которого явилась экспериментальная оценка эффективности метода сверхкритического водного окисления применительно к утилизации сточных вод различного происхождения. В качестве объектов исследования выступали два типа промышленных сточных вод.

Первый объект — промышленный сток участка нейтрализации, пылеулавливания и газоочистки аффинажного производства ОАО «Красцветмет». ОАО «Красцветмет» является одним из крупнейших мировых производителей драгоценных металлов и изделий из них, перерабатывающим все виды минерального и вторичного сырья. Объем сброса сточных вод предприятия на очистные сооружения составляет значительную величину, что обуславливает необходимость поиска эффективных методов их очистки.

Второй объект — пробы сточных вод ПВ-1, отобранные на участке рекультивации земель со свалкой отходов, расположенной на 9 км Велижанского тракта г. Тюмени.

Экспериментальное исследование процесса утилизации сточных вод проведено на установке непрерывного действия с проточным реактором [6]. В качестве окислителя в процессе окисления использован кислород воздуха. Принципиальная схема установки представлена на рис. 1.

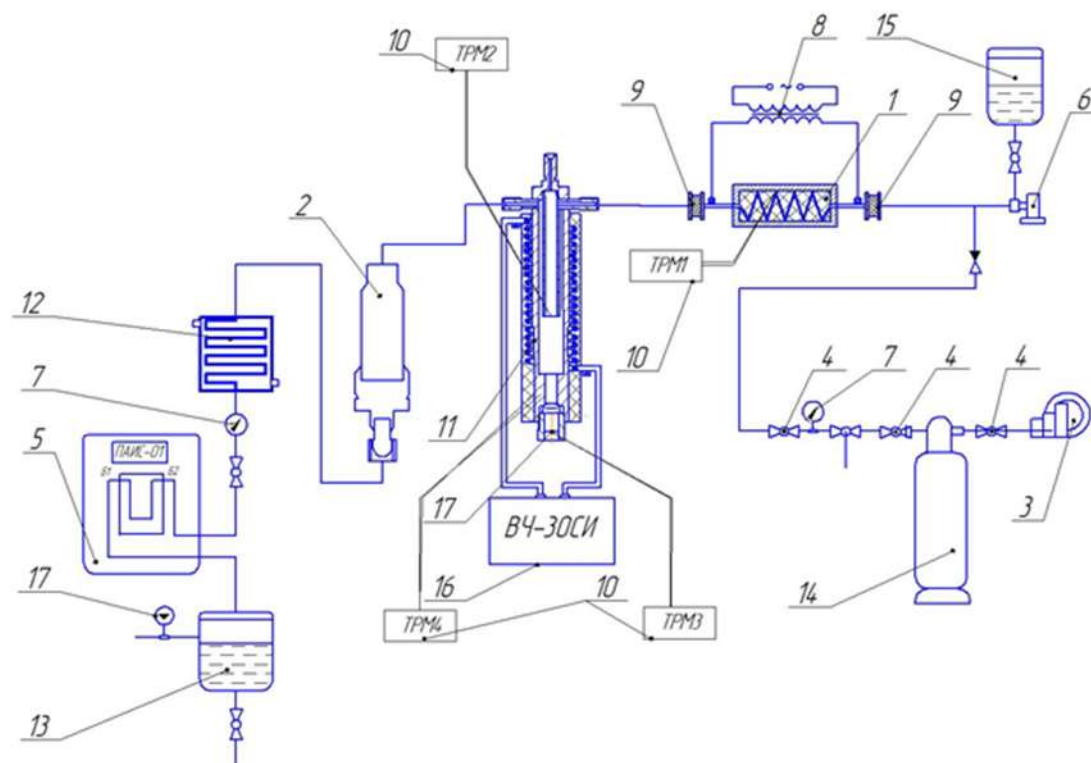


Рис. 1. Схема проточной установки с каталитическим блоком для утилизации водного стока:

1 – теплообменник для нагрева водного стока; 2 – каталитический участок; 3 – компрессор воздушный; 4 – вентиль; 5 – pH метр; 6 – насос высокого давления; 7 – манометр; 8 – понижающий трансформатор; 9 – токоизолирующий элемент; 10 – датчик температуры (термопара); 11 – реактор с индукционным нагревом; 12 – холодильник; 13 – емкость сбора очищенного стока; 14 – ресивер; 15 – емкость загрузки неочищенного стока; 16 – индукционный нагреватель; 17 – расходомер

Процесс осуществляется следующим образом: Исходный промышленный сток из емкости 15 подается насосом высокого давления 6 в теплообменник 1, одновременно с этим воздух сжимается компрессором 3 и через ресивер 14 также поступает в теплообменник. В теплообменнике происходит предварительный нагрев смеси за счет понижающего трансформатора 8. Далее смесь направляется в реактор 11, где создаются сверхкритические условия, и протекает реакция окисления. Нагрев смеси в реакторе осуществляется с помощью высокочастотного индукционного нагревателя 16. Продукты реакции

охлаждаются в холодильнике 12, проходят через рН-метр 5 и поступают в емкость сбора очищенного стока и отделитель газов 13. Объем газов измеряется расходомером газовым. Неорганические соединения, не растворившиеся в сверхкритической воде, выпадают в осадок и удаляются из нижней части реактора. Контроль давления в системе осуществляется манометрами, температуры — термопарами с электронными терморегуляторами. Расход воздуха измеряется газовым расходомером.

Критерием эффективности очистки служили показатели химического потребления кислорода (ХПК). Данный параметр отражает совокупное содержание органических соединений в воде, определяемое по объему кислорода, израсходованного на их химическое окисление, и выступает в роли обобщенной характеристики степени загрязнения сточных вод [7].

Анализ ХПК осуществлялся бихроматным методом в соответствии с ГОСТ Р 52708-2007 с использованием анализатора «Эксперт-003-ХПК». Сущность метода заключается в обработке пробы воды серной кислотой и бихроматом калия при заданной температуре в присутствии катализаторов.

Оценкой параметра эффективности окисления являлась конверсия процесса, определяемая по формуле:

$$X = 1 - \frac{ХПК_к}{ХПК_н}, \quad (1)$$

где $ХПК_к$ — ХПК после проведения эксперимента, $ХПК_н$ — ХПК исходного стока.

Для исследования процесса сверхкритического водного окисления сточных вод проведены серии экспериментов с пятикратным повторением для обеспечения воспроизводимости результатов. Давление в экспериментах поддерживалось на уровне, обеспечивающем сверхкритическое состояние воды. Температура варьировалась в диапазоне от критической до 500–600°C, при этом в каждом последующем эксперименте ее увеличивали по сравнению с предыдущим.

Эксперименты для данного типа стоков проводились при давлении 22,5 МПа и до температуры 500°C. Исходное значение ХПК составляло 9500 мгО₂/л. На рис. 2 представлена зависимость значений ХПК от температуры процесса.

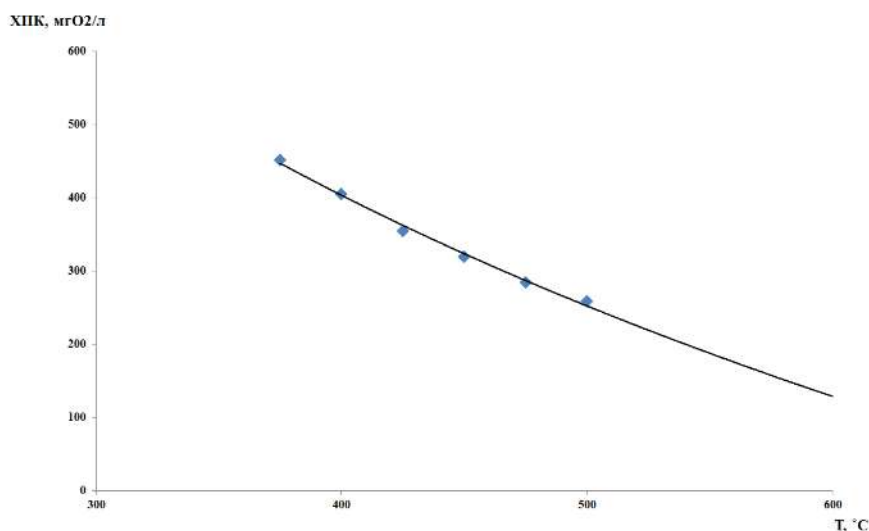


Рис. 2. Зависимость значений ХПК (мгО₂/л) от влияния температуры процесса СКВО при Р=22,5 МПа

По графику видно существенное понижение показателя ХПК с ростом температуры. Минимальное достигнутое значение составило 259 мгО₂/л при температуре 500°С. Эффективность процесса при этом достигла 97%.

Количественные химические анализы проб сточных вод, представленных в таблицах 1 и 2, были проведены в центре химико-аналитических исследований ФИЦ «Казанский научный центр Российской академии наук», Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова.

Таблица 1

Количественный химический анализ проб сточных вод аффинажного производства ОАО «Красцветмет»

Показатель	Образец	Ед. изм.
Фенолы, общие	0,098±0,006	мг/дм ³
Формальдегиды	0,93±0,05	мг/дм ³
Нефтепродукты	0,82±0,21	мг/дм ³

По результатам количественного химического анализа следует отметить практически полное обезвреживание от анализируемых компонентов.

В ходе проведения экспериментов была выявлена перспективная возможность реализации процесса СКВО с целью выделения ценных неорганических соединений, содержащихся в стоках аффинажного производства. Для решения

данной задачи потребуется проведение дополнительных исследований с увеличенным объемом перерабатываемых стоков.

Для другого типа стоков, характеризующегося более высокой исходной загрязненностью, эксперименты проводились при давлении 25,5 МПа и температурах до 600 °С. Исходное значение ХПК составляло 382000 мгО₂/л, водородный показатель – 9,20. На рис. 3 представлена зависимость значений ХПК от температуры процесса.

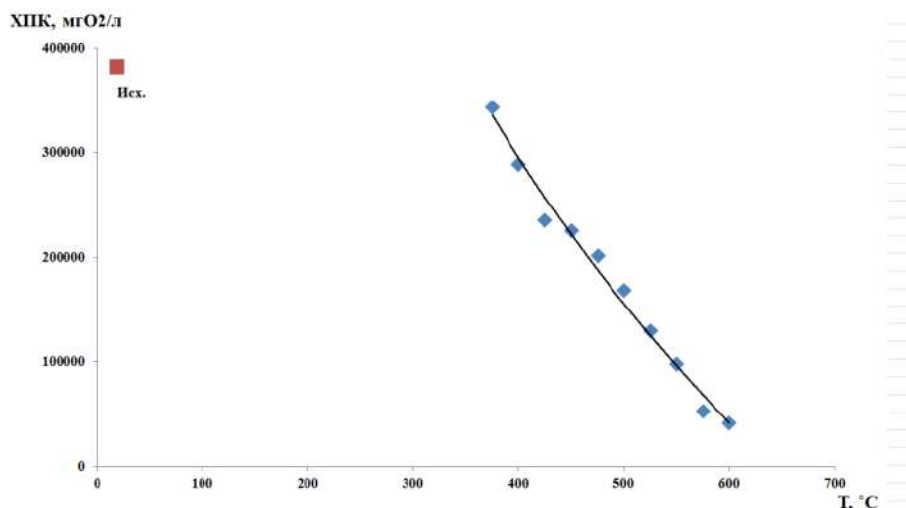


Рис. 3. Зависимость значений ХПК (мгО₂/л) от влияния температуры процесса СКВО при Р=25,5 МПа

Анализ полученных данных свидетельствует о существенном снижении ХПК с ростом температуры. При температуре 600°С значение ХПК снизилось до 41345 мгО₂/л. Эффективность окисления, рассчитанная по формуле конверсии, составила 89 %.

В таблице 2 представлены результаты количественного анализа проб исходной сточной воды и продукта реакции, полученного при температуре 575°С и давлении 25,5 МПа.

Таблица 2

Количественный химический анализ проб сточных вод полигона г. Тюмени

Показатель	Образец	Ед. изм.
Фенолы, общие	0,182±0,056	мг/дм ³
Формальдегиды	1,58±0,55	мг/дм ³
Нефтепродукты	15,0±3,8	мг/дм ³

Проведенные исследования позволяют утверждать, что метод сверхкритического водного окисления с использованием в качестве окислителя кислорода воздуха демонстрирует высокую результативность применительно к переработке жидких отходов различного происхождения. Для стоков аффинажного производства с умеренным уровнем загрязнения достигается практически полное разложение органических компонентов, что открывает перспективы создания замкнутых водооборотных циклов на предприятиях цветной металлургии. Для стоков с экстремально высоким содержанием органики, характерных для полигонов захоронения отходов, технология обеспечивает многократное снижение загрязненности, однако требует дальнейшей доработки в части выбора оптимальных параметров. Кроме того, подтверждена принципиальная возможность извлечения неорганических компонентов, выпадающих в осадок в сверхкритических условиях, что имеет особую ценность для металлургических производств, стремящихся к извлечению всех полезных составляющих перерабатываемого сырья. Для подбора оптимальных параметров утилизации исследованных стоков, особенно тюменского полигона, требуются дополнительные исследования, включающие полный химический анализ исходных образцов и продуктов реакции (жидкой, газовой фаз и твердого осадка), а также изучение теплофизических свойств сточных вод для целей моделирования и масштабирования процесса.

Работа выполнена за счет предоставленного в 2025 году Фондом науки и технологий Республики Татарстан гранта на осуществление фундаментальных и поисковых исследований в научных и образовательных организациях, предприятиях и организациях реального сектора экономики Республики Татарстан (соглашение №25).

Список литературы

1. Аетов А.У. Сверхкритическое водное окисление как перспективная технология утилизации стоков с использованием гетерогенных катализаторов / Аетов А.У. // VII Семинар памяти профессора Ю.И. Ермакова «Гомогенные и закрепленные металлокомплексы в качестве катализаторов для процессов полимеризации, нефтехимии и тонкого органического синтеза» : сборник тезисов, Казань, 29 сентября – 3 октября 2025 г. – Новосибирск : Институт катализа СО РАН, 2025. – С. 147–148.

2. Аетов А.У. Сверхкритические флюидные технологии как инструмент «зеленой» химии в лесопромышленном комплексе / Аетов А.У., Хабриев И.Ш., Саерова К.В. // Деревообрабатывающая промышленность. – 2025. – № 4. – С. 34–47.
3. Aetov A.U. Treatment of wastewater from a petrochemical industry using supercritical fluid technologies / A.U. Aetov, F.M. Gumerov, Z.I. Zaripov, S.V. Mazanov, R.A. Usmanov // Международная научная конференция, посвященная 110-летию Академика Солтана Джафар оглы Мехтиева «Мономеры и современные проблемы нефтехимии» : сборник докладов, Баку, 19–20 декабря 2024 г. / State Agency of Science and Higher Education of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. – Баку, 2024. – С. 233–234.
4. Yin J. Study on the synergistic effect of sludge-based supercritical water gasification-supercritical water oxidation-solid oxide fuel cell system for power generation and solar thermal utilization / J. Yin, X. Ning, Y. Ma // International Journal of Hydrogen Energy. – 2025. – Т. 109. – С. 306–324.
5. Xu X. Synergistic mechanism of polymer and asphaltene in supercritical water oxidation treatment of polymer-containing oily sludge: degradation pathway and nitrogen transfer / X. Xu, P. Zhang, X. Luo // Journal of Hazardous Materials. – 2025. – Т. 494. – С. 138627.
6. Аетов А.У. Кинетика реакции окисления олеиновой кислоты пероксидом водорода в водной среде в сверхкритических флюидных условиях / А.У. Аетов, К.В. Саерова, В.В. Бронская, Л.Л. Закирова, А.А. Маннанова // Вестник технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 12. – С. 30–36.
7. Аетов А.У. Окисление системы «вода-фенол-ацетон» в сверхкритических флюидных условиях / А.У. Аетов, К.В. Саерова, В.В. Бронская, Л.О. Рыбакова, А.А. Кабанов, Л.Л. Закирова // Вестник технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 12. – С. 42–48.

Определение статической сорбционной ёмкости хитина из панцирей моллюска *Helix pomatia* по отношению к ионам хрома (VI)

Аешин Н. С.

Студент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Воронин Н. А.

Студент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Сомин В. А.

Заведующий международной кафедрой ЮНЕСКО инженерной экологии

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Ефрюшин Д. Д.

Доцент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Аннотация: в работе приводятся результаты исследований по определению статической сорбционной ёмкости хитина, полученного из панцирей моллюска *Helix pomatia*, по отношению к ионам хрома (VI). Установлены статические характеристики сорбции, которые показали, что максимальная емкость хитина по ионам хрома (VI) составляет 26 мг/г. Исследование проводилось в лабораторных условиях с использованием фотоколориметрического метода с дифенилкарбазидом для определения ионов хрома (VI) в анализируемых растворах.

Ключевые слова: сорбция металлов, хитин, сорбционная ёмкость, хром (VI)

Одной из актуальных проблем в настоящее время является ухудшение качества водных ресурсов, в том числе их загрязнение соединениями тяжелых металлов, при попадании которых в окружающую среду наблюдается возникновение ряда негативных последствий для экосистем и здоровья человека ввиду высокой их токсичности. Помимо этого, тяжелые металлы имеют способность к биоаккумуляции, а также обладают мутагенным эффектом.

В подавляющем большинстве случаев, техногенным источником поступления в окружающую среду соединений тяжелых металлов (никеля, хрома, железа, кадмия, кобальта и других) является сброс недостаточно очищенных

стоков, образуемых производствами химической, нефтехимической, металлургической и другими отраслями промышленности, а также при разработке месторождений полезных ископаемых. В целях недопущения загрязнения компонентов окружающей среды соединениями тяжелых металлов требуется очистка стоков до установленных показателей (нормативов), при которых допускается их сброс в водные объекты или оборотное использование очищенной воды в технологическом процессе.

Производственная практика показывает, что среди методов удаления соединений металлов из сточных вод большое распространение получил процесс адсорбции различными материалами, которыми могут являться как природное сырье, так и искусственные компоненты.

Хитин – природный материал, наибольшее количество которого имеется в составе твердых тканей ракообразных, грибов, а также моллюсков. В результате проведения деацетилирования хитина получают хитозан [1–3].

Нами был получен хитин путем растворения панцирей моллюска вида *Helix pomatia* в 5%-ном растворе азотной кислоты (HNO_3). В дальнейшем он был промыт дистиллированной водой до нейтрального значения pH, обезвожен для удаления свободной влаги и затем использовался для проведения сорбции ионов шестивалентного хрома из водных растворов.

Анализ ионов хрома в водных растворах проводился фотоколориметрическим методом с дифенилкарбазидом [4], который основан на окислении хрома (VI) до хрома (III) с образованием соединения дифенилкарбазоната хрома (III), имеющего красно-фиолетовый цвет [5]. При пропускании через раствор света с длиной волны 540 нм влияние окраски реагентов на окраску образуемого комплекса сводится до ничтожно малого, поэтому эксперименты проводились при данной длине волны.

Для определения статической сорбционной емкости (СЕ) хитина в анализируемые растворы с начальными концентрациями ионов хрома от 10 до 1500 мг/л вносилась навеска хитина массой 1 г. Емкости с растворами и хитином активно перемешивались на механической мешалке в течение 30 минут (время достижения сорбционного равновесия определено исследованиями ранее), после чего из емкостей отбирались аликвотные части раствора для анализа. Результаты исследований представлены на рис. 1.

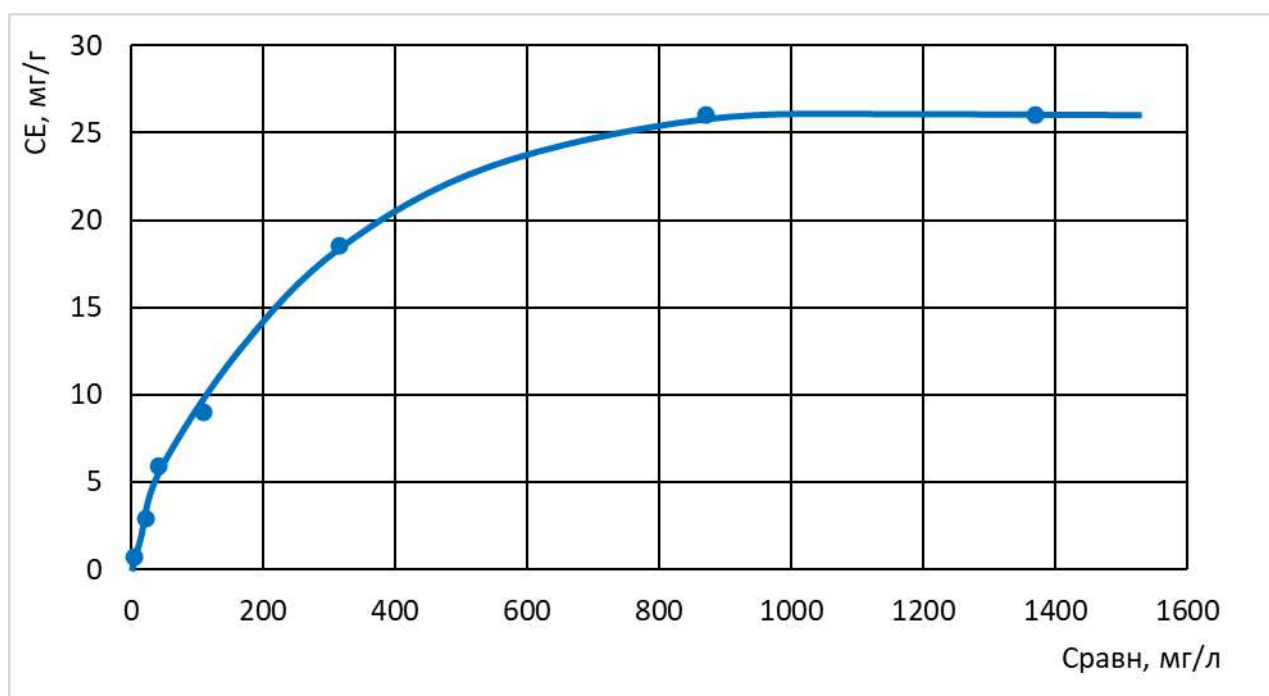


Рис. 1. Зависимость статической сорбционной емкости панцирей *Lissachatina fulica* и *Helix Pomatia* от равновесной концентрации ионов Cr^{6+}

Как видно из рисунка 1, в диапазоне равновесных концентраций от 10 до 1500 мг/л зависимость имеет возрастающий характер, максимальное значение сорбционной емкости хитина в 26 мг/г достигается при равновесной концентрации 900 мг/л.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что хитин, полученный из панцирей моллюска вида *Helix pomatia* может быть использован для удаления из воды ионов хрома (VI).

Список литературы

1. Касьянов Г.И., Кубенко Е.Г. Разработка технологии получения хитозана из панциря гаммаруса азовского. Краснодар: Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 2013. С. 69-72.
2. Франченко Е.С., Тамова М.Ю., Сорокоумов И.М. [и др.] Получение хитозана из панциря речных раков. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология, 2005. С. 125-126.
3. Солдатова С. Ю. Разработка технологии получения хитозана из панцирь-содержащего сырья. Вестник Нижневартковского государственного университета, 2015. С. 48-56.

4. Иванов Ю.С., Никандров А.Б., Кузнецов А.Г. Производство сульфатной целлюлозы: Уч. пособие. Ч. 1. СПб, 2017. 77 с.
5. ПНД Ф 14.1:2.52-96. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов хрома в природных и сточных водах фотометрическим методом с дифенилкарбазидом. Москва: 2004. 18 с.

О возможности использования шишек деревьев в качестве нефтесорбентов (обзор литературы)

Акберова А. Р.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Мубаракшин А. А.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: проведен анализ мировой и отечественной литературы по использованию биомассы шишек деревьев хвойных пород в качестве нефтесорбентов. Выявлена крайне низкая освещенность данного вопроса в мировой литературе. Определено, что значения максимальной сорбционной емкости по нефти у шишек деревьев сопоставимы с другими целлюлозосодержащими нефтесорбентами. Показана перспективность использования плазмохимической обработки для модификации шишек деревьев по сравнению с химической обработкой.

Ключевые слова: шишки деревьев, разливы нефти, водная поверхность, удаление

Разливы нефти и нефтепродуктов приобретают в современном мире угрожающий характер. Процессы добычи нефти, транспортировки трубопроводным и водным транспортом, переработки, хранения и ряд других операций способствуют попаданию углеводородов в объекты окружающей природной среды. Особенно опасно попадание углеводородов, из которых в основном состоят нефть и продукты ее переработки, в водные объекты. Ввиду, как правило, меньшей плотности воды и весьма малой растворимости углеводородов в воде, последние образуют на поверхности водных объектов соответствующие пятна, которые под действием волн и течений быстро распространяются на водной поверхности, загрязняя большие площади [1]. Определено, что 1 т нефти способна загрязнить 12 км² водной поверхности [2].

Для ликвидации аварийных разливов нефти на водной поверхности применяют различные методы: механические, физико-химические, термические, биологические в зависимости от толщины пленки углеводородов и площади распространения [3]. Как показывает анализ мировой литературы, наиболее часто используемым и эффективным методом ликвидации разливов является сорбционный, который заключается в нанесении на поверхность нефтяного пятна сорбентов, поглощающих загрязнение, сбор загрязненного материала и последующей регенерации или утилизации отработанных нефтесорбентов [4]. В настоящее время в мире известно более 200 коммерческих нефтесорбентов для ликвидации разливов углеводородов с водной поверхности. Однако сдерживающим фактором использования последних является дороговизна, невысокая нефтеемкость и отсутствие в местах аварийных разливов.

В связи с вышеизложенным, в последнее время интенсивно развивается инновационное направление в области экологической безопасности – использование отходов промышленного и сельскохозяйственного производства в качестве нефтесорбентов [5]. Наиболее перспективными, дешевыми, эффективными, широкодоступными сорбционными материалами для удаления углеводородов с водной поверхности являются целлюлозосодержащие отходы от переработки сельскохозяйственного сырья и древесной биомассы. Так, в обзорных работах нами показано, в частности, что солома [6, 7], плодовые оболочки зерен злаковых [8, 9], опилки [10] и кора [11] деревьев также являются эффективными нефтесорбентами.

Одним из компонентов древесной биомассы, который не нашел должного применения, являются шишки деревьев хвойных пород. При вырубке деревьев, последние в больших количествах остаются на местах заготовки древесины. При попадании на земную поверхность, шишки, в лучшем случае, служат источником пищи лесным птицам и грызунам или являются источником для выращивания молоди деревьев в лесхозах.

Однако, как показано в обзорных работах [12–18], биомасса шишек является эффективным сорбционным материалом для удаления различных загрязнителей из природных и сточных вод. В этой связи, исследовалась возможность использования биомассы шишек хвойных деревьев в качестве нефтесорбентов по результатам исследований российских и зарубежных ученых.

Так, определялась возможность использования шишек ели обыкновенной (*Picea abies*) в качестве нефтесорбента. Установлено, что в не активированном виде объект исследования непригоден к использованию в качестве сорбирующего материала для ликвидации последствий разливов нефти. Авторами подобран наиболее эффективный способ активации шишек, включающий такие стадии как обработка 1 %-ными растворами H_3PO_4 и $NaOH$ с последующей карбонизацией и измельчением. По результатам обработки достигнуто увеличения показателя максимальной нефтеемкости с 2,11 до 5,04 г/г. Установлено, что сорбирующие свойства исследуемого сорбционного материала увеличиваются по отношению к нефти с уменьшением размера частиц и концентрации раствора-активатора [19-21].

Чешуйки шишек лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) исследовались в качестве сорбционного материала для удаления пленок нефти с водной поверхности [22, 23]. Определено, что нативные чешуйки шишек лиственницы имеют значение максимальной нефтеемкости в статических условиях по девонской и карбоновой нефти 4,46 г/г и 5,73 г/г, соответственно. В динамических условиях названный показатель имеет значения 4,76 г/г и 6,15 г/г. Для увеличения сорбционных характеристик, чешуйки подвергались обработке высокочастотной емкостной (ВЧЕ) плазмой пониженного давления в атмосфере аргона с пропаном в соотношении 70:30. Модификация ВЧЕ плазмой пониженного давления позволила увеличить значение максимальной нефтеемкости по девонской нефти в статических условиях с 4,46 г/г до 6,84 г/г, по нефти карбонового отложения – с 5,73 г/г до 7,95 г/г. В динамических условиях показатель максимальной нефтеемкости по девонской нефти увеличился с 4,76 г/г до 7,93 г/г, по карбоновой нефти – с 6,15 г/г до 8,60 г/г. Следует отметить, что значение максимального водопоглощения у плазмомодифицированных чешуек шишек уменьшилось с 3,55 г/г до 1,24 г/г. При проведении экспериментов по удалению 3 см³ нефтей с водной поверхности, эффективность плазмообработанных образцов чешуек шишек составила при извлечении нефти девонского отложений составила 98,73 %. Для нативных чешуек данный показатель составил 85,27 %. По нефти карбонового отложений эффективность удаления пленки нефти плазмомодифицированными и нативными образцами сорбционного материала составили 99,02 % и 89,25 %, соответственно.

Сведений по использованию биомассы шишек хвойных пород деревьев в зарубежных литературных источниках не обнаружено. Данное обстоятельство делает вышеназванное направление перспективным для научных исследований. Также перспективна модификация шишечной биомассы ВЧЕ плазмой пониженного давления в сравнении с химической модификацией, которая имеет ряд недостатков, таких как необходимость создания модифицирующих растворов, нейтрализация и очистка отработанных растворов, наличие самих реагентов и т.д.

Список литературы

1. I.B. Ivshina, M.S. Kuyukina, A.V. Krivoruchko et al. Oil spill problems and sustainable response strategies through new technologies // Environmental Science: Processes & Impacts. 2015. Vol.17. No 7. P. 1201-1219.
2. Дедюхина Е.М., Дылгирова В.А., Сапожников К.Ю. и др. Масштаб поражения экосистем земли нефтяными катастрофами // Student. 2020. Т. 3. № 12. С. 1209-1216.
3. Odoom J., Iorhemen O.T., Li J. Advances in adsorption for oily wastewater treatment: eco-friendly adsorbents and analytical insights // Energy, Ecology and Environment. 2024. P.1-30.
4. E.C. Emenike, J. Adeleke, K.O. Iwuozor et al. Adsorption of crude oil from aqueous solution: a review // Journal of Water Process Engineering. 2022. Vol. 50. Art. 103330. P.1-15.
5. S. Fürtauer, M. Hassan, A. Elsherbiny et al. Current status of cellulosic and nanocellulosic materials for oil spill cleanup // Polymers. 2021. Vol. 13. No 16. Article 2739. P. 1-30.
6. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И., Свергузова С.В., Дебердеев Т.Р. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 1. Пшеничная и рисовая солома (обзор мировой литературы) // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024. № 9. С. 11-22.
7. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И., Свергузова С.В., Дебердеев Т.Р. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 2. Ячменная и кукурузная солома (обзор

- мировой литературы) // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024. № 10. С. 27-36.
8. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И., Свергузова С.В., Дебердеев Т.Р. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 3. Плодовые оболочки зерен пшеницы и риса (обзор мировой и отечественной литературы) // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2025. № 2. С. 2-12.
 9. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И., Свергузова С.В., Дебердеев Т.Р. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 4. Плодовые оболочки зерен ячменя, овса и гречихи (обзор мировой и отечественной литературы) // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2025. № 3. С. 8-17.
 10. Шайхиев И.Г., Санатуллова З.Т., Шайхиева К.И., Дятлова А.А. Использование отходов деревопереработки для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с водной поверхности. 1. Использование нативных опилок (краткий обзор литературы) // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2026. № 1. С. 11-19.
 11. Шайхиев И.Г., Хаматгалимова Д.Н., Дебердеев Т.Р., Свергузова С.В. Кора деревьев - перспективный сорбционный материал для извлечения углеводородов из водных сред (обзор мировой и отечественной литературы) // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024. № 2. С. 10-20.
 12. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. 1. Сосновые // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 4. С. 127-141.
 13. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzova S.V. World experience in using pine cones to remove various pollutants from aquatic environments // Materials International. 2025. Vol. 7. No 1, Article 4. P. 1-29.
 14. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. 2. Еловые // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 5. С. 161-165.
 15. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. 3. Пихтовые // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 6. С. 160-164.

16. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. 5. Кедровые // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 16. С. 177-179.
17. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. 6. Кипарисовые // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 162-167.
18. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. 8. Араукариевые // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 10. С. 152-154.
19. Вторичное использование отходов предприятий лесопромышленного комплекса / С.В. Мещеряков, И.С. Еремин, В.Д. Вишневский, Г.К. КАРИМОВ, // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2022. № 2. С. 64-70.
20. Еремин И.С., Каримов Г.К., Вишневский В.Д. Использование шишек ели обыкновенной в качестве адсорбента для ликвидации разливов нефти // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса». 2021. С. 744-747.
21. Каримов Г.К., Вишневский В.Д. Использование шишек и хвои ели обыкновенной в качестве адсорбента для ликвидации разливов нефти // Тезисы докладов 76-я Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ-2022». 2022. С. 58-59.
22. Мурашко Е.Э., Санатуллова З.Т., Шайхиев И.Г., Садыкова С.В. Влияние параметров обработки ВЧ плазмой пониженного давления на нефте-и водопоглощение компонентов *Larix sibirica* // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 17. С. 121-126.
23. Мурашко Е.Э., Шайхиев И.Г., Садыкова С.В. Влияние времени обработки ВЧ плазмой пониженного давления на нефте-и водопоглощение компонентов *Larix sibirica* // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды». Алушта. 2019. Т.1. С. 239-244.

Исследование нефтеемкости сорбционных материалов на основе гидрофобизированного бентонита

Атаманова О. В.

Профессор

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов

Проказов Н. Д.

Аспирант

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов

Аннотация: обоснована возможность применения сорбционных материалов на основе гидрофобизированного бентонита для извлечения из водной среды нефти и нефтепродуктов. Величина нефтеемкости достигает 1,95 г/г. Установлено, что наилучшей нефтеемкостью из исследованных обладают сорбенты на основе Саригюхского бентонита (Армения). Чуть менее (на 2,6 %) эффективен при нефтепоглощении бентонит Зырянского месторождения (Курганская обл., Россия).

Ключевые слова: гидрофобизированный бентонит, нефтепродукты, нефтеемкость, месторождение, эксперимент

В настоящее время нефть является одним из основных топливно-энергетических и сырьевых ресурсов, находя широкое применение во многих отраслях человеческой деятельности как в чистом виде, так и в виде нефтепродуктов. Вследствие этого объемы добычи, транспортировки, хранения и переработки нефти и нефтепродуктов (далее – НП) остаются высокими и неизбежно связаны с утечками, авариями и образованием отходов, которые являются источниками загрязнения окружающей среды. В результате наносится экологический ущерб гидросфере, почвенным покровам, атмосфере и живым организмам, в том числе человеку [1, 2].

Одним из наиболее популярных методов извлечения нефти и НП из водной среды является метод адсорбции [3]. Установлено [4], что гидрофобные сорбенты наилучшим образом сорбируют гидрофобные молекулы нефти и НП благодаря гидрофобным взаимодействиям. Поскольку гидрофобная поверхность слабо взаимодействует с водой и угол смачивания такой поверхности

водой большой ($>90^\circ$), капля воды с такой поверхности скатывается, не растекаясь. Это происходит потому, что поверхность не образует водородных связей с водой и имеет низкую поверхностную энергию. Когда гидрофобная поверхность погружена в воду, вода не может пристать к ней. Молекулы воды у поверхности вынуждены упорядочиваться, образуя более жесткую клатратоподобную структуру (гидрофобная гидратация). Это термодинамически не выгодно (сопровождается уменьшением энтропии системы). Система стремится избавиться от этого невыгодного состояния. Когда же молекула нефти приближается к гидрофобной поверхности, она «вытесняет» оттуда невыгодно структурированную воду. Разрушаются невыгодные структурированные слои воды как вокруг молекулы нефти, так и у поверхности взаимодействия. Высвобождаются молекулы воды в объем, где они могут двигаться более свободно (растет энтропия системы). Взамен образуются дисперсионные взаимодействия (силы Ван-дер-Ваальса) между неполярной поверхностью сорбента и неполярной молекулой нефти, которые энергетически выгодны. Таким образом, главной движущей силой является не столько прямое притяжение между нефтью и поверхностью сорбента, а стремление системы (воды) уменьшить общую свободную энергию, избавившись от больших площадей контакта неполярных веществ с водой. Этот процесс является энтропийно-выгодным, и способствует увеличению энтропии воды при освобождении из «клеток».

В последние десятилетия особую популярность для очистки сточных вод от различных поллютантов получили сорбенты на основе бентонита. Основными достоинствами бентонитовых сорбентов являются доступность и дешевизна глинистых материалов. Модифицированные разными способами (углеродными нанотрубками, глицерином и др.) бентонитовые сорбенты обеспечивают высокоэффективное извлечение из водных сред органических соединений, тяжелых металлов и др. [5]. Однако для извлечения из водных сред нефти и НП представляется целесообразным обеспечение гидрофобизации бентонитовых гранул с тем, чтобы увеличить гидрофобность поверхности сорбентов.

Материалы и методы. К исследованиям были приняты бентонитовые сорбенты четырех разных месторождений, выполненные путем окатывания и обжига при температуре 540°C (рис. 1). Гранулы сорбционных материалов каждого из четырех месторождений были обработаны гидрофобной пропиткой из кремнийорганических веществ (ООО «НПП Рогнеда», г. Ст. Купавна).

Гидрофобизация бентонита проводилась следующим образом. В чашку Петри на чистую марлю засыпалась заранее промытая в дистиллированной воде навеска бентонита массой 10 г. После этого в чашку заливалось 0,030 л гидрофобизирующей пропитки, которая представляла собой смесь кремнийорганических соединений, антисептических добавок и воды [6]. Пропитка навески происходит в течение 10 минут. Затем навеска извлекалась из раствора и подвергалась высушиванию в сушильном шкафу при температуре 105 °С до полного высыхания.

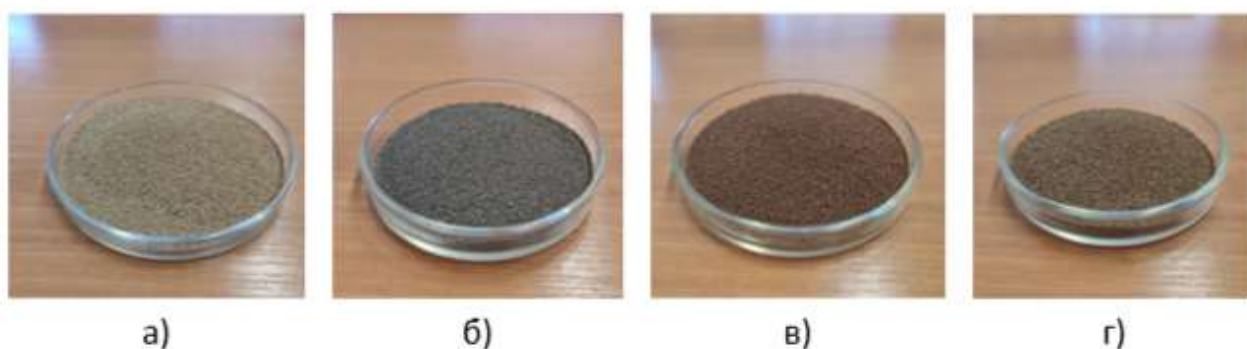


Рис. 1. Сорбционные материалы: а) бентонит Саригюхского месторождения, гидрофобизированный, термообработанный (ТО) при 540°С; б) бентонит Карасукского месторождения, гидрофобизированный, ТО при 540°С; в) бентонит Зырянского месторождения, гидрофобизированный, ТО при 540°С; г) бентонит Таганского месторождения, гидрофо-бизированный, ТО при 540°С

Нефтеемкость сорбционного материала определялась по следующей методике. Взвешенная металлическая сетка размещалась в чашке Петри и наливалось 50 см³ нефти. Сверху тонким слоем насыпался образец сорбента массой 1 г. При чем сорбент искусственно не перемешивался и был полностью погружен в нефть [7].

Через заданные периоды времени, составляющие 15; 30; 45; 60 мин.; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 12; 24 час. Через указанное время сетки с образцами извлекались, избыточная нефть стекала, а сами сорбенты с поглощенным НП взвешивались на весах аналитических марки Joanlab (Китай). Нефтеёмкость определяется по формуле (1):

$$HE = \frac{m_{\text{пог}}}{m}, \quad (1)$$

где $m_{\text{пог}}$ – масса поглощенной нефти, г; m – масса сорбента, г.

Исследования нефтеемкости проводились на примере нефти Куединского месторождения (ЦДНГ-2 ООО «Лукойл-Пермь», Россия). Также исследовалась сорбционная емкость изучаемых материалов по отношению к другим НП: бензину АИ-95; моторному маслу (ООО «Волга-ойл», Россия); мазуту марки М-100 (ООО «НЕФТЕКОМ», г. Саратов).

Обсуждение и результаты. Определение нефтеемкости гидрофобизированных бентонитов разных месторождений по отношению к четырем изучаемым НП, в зависимости от времени их взаимодействия позволило построить графические зависимости на рис. 2–5.

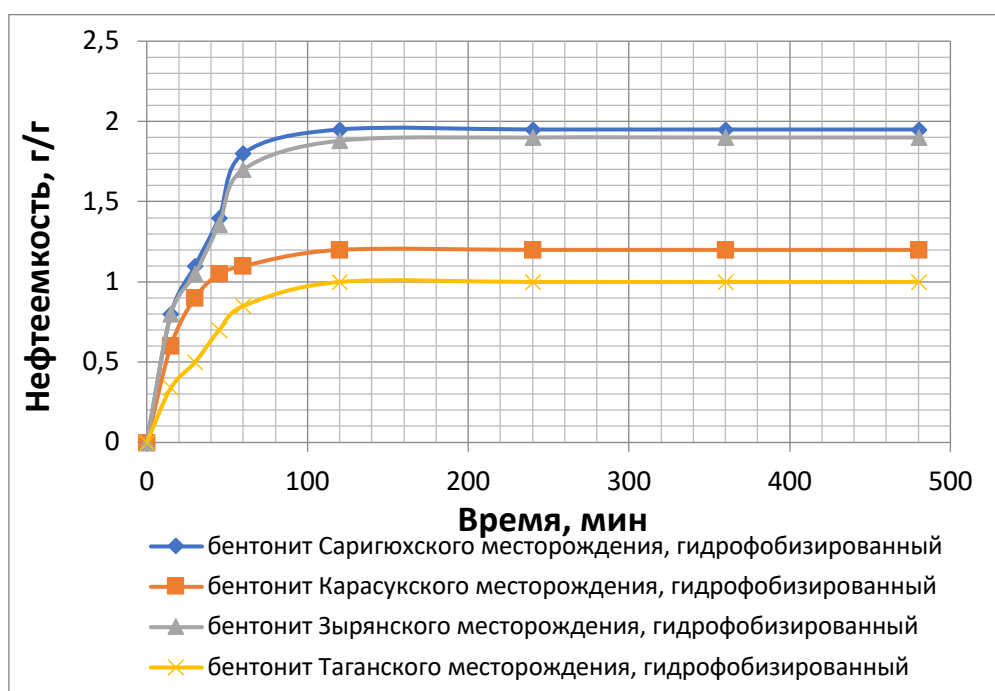


Рис. 2. Изменение нефтеемкости бентонитовых сорбционных материалов разных месторождений во времени

Эксперименты показали, что процесс сорбции нефти, как и НП, гидрофобизированными сорбентами на основе бентонита начинается с самого первого момента взаимодействия адсорбента и адсорбата. Активное поглощение нефти, как и бензина АИ-95, происходит в течение первых 80 мин. Наиболее активное поглощение моторного масла и мазута М-100 бентонитовыми сорбентами происходит в течение первых 60 мин. По достижении наибольших значений, процесс поглощения нефти и НП переходит в фазу насыщения, и далее величина нефтеемкости не увеличивается. Установленные максимальные значения сорбционной емкости для гидрофобизированного бентонита Саригюхского

месторождения: для нефти – 1,95 г/г; для бензина АИ-95 – 0,78 г/г; для моторного масла – 1,02 г/г; для мазута М-100 – 2,11 г/г. Этот вариант бентонитового сорбента показал максимальное значение нефтеемкости среди исследованных бентонитов четырех месторождений. Чуть менее (на 2,6 %) эффективен при нефтепоглощении оказался бентонит Зырянского месторождения, у которого максимальная величина нефтеемкости составила 1,90 г/г. Сорбционная емкость Зырянского бентонита по отношению к бензину АИ-95 – 0,75 г/г; по отношению к моторному маслу – 0,95 г/г; по отношению к мазуту М-100 – 2,05 г/г.

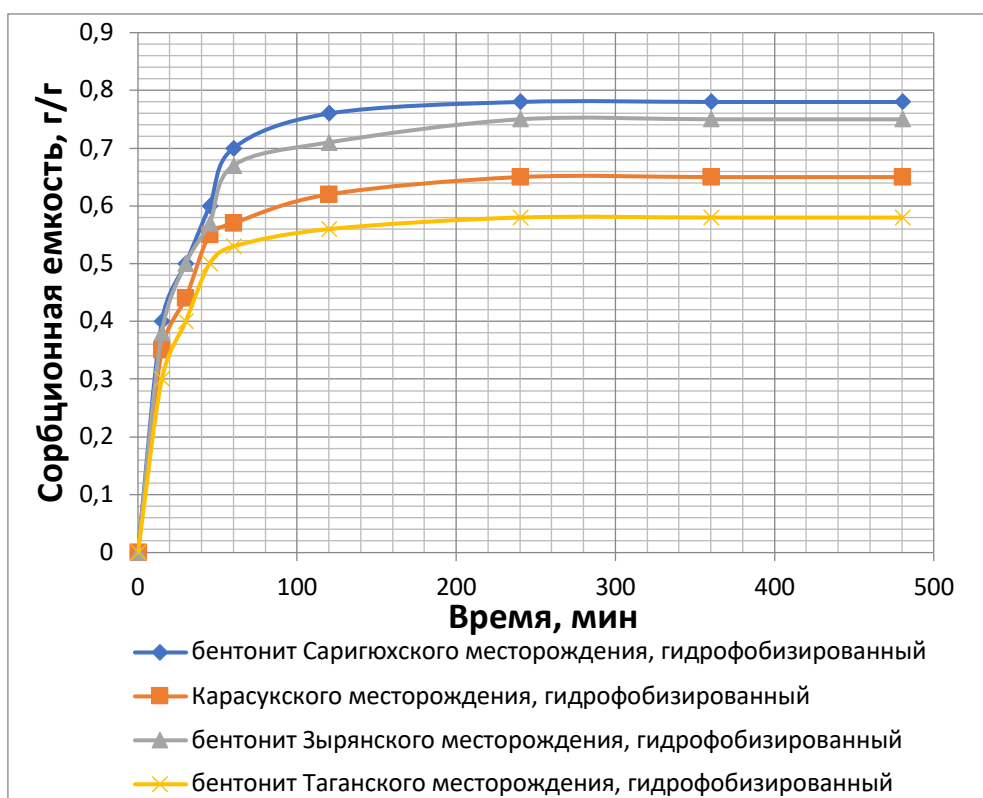


Рис. 3. Изменение сорбционной емкости бентонитовых сорбционных материалов разных месторождений по отношению к бензину АИ-95 во времени

Остальные два сорбционных материала на основе бентонита Карасукского и Таганского месторождений показали худшие результаты нефтеемкости.

Следует отметить, что тенденция насыщения гидрофобизированных бентонитовых сорбционных материалов нефтью и НП аналогична результатам ранее проводимых исследований нефтеемкости гидрофобных сорбентов другими авторами [8]. Это является косвенным подтверждением достоверности проведенных экспериментальных исследований.

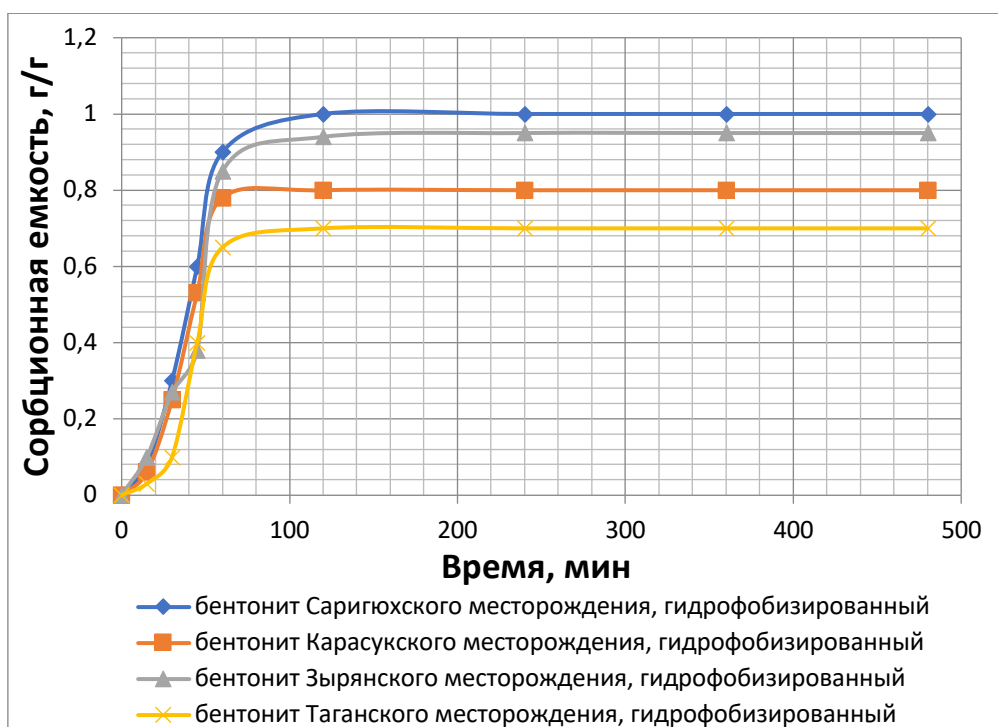


Рис. 4. Изменение сорбционной емкости бентонитовых сорбционных материалов разных месторождений по отношению к моторному маслу во времени

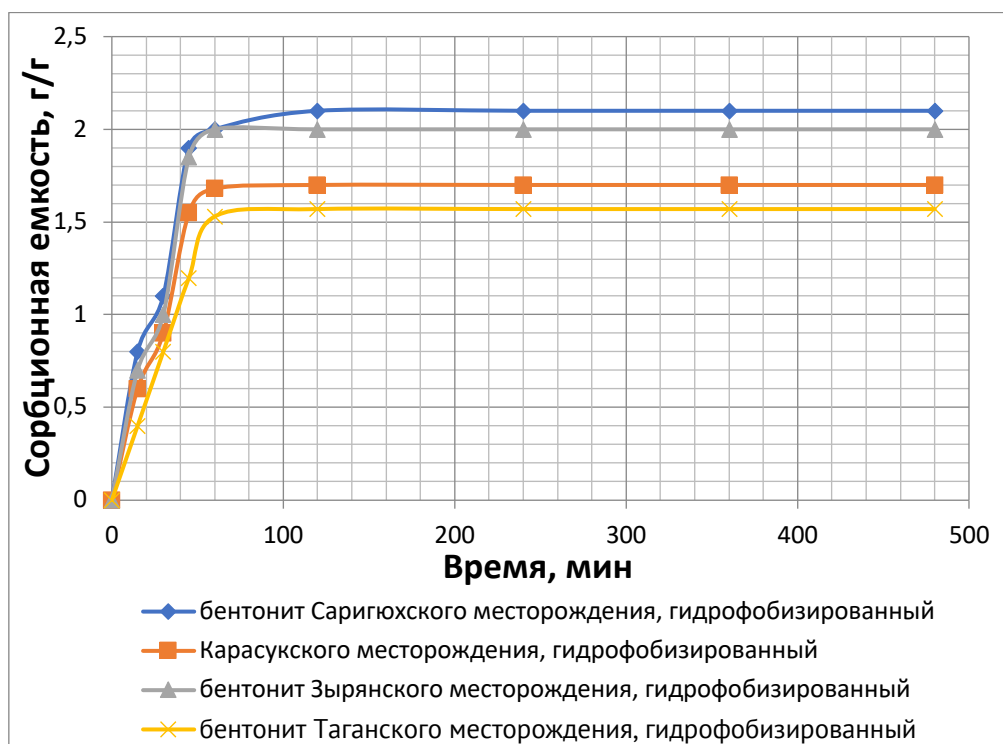


Рис. 5. Изменение сорбционной емкости бентонитовых сорбционных материалов разных месторождений по отношению к мазуту М-100 во времени

Выводы. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Сорбционные материалы из бентонита, гидрофобизированного гидрофобной пропиткой, целесообразно использовать для извлечения из водных сред нефти и НП. При этом величина сорбционной емкости достигает 1,95 г/г.

2. Исследованные сорбционные материалы из гидрофобизированного бентонита четырех бентонитовых месторождений показали, что наилучшей нефтеемкостью обладают сорбенты, на основе Саригюхского бентонита (Армения). Чуть менее (на 2,6 %) эффективен при нефтепоглощении бентонит Зырянского месторождения (Курганская обл., Россия).

Список литературы

1. Акимова А.С. Последствия загрязнения поверхностных и сточных вод нефтью и нефтепродуктами. / А.С. Акимова, Л.С. Филиппова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – 11. – DOI: 10.23670/IRJ.2022.125.102
2. Береснев А.В. Загрязнение природных вод и способы их очистки / А.В. Береснев, В.В. Котлярова // Научно-методический электронный журнал Концепт. – 2017. – 39. – с. 776 – 780.
3. Шайхиев И.Г. Исследование удаления нефтяных пленок с водной поверхности плазмообработанными отходами злаковых культур. 2. Лузгой пшеницы / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, С.М. Трушков, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического ун-та. – 2011. – № 13. – С. 129–135.
4. Шведчиков Г.В. Новая технология борьбы с нефтяными загрязнениями на основе гидрофобных и олеофильных сорбентов / Г.В. Шведчиков // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2010. – № 3. – С. 225–228.
5. Истрашкина М.В. Эффективность многокомпонентного адсорбционного фильтра по отношению к органическим соединениям с различной способностью к ионизации в водной среде (на примере *o*-толуидина, гидрохинона и *p*-динитробензола) / М.В. Истрашкина, О.В. Атаманова, Е.И. Тихомирова, Н.В. Веденеева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2016. - Т. 18. № 2(3). - С. 687-691.
6. Гусев С.В. Использование кремнийорганических гидрофобизаторов фирмы «Ваккер - Хеми» (Германия) для увеличения нефтеотдачи на нефтяных

месторождениях Западной Сибири / С.В. Гусев, В.В. Мазаев, Я.Г. Коваль // Нефть и газ. Известия высших учебных заведений. – Тюмень. – ТГНГУ. – 1997. - № 6. – С. 73-74.

7. Лим Л.А. Нефтеемкость сорбента: проблема выбора методики определения / Л.А. Лим, В.А. Реутов, А.А. Руденко, А.С. Чудовский // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 10. – С.144-150.
8. Хамзина Д.А. Очистка водных сред от нефтяных загрязнений гидрофобным карбонатным шламом : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических : 03.02.08 / Д. А. Хамзина. – Казань: КНИТУ, 2018. – 16 с.

Устройство и принцип работы вертикального нефтесборщика

Борисова Р. Р.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева

Хурамшин Д. Р.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева

Филиппов Д. В.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева

Мингазетдинов И. Х.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева

Аннотация: приводится схема вертикального устройства для очистки сточных вод от масел и нефтепродуктов с использованием сорбентов, непрерывной регенерацией и удалением загрязнителя.

Ключевые слова: нефтеемкость, флотация, сточные воды, нефтесборник, сорбент, фильтрация, биофильтры, пенополиуретан, очистка, нефтепродукты

Устройство для удаления нефтепродуктов из сточных вод включает корпус, заполненный водой и фильтрующей сорбционной загрузкой, бесконечный транспортер с элементами транспортировки в виде лотков и свободных роликов. Отличительной особенностью является то, что лента бесконечного транспортера оснащена окнами между лотками, а перемещение транспортера осуществляется цепной передачей, которая способна двигаться по вертикальной коробчатой конструкции с подвижными роликами. В верхней части конструкции расположены отжимные валики, установленные горизонтально поперек

транспортера, под которыми находится сетчатый отражатель и желоб для сбора нефтепродуктов. Над отжимными валиками закреплены наклонные направляющие, формирующий канал. На свободных роликах размещены ведомые звездочки для передачи движения транспортеру. В устройство входит ведущий вал с насечками, на котором закреплены две ведущие звездочки, а для противоположных направлений вращения отжимных валков навстречу друг другу предусмотрена промежуточная сателлитная звездочка.

Сточные воды, образующиеся при добыче и переработке нефти, содержат значительное количество нефтепродуктов, что делает их очистку важной экологической задачей. В рамках разработанного технического решения создана установка, включающая прямоугольный резервуар с входным патрубком для подачи загрязненной жидкости, выходным патрубком для отвода очищенной воды и дополнительным каналом для удаления отделившейся нефти. Внутри корпуса находится вода, подвергаемая обработке, и специально подготовленная сорбирующая засыпка, обеспечивающая эффективное отделение загрязнений. Конструкция предусматривает металлический внутренний каркас, состоящий из вертикальных стоек, верхнего поддерживающего элемента и нижнего опорного основания, между которыми размещены поперечные стержни с свободно вращающимися роликами, что обеспечивает надежную работу оборудования, его долговечность и высокую эффективность очистки сточных вод от нефтяных загрязнений. Ковшовый транспортер (2), снабженный расположенными перпендикулярно ленте ковшовыми секциями (3), передвигается именно по этим роликам. Непосредственно под транспортером, на верхнем участке конструкции (4), располагаются пара прессующих валиков (7). Возможно размещение дополнительных пар валиков в последовательных рядах с постепенным сужением расстояния между ними. Валики сверху ограничиваются направляющими листами (5), создающими узкий конфузный проход. Если предусмотрено использование нескольких рядов валков, пространство между ними может заполняться специальными перегородками (24), предотвращающими попадание гранул сорбента мимо щелей между валками [1].

Под отжимными валками размещен защитный экран с мелкой сетчатой структурой, который предотвращает проникновение мелких частиц в область сбора нефти, а непосредственно под зазором между валками установлен специальный желоб для сбора выдавленной нефти, оснащенный выпускным

патрубком для её отвода. Нижняя часть корпуса под контурным элементом каркаса оборудована мелкоячеистым фильтрующим барьером, не допускающим попадания гранул пенополиуретанового сорбента в выходной поток очищенной воды. Привод ковшового транспортера осуществляется с помощью электрического двигателя, соединенного с редуктором, передающим вращение ведущему валу цепи передач и валу отжимных валков. Для предотвращения проскальзывания ведущий вал имеет рифленую поверхность, аналогичную рифлению валков, а конструкция с сателлитом обеспечивает вращение валков навстречу друг другу, что надежно захватывает гранулы пенополиуретанового сорбента в рабочем зазоре и способствует эффективному восстановлению его свойств (рис. 1).

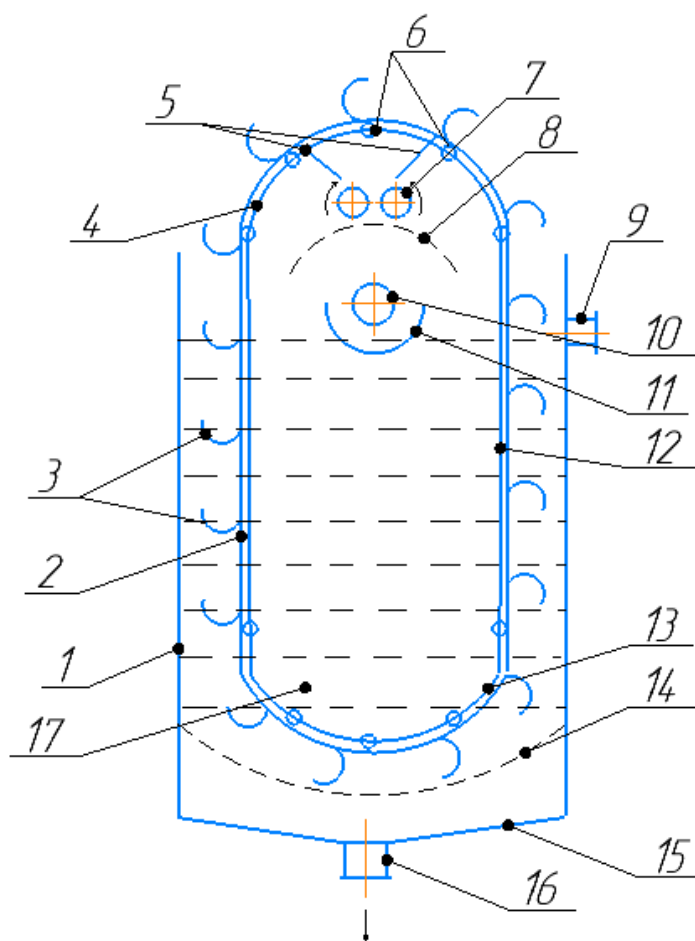


Рис. 1. Вертикальный нефтесборщик: 1 – корпус, 2 – ковшовый транспортер, 3 – лотки, 4 – верхний каркас, 5 – направляющие пластины, 6 – подвижные ролики, 7 – отжимные валики, 8 – сетчатый отражатель, 9 – патрубок подвода, 10 – патрубок отвода, 11 – желоб приема нефти и масел, 12 – вертикальные стойки, 13 – нижний каркас, 14 – фильтровальная сетка, 15 – нижнее днище, 16 – патрубок отвода воды, 17 – сорбционная загрузка

Работа данной установки строится на последовательном выполнении этапов, начиная с подачи загрязненной нефтью воды в резервуар через входной патрубок, при этом предварительно заполняется необходимое количество гранул пенополиуретанового сорбента, после чего при включении электрического двигателя крутящий момент передается через редуктор и главную звездочку на ведущий вал с рифленой поверхностью, что приводит в движение ковшовый транспортер, перемещающийся вдоль свободно вращающихся роликов, закрепленных на верхних, нижних и боковых элементах каркаса; в процессе движения ковша, проходя через окна, наполняются гранулами сорбента, которые затем направляются по направляющим пластинам, формируя плотный ряд и поступая в зазор между отжимными валками, одновременно с чем запускается привод отжимных валков, вращающихся под воздействием ведомой звездочки, при этом с помощью сателлитов оба вала вращаются навстречу друг другу, что обеспечивает эффективное отжимание нефтепродуктов из пропитавшихся гранул сорбента, восстанавливая их сорбционные характеристики и способствуя очистке воды [2].

При значительных уровнях загрязнения воды нефтепродуктами и высоких требованиях к качеству ее очистки предусмотрена возможность организации многоступенчатого ряда отжимных валков, расположенных последовательно. Выделившаяся нефть собирается в специальном желобе, предназначенном для приема масла и нефтепродуктов, откуда направляется наружу через патрубок отвода отжатой фракции. Для предотвращения попадания гранул сорбента в систему сбора нефти используется экранирующий сетчатый экран, изготовленный из сетки с плотной структурой. После завершения процедуры восстановления сорбирующие гранулы возвращаются обратно в рабочую зону резервуара, перенаправляя туда по роликам свободного хода. В нижней области корпуса расположена защитная мелкоячеистая сетка, предотвращающая случайное вымывание гранул сорбента через выходной патрубок очищенной воды.

Внедрение данного вертикального нефтесборщика позволит добиться высокой степени очистки сточных вод от нефтепродуктов и масляных загрязнений благодаря применению интенсивного механического отжима, который обеспечивает постоянное восстановление сорбционных характеристик материала, при этом единый приводной механизм с одним двигателем синхронно приводит в движение ковшовый транспортер и обеспечивает встречное вращение

отжимных валков, что значительно повышает надежность конструкции и упрощает техническое обслуживание, способствуя стабильности и эффективности процесса очистки [3].

Список литературы

1. Мингазетдинов И.Х., Сергеев Р.С., Сибгатуллина О.С. / Вертикальный нефтесборщик / Патент RU 219287 U1 МПК51 E02B 15/04, 11.07.2023.
2. Чикина Н.С., Мухамедшин А.В., Анкудинова А.В., Зенитова Л.А., Сироткин А.С., Гарабаджиу А.В. Снижение экологической нагрузки от разливов нефти и нефтепродуктов с помощью сорбента на основе пенополиуретана и отходов зерновых культур – 2009.
3. Богомолов А.В. Повышение эффективности процессов очистки сточных вод от нефтепродуктов / А.В. Богомолов, Н.И. Макарова // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 44–47.

Оценка эффективности высокоинтенсивных окислительных методов в очистке воды от фенола

Бхандари М. Р.

Студент

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

Иванцова Н. А.

Доцент

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

Аннотация: в работе исследована эффективность некоторых высокоокислительных методов деструкции фенольных соединений. Установлено, что фотохимическое окисление в присутствии интенсификаторов процесса пероксида водорода или катализатора Degussa P25 позволяет очищать воду от фенола с эффективностью выше 90%. Применение данных методов способствует снижению экологической нагрузки на водные объекты и обеспечивает соответствие очищенной воды нормативным требованиям.

Ключевые слова: фенол, очистка, электрохимия, УФ-излучение, озонирование, реактив Фентона, окисление, пероксид водорода

Введение

Во многих странах рост загрязнения водных объектов является актуальной и глобальной проблемой, требующей быстрого, эффективного и качественного решения. Сточные воды многих промышленных фабрик и производств имеют в своём составе органические примеси, которые не только сложно очистить, но и с которыми опасно взаимодействовать [1].

Примером соединения, принадлежащего к данной органической категории, служит фенол. Фенол – это высокотоксичное соединение, обладающее резким запахом и провоцирующее сильные химические ожоги. Также фенол оказывает влияние на центральную нервную систему в виде нарушения двигательной активности и потере сознания [2].

В связи с увеличенными объёмами загрязнённой сточной воды, ужесточением законодательства в области ПДК водных объектов, традиционные подходы и методы устарели, их эффективность уже не является высокой.

Перспективным решением является использование сильных окислителей или их комбинации [3].

Традиционными окислителями являются кислород, пероксид водорода, реактив Фентона, озон. Озон также обладает важным преимуществом: этот окислитель обеззараживает воду и насыщает её кислородом [3].

Также сейчас популярны и активно используются прогрессивные окислительные процессы – Advanced Oxidation Processes (AOPs). Основа этих методов построена на окислении органических соединений благодаря реакции с гидроксильным радикалом [4]. Методы AOPs преимущественно используются для очистки сточных вод и подразделяются на три основные категории: фотохимические, нефотохимические, а также гибридные и интегрированные подходы. Кроме того, в зависимости от фазового состояния катализатора, эти процессы могут быть классифицированы как гетерогенные (при использовании твердых катализаторов) или гомогенные (при применении растворенных катализаторов).

Целью данной работы является сравнительная оценка эффективности окисления фенола под действием различных окислителей и их комбинации.

В качестве объекта исследования был приготовлен раствор фенола с концентрацией 5 мг/л. Для определения содержания фенола в исследуемых водных образцах использовался фотоколориметрический метод, основанный на реакции с 4-аминоантипирином [5].

На рис. 1 представлена диаграмма результатов по эффективности некоторых высокоинтенсивных окислительных процессов в очистке воды от фенола. Время обработки во всех экспериментах составляло 15 мин.

В первой серии экспериментов проводилось озонирование (производительностью 1000 г озона в час с расходом смеси около 2 л/мин) раствора на лабораторной установке, включающей в себя генератор, и распределитель озона, реактор, сосуд с гопкалитом для разложения озона. Объем раствора составлял 100 мл. Спустя 15 минут эффективность эксперимента составила 37 %. Применение комбинированной окислительной обработки, состоящей из озонирования и добавления 0,5 мл 3 %-го раствора пероксида водорода, показало, что эффективность процесса – 41 %.

Во второй серии экспериментов проводилось электрохимическое окисление раствора фенола. Электролиз проводили в гальваностатическом режиме

с использованием источника постоянного тока DAZHENG PS-305D (Китай). Объем раствора составлял 150 мл. Электролитом выступил NaCl, 13 % в объеме 0,5 мл. Эффективность метода составила – 90 %.

В третьей серии экспериментов была выявлена достаточно высокая эффективность реактива Фентона для деструкции фенола. При проведении процесса окисления в исследуемый раствор фенола добавляли рассчитанные количества пероксида водорода (0,1 мл H_2O_2 3 %) и водного раствора сульфата железа (II) (5 мл FeSO_4 0,2 %). Объем пробы составлял 100 мл. Эффективность данного метода – 74 %.

Четвертая серия экспериментов заключалась в фотохимическом окислении водных растворов фенола. Установка включает в себя ртутно-кварцевые лампы низкого давления (РЛНД) типа ДРБ-8, семь кварцевых пробирок и металлический защитный корпус. Объем пробы составлял 60 мл. Спустя 15 минут прямого фотолиза (без использования окислителей) эффективность составила 46 %. При введении пероксида водорода (3 %) в систему, в объеме 0,1 мл, эффективность возросла до 94 %. Фотокаталитические испытания в присутствии Degussa P25 показали, что эффективность удаления фенола составила – 89 %.

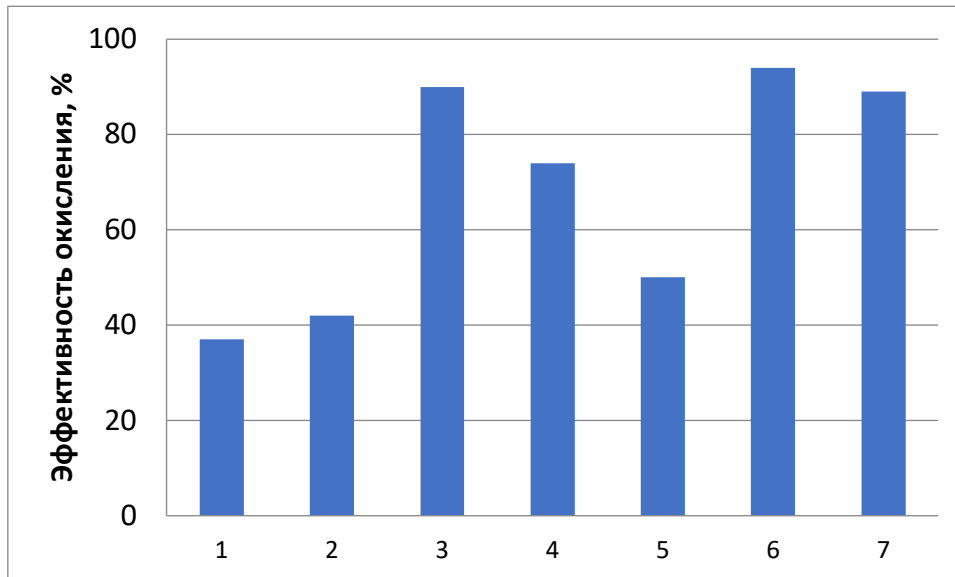


Рис. 1. Сравнительная диаграмма методов окисления фенола. 1 – озонирование, 2 – озонирование+ H_2O_2 , 3 – электроокисление, 4 – Фентон-процесс, 5 – фотоокисление, 6 – фотоокисление+ H_2O_2 , 7 – фотоокисление + Degussa P25

Исходя из полученных данных (рис. 1), можно заключить, что применение некоторых комбинированных методов окисления фенола позволило достичь

эффективности очистки ≥ 90 %. Эффективность системы, основанной на сочетании УФ-излучения с пероксидом водорода, обусловлена генерацией гидроксильных радикалов, являющихся мощными окислителями органических соединений. Также электрохимическое окисление зарекомендовало себя как высокоинтенсивный метод в отношении деструкции фенола. Однако использование его невозможно без введения электролитов (в частности NaCl), что может привести к вторичному загрязнению. Данные, представленные на диаграмме, акцентируют внимание на критической роли выбора оптимального метода окисления для обеспечения максимальной результативности в процессе очистки воды от фенола. Это обстоятельство имеет существенное значение, как для природоохранных, так и для промышленных задач.

Список литературы

1. Аминова А.Ф. Очистка фенолсодержащих сточных вод / А.Ф. Аминова Г.Г. Ягафарова, А.Р. Маскова [и др.] // Баш. хим. ж. – 2018. – № 1.
2. Торшин И. Ю. Проблемы использования фенола (гидроксibenзола) и парабенов в качестве стабилизаторов фармацевтических средств: анализ с применением методов машинного обучения /И.Ю. Торшин, О.А. Громова // Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. – 2025. – №1.
3. Мазитова А.К. Окислительный метод очистки сточных вод предприятий деревообрабатывающей промышленности /А.К. Мазитова, И.А. Сухарев, А.Ф. Аминова [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 4. – С. 75–80.
4. Васильев А.С. Фотокаталитическое окисление фенола в водной среде с использованием катализатора на основе оксидов титана и рутения / А.С. Васильев, А. Н. Морозов //Успехи в химии и химической технологии. – 2020. — № 4 (227).
5. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М., Химия, 1984.

Термодинамика сорбции ионов Cu(II) сорбентом на основе гранулированной целлюлозы и углеродных нанотрубок

Вокурова Д. А.

Аспирант

Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново

Никифорова Т. Е.

Профессор

Ивановский государственный химико-технологический университет, г. Иваново

Аннотация: разработан новый способ модифицирования гранул микрокристаллической целлюлозы углеродными нанотрубками. Изменения состава сорбентов в результате модификации по сравнению с гранулами целлюлозы подтверждаются данными ИК-спектроскопии, EDRS, СЭМ и дзета-потенциала. Установлено, что процесс сорбции ионов меди на гранулах модифицированной целлюлозы носит спонтанный характер.

Ключевые слова: целлюлоза, углеродные нанотрубки, сорбент, ионы меди, сорбция

Современная промышленность является источником антропогенного загрязнения гидросферы, ежегодно выбрасывая в воду миллионы тонн загрязнителей неорганической и органической природы, включая оксиды серы и азота, летучие органические соединения, тяжелые металлы и твердые частицы [1]. Для минимизации негативного воздействия на окружающую среду и соблюдения нормативных требований применяются различные методы очистки промышленных выбросов, которые условно подразделяются на механические (циклоны, фильтры), сорбционные (адсорбция на активированных углях, цеолитах) и химические (абсорбция, каталитическая нейтрализация) [2-3]. Однако применение современных методов газоочистки и водоочистки порождает проблему вторичного загрязнения окружающей среды. При абсорбции газовых примесей образуются сточные воды, содержащие высокие концентрации токсичных веществ: сульфатов, нитратов, тяжелых металлов, взвешенных частиц и органических соединений [4-5]. Недостаточная эффективность систем газо- и водоочистки или нарушение технологических режимов приводит к поступлению этих загрязненных стоков в водные объекты, создавая угрозу для гидросферы [6-9]. Таким образом, проблемы очистки газовых выбросов и защиты

водных ресурсов тесно взаимосвязаны в рамках единого экологического цикла. Эффективное решение задачи снижения антропогенной нагрузки требует комплексного подхода, учитывающего не только прямое воздействие промышленных выбросов на атмосферу, но и их опосредованное влияние на гидросферу через сточные воды систем газоочистки и атмосферный перенос загрязнителей.

На основании вышеизложенного цель работы состояла в создании сорбента на основе гранулированной микрокристаллической целлюлозы и углеродных нанотрубок, способного эффективно извлекать ионы меди из водных сред, и определение значений энергии Гиббса, энтальпии и энтропии.

Макропористые целлюлозосодержащие гранулы были получены путем растворения микрокристаллической целлюлозы в щелочном растворе мочевины при непрерывном перемешивании при температуре 8 °C в течение 5 мин. Затем CaCO_3 добавили в раствор целлюлозы с последующим введением смеси целлюлоза/ CaCO_3 по каплям в масляную фазу, содержащую подсолнечное масло, Tween-80, Span-80 и лауретсульфата натрия. Полученную суспензию непрерывно перемешивали при температуре 70 °C в течение 2 ч. Затем в суспензию по каплям вводили разбавленный раствор соляной кислоты для извлечения CaCO_3 с последующей промывкой полученных гранул поочередно спиртом и дистиллированной водой до pH 7. Модифицирование целлюлозосодержащих гранул углеродными нанотрубками проводили путем добавления целлюлозы к водному раствору допамина. Реакцию проводили при комнатной температуре при pH 5 в течение 24 ч. Гранулы целлюлозы, обработанные допамином, отфильтровывали и промывали дистиллированной водой до pH 7 и высушивали на воздухе. Углеродные нанотрубки, предварительно окисленные 0,1M раствором перманганата калия при pH 2-3 и температуре 60 °C, растворяли в толуоле. Затем в полученный раствор вносили целлюлозные гранулы, обработанные раствором допамина. Реакцию осуществляли в течение 2 ч с последующей промывкой дистиллированной водой и высушиванием при температуре 105 °C.

Термодинамические характеристики адсорбции ионов Cu^{2+} на модифицированном углеродными нанотрубками сорбенте на основе целлюлозы в зависимости от температуры (20-90 °C), которые включают изменение свободной энергии ΔG° (1), изменение энтальпии ΔH° и изменение энтропии ΔS° , были рассчитаны с использованием приведенных ниже уравнений:

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ} = RT \ln K_d, \quad (1)$$

где $K_d = \frac{A_e}{C_e}$ - коэффициент распределения; A_e и C_e – количество ионов тяжелого металла, адсорбированных на полученном сорбенте, и концентрация адсорбата в равновесном растворе, соответственно; R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/моль*К); T – температура (К).

Основываясь на уравнении Вант-Гоффа (2), изменения энтальпии ΔH° и энтропии ΔS° были определены по наклону и пересечению графика $\ln K_d$ относительно $1/T$ [10].

$$\ln K_d = \frac{-\Delta H^{\circ}}{R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\Delta S^{\circ}}{R}, \quad (2)$$

Для подтверждения функциональных изменений, произошедших в структуре полимера, использовали метод ИК-спектроскопии. Как показано на рисунке 1, в области $1450-1250 \text{ см}^{-1}$ исчезновение широкого пика поглощения сильной интенсивности при 1261 см^{-1} и переход пика 1398 см^{-1} в положение 1374 см^{-1} в структуре модифицированной целлюлозы характеризует валентные и деформационные колебания связанной ОН-группы в составе С-О-Н. В диапазоне $1630-1510 \text{ см}^{-1}$ наблюдается сдвиг широкой полосы поглощения средней интенсивности из положения 1619 см^{-1} в 1633 см^{-1} , что свидетельствует о валентных колебаниях связи С-N и о деформационных колебаниях связи N-H в структуре целлюлозосодержащих шариков, модифицированных углеродными нанотрубками. Появление пика поглощения сильной интенсивности 1737 см^{-1} в интервале $1755-1720 \text{ см}^{-1}$ соответствует валентным колебаниям связи С=О в структуре модифицированной целлюлозы.

Внешнюю морфологию и элементный состав исходных и модифицированных гранул целлюлозы характеризовали с использованием методов сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии соответственно. На рис. 2, А, исходная целлюлоза имеет неровную сферическую форму и относительно шероховатую поверхность. После обработки гранул целлюлозы раствором допамина (рис. 2, Б) наблюдается более выраженная шероховатость поверхности. В результате нанесения на поверхность целлюлозосодержащих гранул углеродных нанотрубок происходит

сглаживание поверхности шариков модифицированной целлюлозы и появление на ней нитей, что свидетельствует о прикреплении углеродных нанотрубок к поверхности.

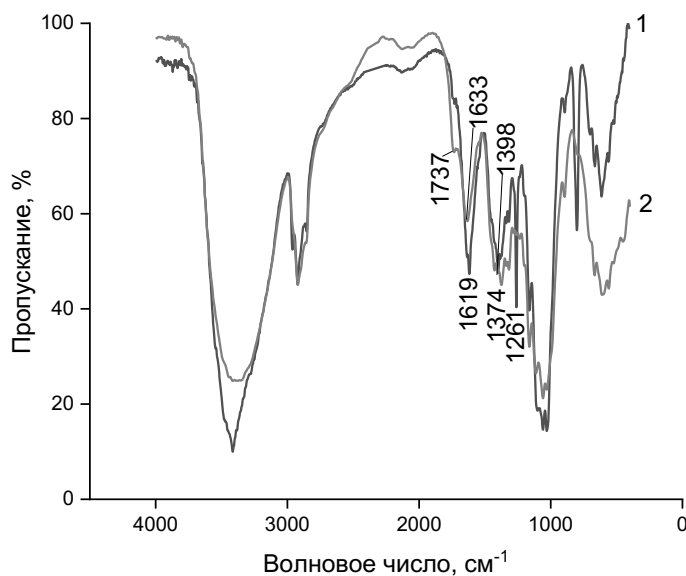


Рис. 1. ИК-спектры целлюлозы: 1 – нативная; 2 – модифицированная углеродными нанотрубками

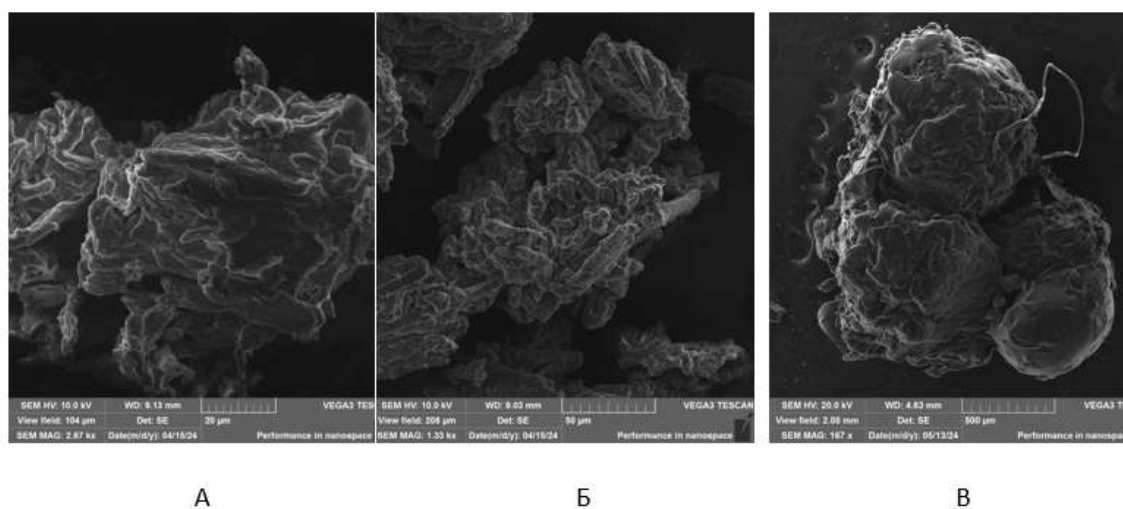


Рис. 2. Микрофотографии целлюлозосодержащих гранул: А – исходных; Б – обработанных раствором допамина; В – модифицированных углеродными нанотрубками

Изменение элементного состава целлюлозных гранул до и после модификации представлено в таблице 1.

Таблица 1

Элементный состав целлюлозных гранул до и после модификации

Элемент	Вес, %		
	Гранулы целлюлозы до модификации	Гранулы целлюлозы после обработки допамином	Гранулы целлюлозы после модификации углеродными нанотрубками
C	38.4992	42.1094	46.7683
H	5.8173	6.2310	6.7705
N		6.9355	6.4100
Сумма	44.3165	55.2759	59.9488

Для подтверждения функциональных изменений на поверхности целлюлозосодержащих гранул, происходящих в результате модификации, измерялся дзета-потенциал образцов на каждом этапе модификации с помощью анализатора Protocor. Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2

Дзета-потенциал макропористых целлюлозных гранул на различных этапах модификации

Вид обработки	Zeta-потенциал, ζ , мВ
Гранулы хлопковой целлюлозы	-9.098±0.303
Гранулы хлопковой целлюлозы, обработанные допамином	-4.357±0.103
Гранулы целлюлозы, обработанные допамином и модифицированные углеродными нанотрубками	-6.772± 0.151

Согласно полученным данным, слабо отрицательный поверхностный заряд гранул микрокристаллической целлюлозы (-9,1 мВ) обусловлен наличием гидроксильных групп и незначительной ионизацией или адсорбированными анионами. После обработки гранул допамином поверхностный заряд стал

менее отрицательным (-4,36 мВ). Допамин адсорбируется на поверхности гранул целлюлозы, частично маскируя отрицательно заряженные группы или вводя частично протонированные группы. Обработка целлюлозы углеродными нанотрубками привела к увеличению поверхностного заряда сорбента (-6,77 мВ), что свидетельствует о закреплении углеродных нанотрубок на поверхности гранул целлюлозы.

Результаты определения термодинамических характеристик сорбции ионов меди гранулами целлюлозы, модифицированными углеродными нанотрубками представлены на рис. 3 и таблице 3.

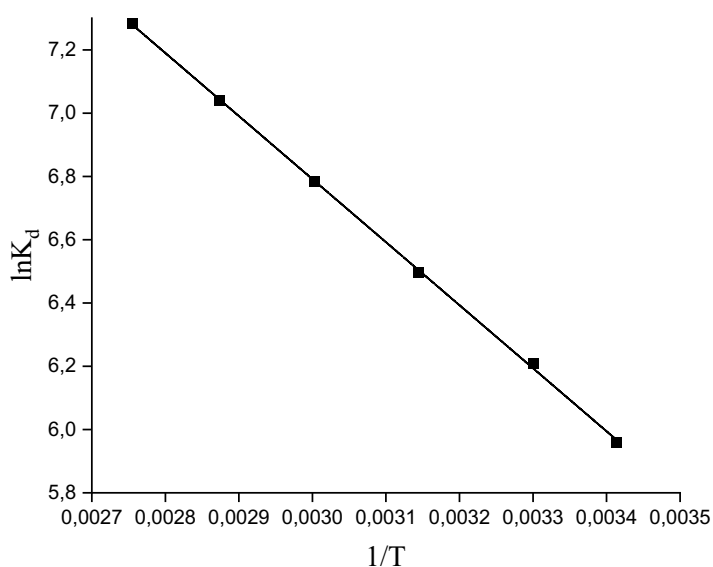


Рис. 3. Термодинамика сорбции ионов Cu (II) гранулами целлюлозы, модифицированными углеродными нанотрубками

Таблица 3

Термодинамические характеристики сорбции ионов Cu (II) гранулами целлюлозы, модифицированными углеродными нанотрубками

Температура, Т, К	ΔG° , кДж/моль	ΔH° , кДж/моль	ΔS° , кДж/моль*К	R^2
293	-14,53	16,56	0,106	0,99
303	-15,59			
318	-17,19			
333	-18,78			
348	-20,37			
363	-21,96			

Термодинамический анализ подтвердил спонтанный характер процесса: стандартная энергия Гиббса (ΔG°) отрицательна во всём диапазоне температур (от $-14,53$ до $-21,96$ кДж/моль) и становится более отрицательной с ростом температуры, что указывает на усиление термодинамической выгодности сорбции. Положительное значение энтальпии ($\Delta H^\circ = +16,56$ кДж/моль) однозначно классифицирует процесс как эндотермический, а значительная положительная энтропия ($\Delta S^\circ = +106,11$ Дж/моль·К) отражает рост степени беспорядка в системе вследствие дегидратации ионов Cu(II) при их переходе из раствора на поверхность сорбента и высвобождения гидратных молекул воды в объёмную фазу.

Разработан способ получения композиционного сорбента на основе гранул целлюлозы и углеродных нанотрубок. Установлено, что процесс сорбции ионов Cu(II) на гранулах целлюлозы, модифицированных углеродными нанотрубками, носит спонтанный характер: стандартная энергия Гиббса (ΔG°) отрицательна во всём диапазоне температур, значение энтальпии положительное, следовательно, процесс сорбции является эндотермическим, а положительная энтропия отражает рост степени беспорядка в системе. Исследование сорбентов методами СЭМ и EDRS показывают наличие изменений поверхностной структуры и элементного состава сорбента по сравнению с исходными гранулами целлюлозы. Данные ИК-спектроскопии и Дзета-потенциала свидетельствуют о существенных различиях в составе гранул целлюлозы до и после модификации, обусловленных присутствием в последнем модифицирующих агентов.

Исследования выполнены с использованием ресурсов ЦКП.

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение НИР (Тема № FZZW-2024-0004).

Список литературы

1. Каганов С.А. Очистка промышленных газов: учебное пособие. – М.: Химия, 1981. – 288 с.
2. Дворецкий С.И., Дворецкий Д.С. Технологические процессы и аппараты экологических производств. – М.: Академия, 2015. – 352 с.
3. Казакевич П.И., Сысоев В.М. Адсорбционные методы очистки промышленных газов. – Л.: Химия, 1983. – 240 с.
4. Родзик А.Б. Сточные воды промышленных предприятий: учебное пособие. – М.: Альфа-М, 2012. – 320 с.

5. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий (СН 245-71). – М.: Стройиздат, 1972.
6. Северцов А.С., Швец В.А. Вторичные загрязнители атмосферы // Химия и жизнь. – 1985. – № 6. – С. 42–47.
7. Ши М., Чжан Л., Ван Х. Влияние атмосферного осаждения на качество поверхностных вод: обзор // Экологический мониторинг и оценка. – 2021. – Т. 194. – С. 1–18. – DOI: 10.1007/s10661-021-09452-9
8. Likens G.E., Bormann F.H., Johnson N.M. Acid rain // Environment: Science and Policy for Sustainable Development. – 1972. — Vol. 14, № 6. – P. 33–40.
9. Никифорова, Т. Е. Извлечение ионов меди сорбентом на основе льняного волокна, модифицированного L-аргинином / Т. Е. Никифорова, Д. А. Вокорова, А. Р. Софронов // От химии к технологии шаг за шагом. – 2022. – Т. 3, № 3. – С. 16–26. – DOI 10.52957/27821900_2022_03_17.
10. Aigbe U.O., Ukhurebor K.E., Onyancha R.B., Osibote O.A., Darmokoesoemo H., Kusuma H.S. Fly ash-based adsorbent for adsorption of heavy metals and dyes from aqueous solution: a review // Journal of materials research and technology. 2021. №14. P. 2751-2774.

Описание сорбционных возможностей панцирей моллюсков по отношению к ионам кобальта из водных растворов с применением моделей Ленгмюра и Френдлиха

Воронин Н. А.

Преподаватель

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Лавриненко Е. С.

Студент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Ускорников Я. В.

Студент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Паталаха А. А.

Студент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Сомин В. А.

Заведующий международной кафедрой ЮНЕСКО инженерной экологии

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Аннотация: исследована сорбция ионов кобальта панцирем *Lissachatina fulica*, включая нативный и модифицированный гидроксидом натрия и ультразвуком. Статическая сорбционная ёмкость нативного материала составила 37 мг/г, модифицированного гидроксидом – 31 мг/г, ультразвуком – 17 мг/г. Сорбция удовлетворительно описывается моделями Ленгмюра и Фрейндлиха, но активация гидроксидом и ультразвуком снижает ёмкость в 1,2 и 2,2 раза.

Ключевые слова: адсорбция, ионы кобальта, моллюски, загрязнение воды

При попадании в окружающую среду соединения тяжёлых металлов могут накапливаться в организмах и вызывать нарушения обменных процессов, функций иммунной системы и других систем организма [1]. Кобальт является одним из наиболее распространённых тяжёлых металлов, загрязняющих биосферу в результате сбросов недостаточно очищенных сточных вод с предприятий машиностроительной и химической промышленности. В природной среде

соединения кобальта способны накапливаться в тканях растений [2–3], донных отложениях водоёмов [4], рыбе, в частности, в её костной ткани [5], а также в моллюсках [6]. Накопление кобальта в живых организмах изменяет биохимические процессы в них и, как результат, приводит к снижению биоразнообразия экосистем.

Естественная способность моллюсков и ракообразных аккумулировать тяжёлые металлы может быть связана с наличием у них хитина, который функционирует как биополимер с высокой адсорбционной способностью по отношению к поллютантам [7–8]. Это свойство может быть использовано для разработки сорбционных материалов на основе этих организмов для удаления металлов из водных сред.

Цель работы – изучение преобладающего механизма сорбции ионов кобальта панцирем моллюска *Lissachatina fulica*.

Авторами изучался процесс сорбции ионов кобальта на нативном и модифицированном панцире сухопутного моллюска *Lissachatina fulica* (Férussac, 1821).

В отечественной и зарубежной литературе практически отсутствуют сведения о сорбционной способности в отношении ионов тяжелых металлов панциря данного моллюска, который широко представлен в Африке, Евразии, Северной и Южной Америке. В настоящее время *Lissachatina f.* часто разводится любителями в домашних условиях, поэтому при отмирании моллюсков образуется значительное количество панциря, не находящего применения в каком-либо производстве. Поэтому изучение сорбции кобальта панцирем *Lissachatina f.* представляет актуальную научную задачу. В исследованиях использовались панцири моллюсков, выращенных в условиях лаборатории и не испытывающих влияния загрязнения окружающей среды от соединений металлов. Предварительно панцири отмывались водой и просушивались, после чего подвергались измельчению на щёковой дробилке и рассеивались на вибросите. Для изучения сорбционных характеристик отбиралась фракция с размером частиц 2–5 мм. Отдельно проводилось модифицирование панцирей двумя способами – выдерживанием в растворе гидроксида натрия с концентрацией 10 % в течение 60 минут и активация ультразвуком частотой 40 кГц в течение 20 минут.

Изучение сорбционной способности проводилось на модельных растворах сульфата кобальта, который готовили растворением навески кристаллогидрата

NiSO₄·7H₂O в дистиллированной воде. Концентрацию ионов кобальта в растворах определяли колориметрически по методике [9] с помощью предварительно построенного калибровочного графика, для построения которого использовали растворы с концентрацией ионов кобальта от 0,05 до 0,30 мг/дм³ согласно данной методике. Измерение растворов с концентрациями, превышающими указанный диапазон, производилось с предварительным разбавлением.

Сорбционная ёмкость в статических условиях определялась на растворах с концентрацией ионов кобальта от 10 до 2500 мг/дм³ при постоянной температуре. В колбы с раствором сульфата кобальта объемом 0,1 дм³ добавлялось по одному грамму сорбента в воздушно-сухом состоянии, после чего производилось перемешивание в течение 60 минут до установления химического равновесия. Количество поглощённых ионов кобальта высчитывали по разнице между исходными и равновесными концентрациями в жидкой фазе.

Величину сорбционной ёмкости (A) высчитывали по формуле:

$$A = \frac{(C_s - C_e)V}{m}, \quad (1)$$

где C_s – начальная концентрация ионов кобальта в растворе, мг/дм³; C_e – равновесная концентрация сорбата, мг/дм³; m – масса навески панциря, г; V – объём раствора (0,1 дм³).

В параллельных экспериментах относительная погрешность между полученными данными составляла не более 30 %. Для полученных в результате исследований данных рассчитывалась величина стандартного среднеквадратического отклонения.

Процесс адсорбции панцирем моллюсков металлов, в частности кобальта, является сложным для описания, поскольку в состав панциря, помимо минеральной части, чаще всего представленной кальцитом, входит несколько сложных органических соединений, в частности полисахариды (хитин), липиды и белки (конхиолин), углеводы [10].

Полученные экспериментальные данные по сорбции ионов кобальта панцирем *Lissachatina f.* были использованы для построения изотерм сорбции (рис. 1).

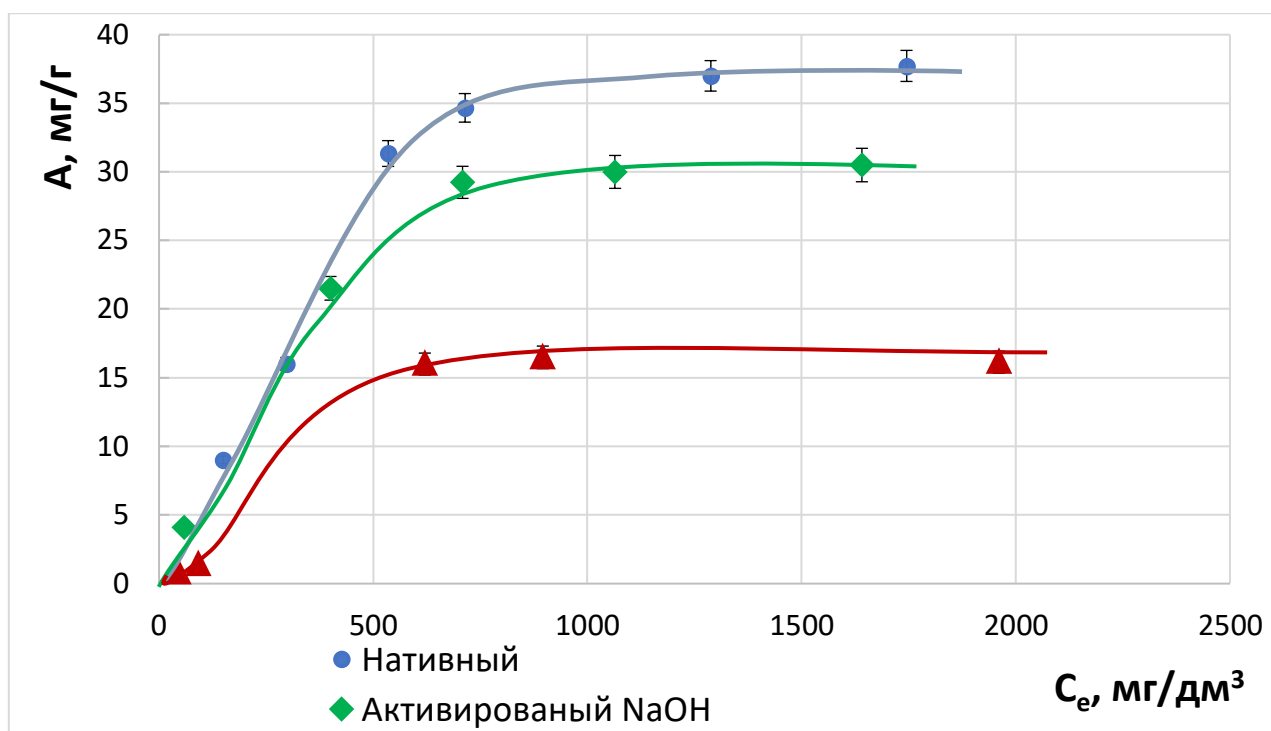


Рис. 1. Зависимость сорбционной ёмкости (A) от равновесной концентрации (C_е) ионов кобальта на панцире моллюска *Lissachatina f*

Как видно из рис. 1, нативный материал обладает наиболее высокой сорбционной ёмкостью по отношению к кобальту (37 мг/г), активация гидроксидом натрия уменьшает её до 30 мг/г, а ультразвуком – до 17 мг/г. Снижение ёмкости модифицированного панциря может быть связано с потерей активных центров, ответственных за связывание ионов металлов, в структуре панциря при модификации. Полученные изотермы имеют резко возрастающий характер при низких равновесных концентрациях, что предполагает сильное межмолекулярное взаимодействие в веществе сорбата и позволяет отнести их к типу L2 по классификации Гильса [11].

Описание процесса сорбции с использованием изотермы Ленгмюра основано на предположении, что элементарные участки, имеющиеся на поверхности адсорбента, могут сорбировать только одну молекулу сорбата, а количество сорбционных центров эквивалентно количеству сорбируемого вещества. Адекватность модели оценивали по величине коэффициента аппроксимации R². Процесс при этом является обратимым и равновесным. Уравнение Ленгмюра обычно используют в следующем виде:

$$A = \frac{A_{\infty} \cdot K \cdot c_e}{(1 + K_L \cdot c_e)}; \quad (2)$$

где A – сорбционная ёмкость, мг/г, c_e – равновесная концентрация сорбата, мг/дм³; K_L – константа сорбционного равновесия, характеризующая интенсивность сорбции, дм³/мг; A_{∞} – предельное количество сорбированного вещества, мг/г.

Уравнение (2) линеаризуется в координатах $1/A = f(1/c_e)$ и может быть представлено следующим образом:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_{\infty}} + \frac{1}{K_L \cdot A \cdot c_e}. \quad (3)$$

В результате обработки экспериментальных данных по модели Ленгмюра были получены зависимости, представленные на рис. 2

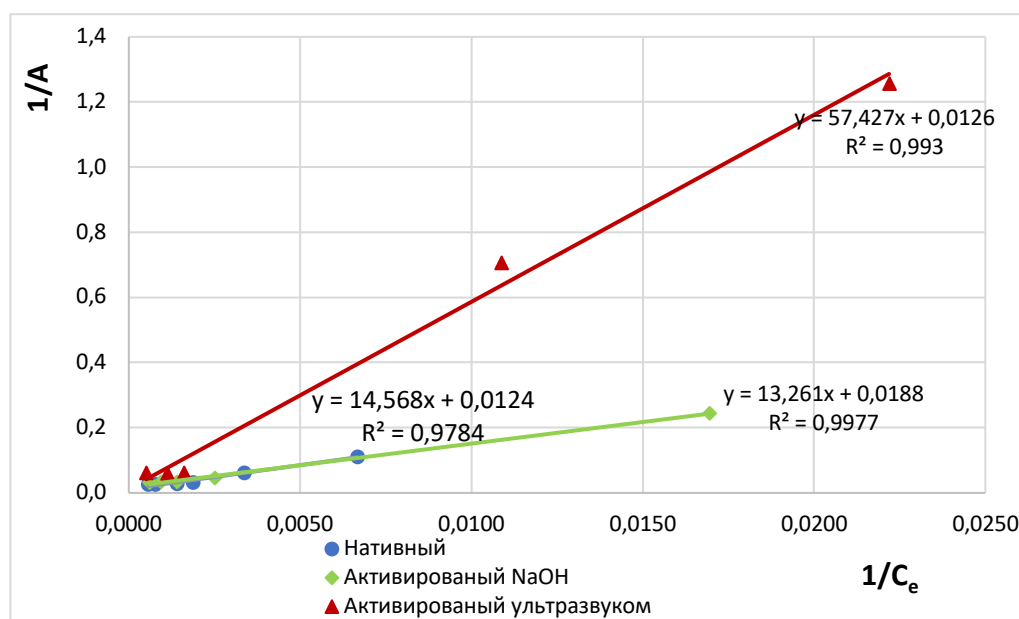


Рис. 2. Линеаризованные изотермы сорбции ионов кобальта панцирем моллюска *Lissachatina f.* по модели Ленгмюра

Как видно из рис. 2, значения коэффициента аппроксимации R^2 линейных зависимостей достаточно высоки, что позволяет предполагать мономолекулярный характер сорбции, значения рассчитанных при этом максимальной адсорбции и константы сорбционного равновесия приведены в таблице 1.

Таблица 1

Рассчитанные значения максимальной сорбционной ёмкости (A_{∞}) и константы сорбционного равновесия (K_L) по модели Ленгмюра

Вид материала	A_{∞} , мг/г	K_L , дм ³ /мг
Нативный	80,6	0,0009
Активированный NaOH	53,2	0,0014
Активированный ультразвуком	82,6	0,0002

Рассчитанные значения максимальной адсорбции A_{∞} для всех изученных модификаций панцирей оказалось значительно выше экспериментально найденных. Константы адсорбционного равновесия K_L оказались невысокими, что характеризует слабое взаимодействие ионов кобальта с адсорбентом.

Модель Фрейндлиха используется для описания сорбции на гетерогенной поверхности и исходит из предположения, что сорбционные центры обладают различными величинами энергии и в первую очередь происходит заполнение тех из них, которые обладают максимальной энергией. Данная модель математически выражается следующим образом:

$$A = K_F C_e^n; \quad (4)$$

где K_F – константа равновесия уравнения Фрейндлиха, которая отражает относительную сорбционную способность, n – параметр, указывающий на интенсивность взаимодействия адсорбент-адсорбат.

Уравнение 4 линеаризуется в координатах $\lg A = f(\lg C_e)$ и может быть представлено в виде:

$$\lg A = \lg K_F + n \cdot \lg C_e. \quad (5)$$

Построенные в координатах $\lg A$ от $\lg C_e$ линеаризованные изотермы сорбции ионов кобальта на нативном и модифицированном панцире моллюска представлены на рис. 3.

Рассчитанная константа сорбционного взаимодействия K_F значительно больше у активированного гидроксидом натрия панциря, наименьшие – у активированного ультразвуком материала (табл. 2), что несколько противоречит

полученным экспериментальным данным, т. к. наибольшая адсорбционная способность выявлена у нативного панциря.

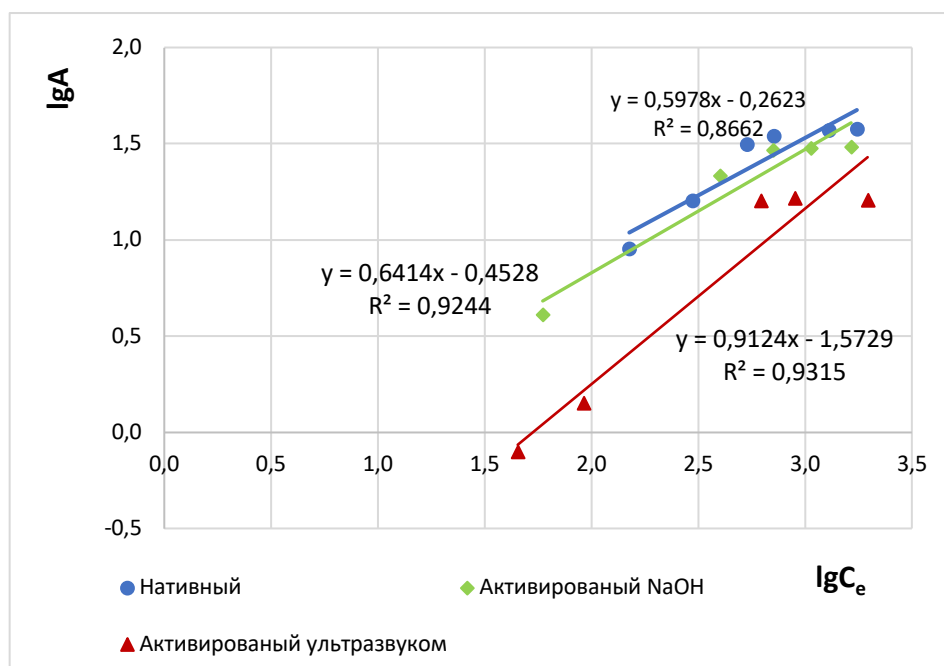


Рис. 3. Линейаризованные изотермы сорбции ионов кобальта панцирем моллюска *Lissachatina f.* по модели Фрейндлиха

Таблица 2

Рассчитанные значения константы сорбционного равновесия K_F и параметра n по модели Фрейндлиха

Вид материала	K_F	n	$1/n$
Нативный	0,547	1,673	0,60
Активированный NaOH	2,837	1,559	0,64
Активированный ультразвуком	0,027	1,096	0,91

Достаточно высокие значения коэффициентов аппроксимации свидетельствуют об удовлетворительном соответствии экспериментальных данных с теоретическими положениями модели Фрейндлиха. Для всех зависимостей рассчитанные значения коэффициента n оказались больше 1, что позволяет предполагать, что катионы кобальта в первую очередь заполняют сорбционные центры с более высокой связывающей способностью, и прочность сцепления уменьшается с увеличением степени заполнения. Значение параметра $1/n$ даёт представление о том, насколько интенсивны процессы адсорбции:

рассчитанные значения данного параметра находятся в диапазоне от 0,5 до 1,0, следовательно, процесс протекает довольно сложно [12]. При этом величину $1/n$ можно рассматривать как показатель неоднородности сорбционных центров и при приближении её к 1 их неоднородность возрастает. Из полученных данных видно, что наибольшей неоднородностью сорбционных центров обладает активированный ультразвуком панцирь.

На основании проведённых исследований можно сделать вывод о возможности использования панциря моллюска *Lissachatina f.* для извлечения ионов кобальта из воды. Проведение активации сорбента гидроксидом натрия и ультразвуком нецелесообразно, поскольку приводит к снижению сорбционной ёмкости материала в 1,2 и 2,2 раза соответственно.

Сорбция ионов кобальта удовлетворительно описывается моделями Ленгмюра и Фрейндлиха как для нативного панциря, так и для модифицированного и имеет физический характер.

Список литературы

1. Гулиева С.В., Керимова Р.Д., Юсифова М.Ю. Влияние тяжелых металлов на биохимические процессы в организме человека // Academy. 2018. №12 (39). С. 77–81.
2. Немерешина О.Н., Петрова Г.В., Филиппова А. В. Содержание кобальта и кадмия в тканях растений техногенной зоны // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4(52). С. 80–87. doi: 10.18286/1816-4501-2020-4-80-87.
3. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф. Накопление кобальта и кадмия в растительном сырье и почвах техногенных зон // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3(83). С. 122–126. doi 10.37670/2073-0853-2020-83-3-122-126.
4. Чуйко Е.В. Влияние содержания тяжёлых металлов в донных отложениях на их биоаккумуляцию в ихтиофауне // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 3(25). С. 139–144.
5. Грибовский Ю.Г., Нохрин Д.Ю., Давыдова Н.А., Торчицкий А.Н. Содержание тяжёлых металлов в рыбе из минерализованных водоемов Урала // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2019. № 4(32). С. 461–467. doi 10.25725/vet.san.hyg.ecol.201904019.

6. Макаренко Т.В. Изучение накопления тяжёлых металлов в тканях моллюсков в водоёмах и водотоках Гомеля и прилегающих территорий // Экологический вестник. 2013. № 2. С. 116–121.
7. Тунакова Ю.А., Мухаметшина Е.С., Шмакова Ю.А. Исследование эффективности биополимерных сорбентов на основе хитина в отношении металлов // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 14. С. 141–149.
8. Реут К.В., Береза И.Г., Василевский П.Б., Деркач С.Р. Способ очистки сточных вод производства хитина из панциря ракообразных // Патент RU 2263079 С1. Заявление: 2004107962/15, 18.03.2004. Дата публикации: 27.10.2005.
9. ПНДФ 14.1:2.44-96 методика измерений массовой концентрации ионов кобальта в природных и сточных водах фотометрическим методом с нитрозо-г-солью. Москва. 2016.
10. De Paula S.M., Silveira M. Studies on molluscan shells: Contributions from microscopic and analytical methods // Micron. 2009. P.669–690. doi 10.1016/j.micron.2009.05.006.
11. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел: [пер. с англ.] / Под ред. Г.Парфита, К. Рочестера – М.: Мир, 1986. – 488 с.
12. Инженерный вестник Дона – Математическое описание сорбции на модифицированной рисовой соломе [Электронный ресурс] <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4650> (дата обращения 10.03.2025).
13. Шумилова М.А. Применение моделей адсорбции при исследовании поглощения ионов никеля почвой // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. 2024. С. 45–53.

Применение комбинированного сорбента на основе цеолита и гидролизного лигнина для очистки сточных вод от ионов меди и никеля

Галимова А. Р.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева

Яваева З. И.

Бакалавр

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева

Аннотация: в статье рассматривается применение комбинированного сорбента на основе цеолита и гидролизного лигнина для очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов. Описаны актуальность проблемы загрязнения водных объектов, преимущества сорбционных методов и выбор природных и вторичных материалов для создания эффективного и доступного фильтроматериала. Приведены условия эксперимента, методика оценки адсорбционной ёмкости, а также результаты, показывающие высокую степень очистки.

Ключевые слова: цеолит, гидролизный лигнин, адсорбция, ионы Cu(II), ионы Ni(II), очистка вод

Проблема загрязнения водных объектов ионами тяжелых металлов остается одной из наиболее острых в области техносферной безопасности и рационального природопользования. Тяжелые металлы обладают высокой токсичностью, способностью к биоаккумуляции и устойчивостью в окружающей среде, что требует разработки эффективных и доступных методов очистки сточных вод.

С развитием промышленных предприятий очистка сточных вод от соединений тяжелых металлов, в том числе меди и никеля, становится важнейшей экологической проблемой. Для решения данной проблемы, на наш взгляд, рационально использовать сорбционные методы очистки, так как степень очистки может достигать 95 % и выше. На сегодняшний день существует огромное количество самых разнообразных сорбентов, различных по природе, способу получения, цене и сорбционной активности. Но, несмотря на это, до сих пор

существует необходимость создания новых доступных, высокоэффективных и недорогих сорбентов.

Среди перспективных подходов – использование сорбционных материалов на основе природного и вторичного сырья. Цеолитсодержащие породы обладают хорошей ионообменной способностью, а гидролизный лигнин (отход гидролизной промышленности) является доступным и дешевым компонентом. Лигнин – сетчатый биополимер, образующийся в большом количестве как отход при промышленной переработке древесины. Комбинирование этих материалов позволяет не только повысить эффективность очистки, но и решить задачу утилизации промышленных отходов, что соответствует принципам «зеленых» технологий и циркулярной экономики. Очистка сточных вод с использованием данного сорбента является перспективным методом физико-химической обработки.

Цель работы: оценить адсорбционную способность комбинированного фильтроматериала (цеолит + гидролизный лигнин, 1:1) по отношению к ионам Cu(II) и Ni(II) в статических условиях.

Для экспериментальных исследований использовали цеолитсодержащую породу Татаро-Шатрашанского месторождения, размер фракции 0,2-0,8 мм и гидролизный лигнин. Готовили комбинированный фильтроматериал из двух сорбентов в соотношении 1:1. Общая масса навески составила 0,5 г. Главная задача оценить адсорбционную способность фильтроматериала по отношению к ряду ионов с течением времени (для каждого металла по отдельности) и сравнить эффективность адсорбции ионов металлов фильтроматериалом (общая диаграмма).

Адсорбцию проводили в статических условиях: 0,5 г сорбента на 100 мл раствора с концентрацией каждого металла 5 мг/л. Время контакта – 10, 30, 60 мин. Для оценки адсорбционной способности проводился расчет емкости по формуле:

$$A_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V, \quad (1)$$

где A_e - адсорбционная емкость адсорбента (мг/г), C_0 начальная концентрация металла в растворе (мг/л), C_e - конечная концентрация металла в растворе после адсорбции на сорбенте (мг/л), V - объем раствора (л), m - масса адсорбента (г).

В таблицах 1 и 2 представлены результаты определения концентрации металлов в растворе.

Таблица 1

Концентрация ионов Cu(II) до и после адсорбции на фильтроматериале

Время, мин	Концентрация до адсорбции, мг/л	Концентрация после адсорбции, мг/л
10	5	0,132
30	5	0,132
60	5	0,132

Таблица 2

Концентрация ионов Ni(II) до и после адсорбции на фильтроматериале

Время, мин	Концентрация до адсорбции, мг/л	Концентрация после адсорбции, мг/л
10	5	0,064
30	5	0,057
60	5	0,051

Установлено, что остаточная концентрация меди после 10 минут составляла 0,132 мг/л и далее не изменялась; для никеля концентрация снижалась с 0,064 до 0,051 мг/л за 60 минут.

Построена зависимость адсорбционной емкости комбинированного фильтроматериала по отношению к ионам металлов от времени контакта (рис. 1).

Из графика видно, что концентрация ионов Ni(II) с увеличением времени контакта уменьшалась, таким образом концентрации ионов Ni(II) в растворах с фильтроматериалами, выдержанными 10, 30 и 60 минут уменьшалась соответственно с увеличением времени контакта. Концентрация ионов Cu(II) не изменялась с течением времени.

Таким образом показано, что комбинированный сорбент на основе цеолита и гидролизного лигнина позволяет эффективно очищать сточные воды от ионов тяжелых металлов, в том числе от ионов меди и никеля, при этом сорбционная емкость сорбента составляет 0,97-0,99 мг/г. Использование данного

материала способствует решению экологических задач и утилизации отходов, что соответствует принципам «зелёных» технологий.

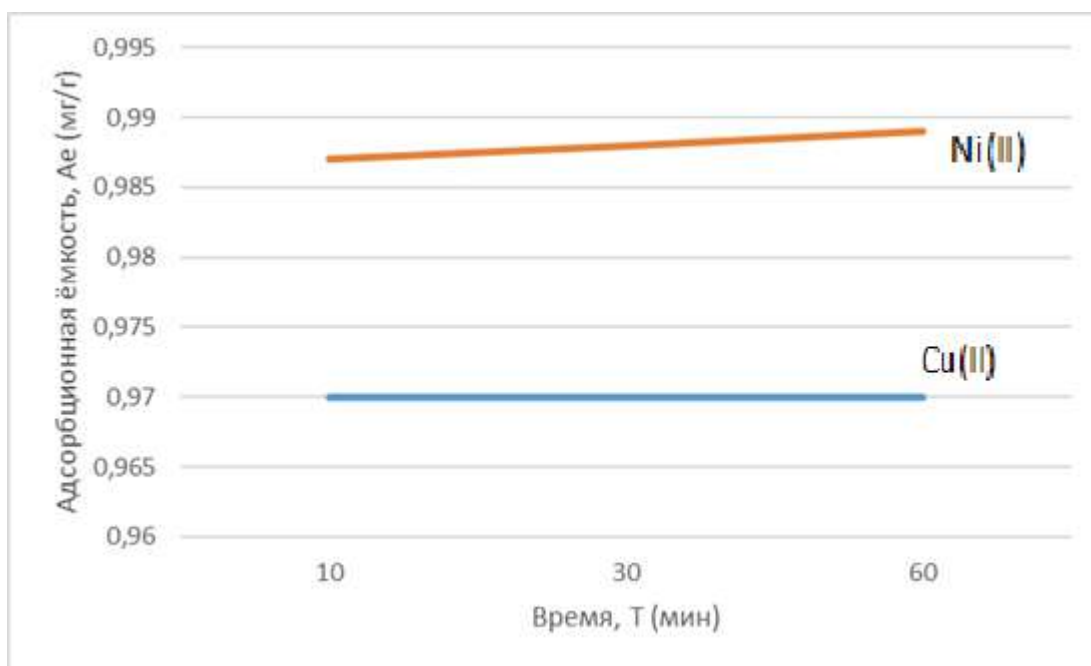


Рис. 1. График зависимости адсорбционной ёмкости комбинированного фильтроматериала по отношению к ионам металлов от времени контакта

Список литературы

1. Линник В.Н., Панкин А.А., Молоток Е.В. Получение и ионообменные свойства сорбента ГЛСА // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 11. – С. 125-131.
2. Янкова В.Г., Удянская И.Л., Слонская Т.К. и др. Исследование адсорбционной активности энтеросорбента на основе гидролизного лигнина // Вопросы практической педиатрии. – 2022. – Т. 17, № 1. – С. 150-156.
3. Зиникова И.В., Пяткова А.В., Готов А.С. Исследование сорбционных свойств цеолитсодержащих пород Татаро-Шатрашанского месторождения по отношению к ионам тяжелых металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 384-391

Электроповерхностные свойства отработанной отбелной глины и их роль в очистке сточных вод от ионов тяжёлых металлов

Грабазей А. В.

Аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Гафаров Р. Р.

Ассистент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Свергузова С. В.

Профессор

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский университет

Бударный Н. П.

Магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: в работе исследованы электроповерхностные свойства отработанной отбелной глины – отхода масложировой промышленности, перспективного для использования в качестве сорбента при очистке сточных вод. Методом электрофореза определён дзета-потенциал частиц ООГ в зависимости от pH среды и концентрации ионов Cu^{2+} и Ni^{2+} . Установлено, что в слабокислой и нейтральной области (pH 6,5–7,5) ζ -потенциал достигает максимального отрицательного значения (–29,2 мВ), что обеспечивает высокую агрегативную устойчивость дисперсии. Показано, что при увеличении концентрации катионов металлов происходит инверсия знака ζ -потенциала до положительных значений (+11,6 мВ), обусловленная специфической адсорбцией ионов и перестройкой двойного электрического слоя.

Концентрации перезарядки для Cu^{2+} (50–70 мг/л) и Ni^{2+} (150–180 мг/л) различаются, что связано с разными механизмами их связывания с поверхностью глины.

Ключевые слова: отработанная отбельная глина, дзета-потенциал, электроповерхностные свойства, очистка сточных вод, ионы меди, ионы никеля, адсорбция, двойной электрический слой, инверсия заряда

При взаимодействии твердого тела с жидкой средой на их границе раздела спонтанно образуется избыточный поверхностный заряд. Этот заряд электро-нейтрализуется за счет притяжения противоположно заряженных ионов из раствора, что приводит к формированию двойного электрического слоя (ДЭС). Данный процесс является термодинамически выгодным и обусловлен минимизацией поверхностной энергии, а также специфическими особенностями межфазной границы твердое тело-жидкость.

Существование ДЭС на межфазной поверхности играет фундаментальную роль в возникновении электрокинетических эффектов, таких как электрофорез, электроосмос и потенциал течения (рис. 1) [1-3].

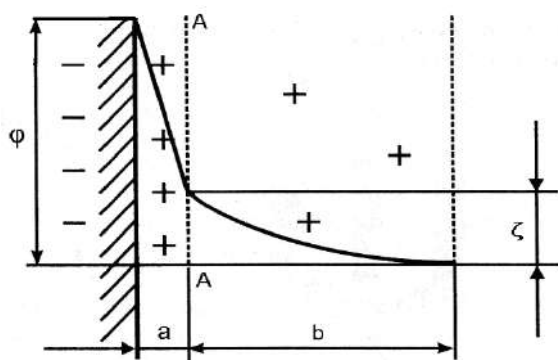


Рис. 1. Строение двойного электрического слоя

На рис. 1 представлена схематическая структура двойного электрического слоя, формирующегося на границе раздела фаз. Термодинамический потенциал (ϕ) в такой системе демонстрирует резкий спад в области адсорбционного слоя и постепенно снижается до нулевых значений в диффузной части [4]. Особое значение в характеристике поверхностных явлений имеет ζ -потенциал, представляющий собой разность потенциалов между подвижной (диффузной) и неподвижной (адсорбционной) частями двойного слоя. Этот параметр является ключевым для понимания механизмов стабилизации дисперсных систем и процессов адсорбции.

Как показали исследования электрокинетического потенциала, при термообработке с возрастанием концентрации ИТМ, ζ – потенциал смещается в положительную область (рис. 2) [5,6].

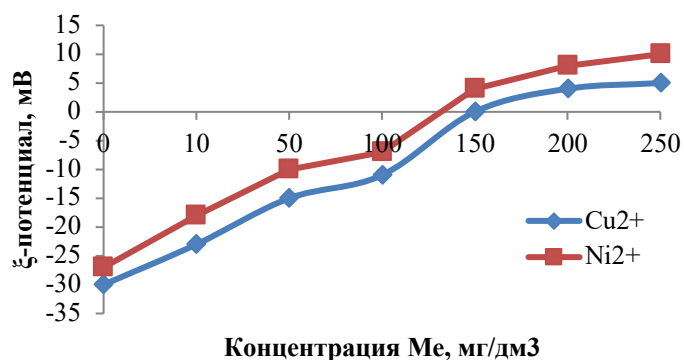


Рис. 2. Зависимость ζ – потенциала от концентрации меди и никеля

Исходное отрицательное значение ζ -потенциала ООГ350 обусловлено преобладанием на поверхности частиц отрицательно заряженных функциональных групп $\equiv\text{Si-O}^-$ и $\equiv\text{Al-O}^-$, образующихся в результате диссоциации поверхностных гидроксильных групп. При $\text{pH} = 6,5\text{--}7,5$ наблюдается максимальное по модулю значение ζ -потенциала ($-29,2$ мВ), что соответствует положению плоскости сдвига на границе адсорбционного и диффузного слоёв двойного электрического слоя и отражает эффективный заряд частицы в данных условиях [7,8].

Изменение ζ -потенциала с отрицательных значений на положительные объясняется механизмом специфической адсорбции катионов Ni^{2+} и Cu^{2+} . При введении в систему этих ионов происходит их специфическая адсорбция с образованием прочных поверхностных комплексов типа $\equiv\text{Si-OCu}^+$. Адсорбированные катионы эффективно компенсируют не только заряд стенки (поверхностный заряд), но и приводят к перенасыщению диффузного слоя положительными ионами. Это вызывает инверсию знака потенциала в плоскости сдвига – теперь для компенсации избыточного положительного заряда к поверхности притягиваются анионы из раствора. Различные концентрации перезарядки для ионов меди ($50\text{--}70$ мг/л) и никеля ($150\text{--}180$ мг/л) связаны с различиями в механизмах их адсорбции: для Cu^{2+} характерно образование поверхностных комплексов, а для Ni^{2+} – проникновение в межслоевые пространства с менее эффективной компенсацией заряда.

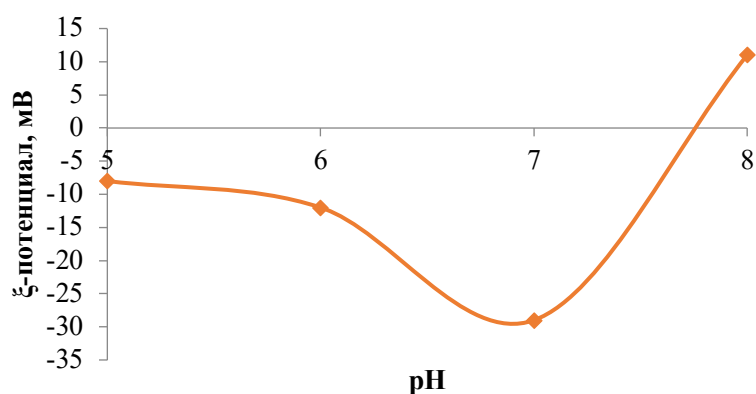


Рис. 3. Зависимость ζ-потенциала от кислотности среды

Проведённые исследования выявили чёткую зависимость ζ-потенциала от кислотно-основных условий системы. Максимальное по модулю отрицательное значение электрокинетического потенциала (-29,2 мВ) наблюдается в слабокислой и нейтральной области (pH 6,5–7,5), что свидетельствует о высокой стабильности дисперсной системы в этом диапазоне. При достижении pH = 7,8 наблюдается изоэлектрическая точка, где суммарный заряд поверхности становится нулевым. Особый интерес представляет феномен инверсии знака ζ-потенциала до положительных значений (+11,6 мВ) в процессе сорбции ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} , который объясняется перестройкой структуры двойного электрического слоя. Этот эффект обусловлен специфической адсорбцией катионов и компенсацией первоначального отрицательного заряда поверхности за счёт избыточного накопления противоионов в диффузной части ДЭС. Полученные данные важны для понимания механизмов электростатического взаимодействия между сорбентом и сорбатом, а также для оптимизации условий проведения сорбционных процессов.

Список литературы

1. Свергузова С.В. Снижение ХПК сточных вод рыбопереработки с помощью отбелной глины / С.В. Свергузова, Р.Р. Гафаров, В.А. Щербатюк // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: Сборник докладов международной научной конференции, Алушта, 05–09 июня 2024 года. – Белгород: Белгородский

- государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 135-139. – EDN SUVNCX.
2. Sapronova Z.A., Svyatchenko A.V., Sverguzova S.V., Gafarov R.R. Wastewater purification from copper and nickel ions by means of thermally modified organo-mineral wastes and their combinations // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Kazan, 18 марта 2021 года. – Kazan, 2021. – P. 012034.
 3. С.В. Свергузова, Ж.А. Сапронова, Р.Р. Гафаров, А.В. Грабазей Влияние дозы отбелной глины на снижение мутности стоков птицеубойного цеха // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Казань, 16–17 апреля 2025 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2025. – С. 266-269.
 4. Гафаров, Р.Р. Некоторые аспекты процесса очистки сточных вод / Гафаров Р.Р., Грабазей А.В. // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Казань, 16–17 апреля 2025 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2025. – С. 73-77.
 5. Sverguzova S.V., Gafarov R.R., Zubkova O.S, et al. Changes in the Physicochemical and Sorption Properties of Bleaching Clay in the Course of Thermal Treatment // Colloid Journal. – 2024. – Vol. 86, No. 4. – P. 571-579.
 6. Фокичева Е.А. Современные методы и способы доочистки высококонцентрированных сточных вод птицефабрик от биогенных элементов / Е.А. Фокичева, М.А. Крупина // БИЗНЕС. НАУКА. ОБРАЗОВАНИЕ. Правовые и экономические аспекты: Сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции Леденцовские чтения, в 2 частях, Вологда, 24 апреля 2025 года. – Вологда: МГЮА, 2025. – С. 238-245. – EDN FGYTNC.
 7. Воробьева Р.П. Технология очистки сточных вод уральской птицефабрики и жилого поселка / Р.П. Воробьева, А.В. Тиньгаев, В.Б. Шепталов [и др.] // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2008. – № 12(12). – С. 47-49. – EDN JYBEBF.
 8. Сапронова Ж.А., Свергузова С.В, Гафаров Р.Р., Лупандина Н.С. Пути декарбонизации производства с использованием отхода отбелной глины // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – № 2. – С. 51-60. – EDN QEDBVQ.

Влияние дозы отбельной глины на эффективность очистки стоков птицефабрики

Грабазей А. В.

Аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Гафаров Р. Р.

Ассистент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Свергузова С. В.

Профессор

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский университет

Кузенков Н. С.

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: в статье исследуется возможность очистки сточных вод птицеубойных цехов с использованием термически модифицированного отхода отбельной глины (ООГ), полученного на маслоэкстракционном производстве. Установлено, что прокаливание ООГ при 350 °С позволяет удалить остаточное масло и повысить сорбционную активность материала. Экспериментально определена зависимость степени очистки от дозы сорбента. Показано, что увеличение дозы ООГ с 1 до 6 г/дм³ обеспечивает снижение ХПК с 900 до 328 мгО/дм³. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения термически модифицированной отбельной глины в схемах доочистки сточных вод птицефабрик.

Ключевые слова: сточные воды птицефабрики, отработанная отбельная глина, сорбция, ХПК, очистка сточных вод, термическая модификация, монтмориллонит

Сточные воды птицеперерабатывающих предприятий являются высококонцентрированными и многокомпонентными по своему составу. Они характеризуются высокими значениями ХПК и БПК, что является следствием содержания в них большого количества органических и неорганических веществ.

Технологический процесс производства мяса птицы включает в себя следующие операции: отлов птицы, доставку и приемку, убой, обескровливание, снятие оперения, полупотрошение, потрошение, охлаждение, сортировку, маркировку, приготовление и упаковку готовой продукции [1-3].

Процесс производства мяса птицы сопровождается образованием сточных вод, загрязненных кровью, плазмой, жирами.

Содержание загрязняющих веществ в образующихся сточных водах, составляет, мг/л: жиров – до 800; ХПК – до 6000; БПК₅ – до 2800; взвешенных веществ – до 1900 [4,5].

Существующие очистные сооружения на многих птицеперерабатывающих предприятиях зачастую не обеспечивают удаление загрязняющих веществ до нормативных показателей для сброса в городскую канализацию или в водный объект. К тому же множество небольших птицеперерабатывающих предприятий, расположенных в большинстве своем в маленьких населенных пунктах, не имеют очистных сооружений, обеспечивающих полный цикл очистных технологий, не дающих возможность осуществлять глубокую очистку сточных вод [6,7].

Нами исследована возможность использования для очистки сточных вод убойного цеха птицефабрики отработанной отбельной глиной (ООГ), используемой для очистки растительных масел.

Отбельная глина была отобрана на Алексеевском маслоэкстракционном комбинате (Белгородская обл.) и представляет собой слипшуюся массу светло-коричневого цвета, содержащую до 40 % растительного масла. Минеральная часть содержит 50 % монтмориллонита и 8–10 % каолинита, проявляющих высокие сорбционные свойства [8]. Чтобы избавить ООГ от остатков масла, отход глины прокаливали при температуре 350 °С в печи в марки LOIP LF-7/13 в течение 30 минут. Обожженная ООГ имела черный цвет и отличалась рассыпчатостью. Размер частиц ООГ составлял <1 мм, pH водной вытяжки – 6,98.

В экспериментах использовали сточные воды предприятия «Приосколье» с ХПК, равном 900 мгО/дм³. ХПК использован нами как интегральный показатель загрязнённости органическими веществами.

К 100 см³ стоков добавляли заданные навески ООГ, суспензию перемешивали на автоматическом встряхивателе в течение 40 мин, после чего суспензию фильтровали через бумажный фильтр, в фильтрате определяли ХПК ускоренным методом.

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований

№	Состав сточных вод			
	Добавка ООГ, г/дм ³	До очистки, мгО/дм ³	После очистки, мгО/дм ³	Эффективность очистки, %
1	1	900	740	17,78
2	2		600	33,33
3	3		520	42,22
4	4		450	50,00
5	5		375	58,33
6	6		328	63,56

Как видно из представленных данных (таблица 1), увеличение дозы термически модифицированной отработанной отбелной глины приводит к закономерному снижению ХПК модельных сточных вод. При минимальной исследованной дозе (1 г/дм³) показатель ХПК снизился с 900 до 740 мгО/дм³. Максимальный эффект достигнут при дозе 6 г/дм³: остаточное ХПК составило 328 мгО/дм³. Наибольший прирост степени очистки наблюдается в интервале доз от 1 до 4 г/дм³, что свидетельствует о высокой сорбционной ёмкости материала даже при малых концентрациях. Значения рН водной вытяжки во всех опытах находились вблизи нейтральных значений, что исключает необходимость дополнительной нейтрализации обработанных стоков. Таким образом, применение отбелной глины, являющейся отходом масложировой промышленности, после несложной термической обработки является эффективным и экологически целесообразным приёмом для снижения органической нагрузки сточных вод птицеперерабатывающих предприятий.

Список литературы

1. Свергузова С.В. Снижение ХПК сточных вод рыбопереработки с помощью отбельной глины / С.В. Свергузова, Р.Р. Гафаров, В.А. Щербатюк // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: Сборник докладов международной научной конференции, Алушта, 05–09 июня 2024 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2024. – С. 135-139. – EDN SUVNCX.
2. Wastewater purification from copper and nickel ions by means of thermally modified organo-mineral wastes and their combinations / Z.A. Sapronova, A.V. Svyatchenko, S.V. Sverguzova, R.R. Gafarov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Kazan, 18 марта 2021 года. – Kazan, 2021. – P. 012034.
3. Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Гафаров Р.Р., Грабазей А.В. Влияние дозы отбельной глины на снижение мутности стоков птицеубойного цеха // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Казань, 16–17 апреля 2025 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2025. – С. 266-269.
4. Гафаров Р. Р. Некоторые аспекты процесса очистки сточных вод / Р.Р. Гафаров, А.В. Грабазей // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Казань, 16–17 апреля 2025 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2025. – С. 73-77.
5. Changes in the Physicochemical and Sorption Properties of Bleaching Clay in the Course of Thermal Treatment / S.V. Sverguzova, R.R. Gafarov, O.S. Zubkova et al. // Colloid Journal. – 2024. – Vol. 86, No. 4. – P. 571-579.
6. Фокичева Е.А. Современные методы и способы доочистки высококонцентрированных сточных вод птицефабрик от биогенных элементов / Е.А. Фокичева, М.А. Крупина // БИЗНЕС. НАУКА. ОБРАЗОВАНИЕ. Правовые и экономические аспекты: Сборник материалов XIII Международной научно-

практической конференции Леденцовские чтения, в 2 частях, Вологда, 24 апреля 2025 года. – Вологда: МГЮА, 2025. – С. 238-245. – EDN FGYTNC.

7. Воробьева Р.П. Технология очистки сточных вод уральской птицефабрики и жилого поселка / Р.П. Воробьева, А.В. Тиньгаев, В.Б. Шепталов [и др.] // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2008. – № 12(12). – С. 47-49. – EDN JYBEBF.
8. Пути декарбонизации производства с использованием отхода отбелной глины / Ж.А. Сапронова, С.В. Свергузова, Р.Р. Гафаров, Н.С. Лупандина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – № 2. – С. 51-60. – EDN QEDBVQ.

Химическое улучшение сорбционных свойств опилок лиственницы

Дворянкин Д. Ю.

Магистрант

Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

Клепалова И. А.

Старший преподаватель

Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

Первова И. Г.

Профессор

Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

Аннотация: в работе представлено исследование химической модификации опилок лиственницы растворами серной кислоты. Определено, что наибольшее изменение в количестве кислородсодержащих функциональных групп происходит при взаимодействии опилок лиственницы с 0,5н раствором и значение сорбционной емкости по отношению к ионам меди(II) достигает 68,80 мг/г. Механизм сорбционного процесса описывается как мономолекулярная сорбция, соответствующая модели Ленгмюра. Рассчитанные значения сорбционных констант указывают на преимущественный механизм физической сорбции

Ключевые слова: сорбция, древесные опилки, модификация

Устойчивое и ресурсоэффективное использование древесного сырья становится приоритетным направлением в деревообрабатывающей отрасли, в связи с чем идет активный поиск способов применения лигноцеллюлозосодержащих отходов в качестве сырья для получения различных продуктов и материалов, в том числе сорбентов. Лиственница является одним из самых быстрорастущих хвойных деревьев, опилки древесины которой содержат лигнин, целлюлозу, набор моно- и олигомолекулярных органических соединений. В данной работе представлены результаты изучения изменения физико-химических характеристик опилок в процессе химической модификации низкоконтрированными растворами H_2SO_4 , определяющие возможность применения данных древесных отходов в качестве сорбентов для извлечения ионов меди (II).

В качестве исходного материала использовались опилки лиственницы с размером частиц 0,75-2,00 мм (сорбент 1). Образцы подвергали химической модификации 0,5-5н растворами H_2SO_4 (сорбенты 2-5) при постоянном перемешивании с частотой 120 об/мин при температуре 80°C в течение 5 часов с дальнейшим отмыванием опилок дистиллированной водой от избытка кислоты. В дальнейших экспериментах использовались образцы, высушенные при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния.

После модификации проводилось определение количества кислородсодержащих функциональных групп (КСФГ) методом Боэма [1] на поверхности сорбентов 1–5: $E_{общ}$ – общее количество, $E_{карб}$ – количество карбоксильных групп, $E_{гидр}$ – количество гидроксильных групп (табл. 1). В исходных опилках лиственницы наблюдается следующее соотношение карбоксильных и гидроксильных групп: $E_{карб}/E_{гидр} = 5:1$.

Таблица 1

Состав функциональных групп и максимальная сорбционная емкость нативных и модифицированных опилок лиственницы

Сорбент	Модифицирующий реагент	$E_{общ}$, мг·экв/г	$E_{карб}$, мг·экв/г	$E_{гидр}$, мг·экв/г	A(Cu), мг/г
1	-	4,00	3,33	0,67	6,40
2	0,5н H_2SO_4	6,00	2,00	4,00	68,80
3	1н H_2SO_4	5,45	1,60	3,85	43,20
4	3н H_2SO_4	5,00	1,75	3,25	40,00
5	5н H_2SO_4	4,00	1,25	2,75	40,00

Установлено, что наибольшее изменение в количестве групп достигается при применении для обработки опилок 0,5н раствора серной кислоты с получением сорбента 2. Но в отличие от исходных опилок для этого сорбента резко – практически в 6 раз – увеличивается количество гидроксильных групп на поверхности, с соотношением $E_{карб}/E_{гидр} = 1:2$. При увеличении концентрации растворов H_2SO_4 общее количество кислородсодержащих групп в модифицированных опилках постепенно снижается, удерживая превалирующее в 2 раза значение $E_{гидр}$.

В статических условиях с исходной концентрацией металла в растворе 500 мг/дм³ (соотношение сорбента и раствора соли металла составляло 0,5 г

к 100 мл, продолжительность процесса 300 мин) наибольшая сорбционная емкость ($A(\text{Cu})$) отмечена для сорбента 2, который и был выбран для дальнейших исследований.

Известно, что краситель метиленовый синий и йод являются модельными сорбатами [2], и по величине сорбции йода можно судить о содержании в образце микропор с размерами эффективных диаметров 0,6–1,5 нм, а по сорбции метиленового синего – о содержании мезопор, имеющих большие размеры – 1,5–50 нм. Показано, что в ходе модификации опилок лиственницы 0,5н серной кислотой происходит увеличение в 1,1-1,4 раза пористости по сравнению с исходными опилками (табл. 2), а также возрастание суммарного объема пор и значения удельной поверхности.

Таблица 2

Физико-механические характеристики нативных и модифицированных опилок лиственницы

Показатель	Сорбент		
	1 [3]	2	2АК [3]
Модифицирующий реагент	-	0,5н H_2SO_4	0,5н HNO_3
Влажность (ГОСТ 16483.7-71), %	5,76	6,10	5,89
Адсорбционная активность по йоду (ГОСТ 6217-74), %	23,8	31,24	25,4
Адсорбционная активность по МГ (ГОСТ 4453-74), мг/г	215	293	302
Суммарный объём пор (ГОСТ 17219-71), $\text{см}^3/\text{г}$	3,82	5,87	6,42
Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	428	583	601

Стоит отметить, что при использовании ранее для модификации 0,5н раствора HNO_3 [3] был получен образец 2АК, хотя и обладающий более развитой поверхностью (табл. 2), однако максимальная сорбционная емкость по отношению к ионам меди не превышала 22,40 мг/г.

На рисунке 1 представлены изотермы сорбции ионов меди (II) исходными и модифицированными различными минеральными кислотами опилками лиственницы.

Изотермы сорбции исходных опилок и сорбента 2АК, модифицированного 0,5н HNO_3 , относятся к 1 типу изотерм по классификации Брунауэра, Деминга, Деминга и Теллера (БДДТ), что характерно для микропористых тел с относительно развитой внешней поверхностью. Изотермы образца 2 соответствуют 4 типу по этой же классификации, указывая на полимолекулярную сорбцию на пористых сорбентах. Максимальная сорбционная емкость сорбента 2 по отношению к ионам Cu(II) достигает значения 68,80 мг/г, что в 10,75 раз больше емкости исходных опилок.

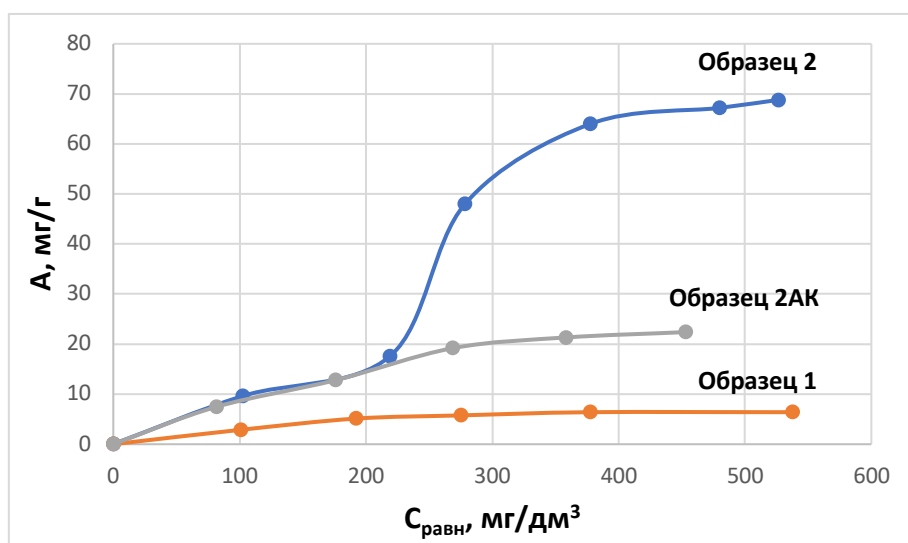


Рис. 1. Изотермы сорбции исходных и модифицированных опилок лиственницы по отношению к ионам меди (II)

Все изотермы адсорбции обработаны в рамках моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Дубинина-Радускевича и Темкина. Результаты представлены в таблице 3.

По величине коэффициентов аппроксимации R^2 установлено, что сорбция ионов меди (II) на всех модифицированных опилках лиственницы наиболее точно соответствует модели Ленгмюра, описывающей процесс протекания сорбции как формирование монослоя адсорбированных молекул на поверхности адсорбента. Величины коэффициентов n и n^{-1} (модель Фрейндлиха) для образцов 1 и 2АК указывают на процесс кооперативной физической сорбции, а для образца 2 на дополнительный вклад химической сорбции при извлечении ионов Cu(II) , что характеризует оптимальный подбор условий для сорбционного процесса. Рассчитанные энергетические параметры моделей Дубинина-

Радушкевича и Темкина (E – энергия адсорбции и B_{TE} – константа Темкина) для всех образцов указывают на преимущественный механизм физической сорбции.

Таблица 3

Уравнения регрессии и коэффициенты аппроксимации адсорбционных моделей

Модель	Параметр	Образец		
		1 [3]	2	2АК [3]
Ленгмюра	Уравнение регрессии	$24,678x + 0,0909$	$12x - 0,7226$	$9,1571x + 0,0223$
	R^2	0,9562	0,9491	0,9932
	K_L	0,036	0,064	2,4
Фрейндлиха	Уравнение регрессии	$0,4807x - 0,4486$	$1,3117x - 1,1038$	$0,6753x - 0,4046$
	R^2	0,8619	0,9109	0,9751
	k_f	0,356	0,082	0,394
	n	2,08	0,770	1,481
	$1/n$	0,481	1,298	0,675
Дубинина-Радушкевича	Уравнение регрессии	$-45,965x + 2,1198$	$80,589x - 1,9885$	$-100,71x + 3,7422$
	R^2	0,6975	0,7009	0,8836
	E , Дж/моль	363	272,12	245
Темкина	Уравнение регрессии	$2,1631x - 6,6678$	$0,851x - 0,6326$	$9,2741x - 33,711$
	R^2	0,9095	0,8668	0,9759
	B_{TE} , Дж/моль	1173	2982,6	265

Таким образом, показана возможность за счет деструктивного действия низкоконтрированных растворов минеральных кислот на легкорастворимые компоненты в составе опилок лиственницы получения на их основе микро-, мезопористых сорбентов для извлечения ионов $Cu(II)$ из водных сред.

Список литературы

1. Boehm H.P. Surface oxides on carbon and their analysis: a critical assessment // Carbon. 2002. Vol. 40. P. 145-149.
2. Епифанцева Н.С., Симкин Ю.Я. Изменение химического состава древесины и свойств получаемых активных углей в зависимости от длительности сроков усыхания дерева // Современные проблемы науки и образования. 2008. № 4. С. 111–112.
3. Дворянкин Д.Ю., Первова И.Г. Химически модифицированные опилки лиственницы для сорбционного извлечения ионов меди(II) // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2026. С. 1033–1038.

Математическое моделирование ультрафильтрации эмульсии углеводородов полисульфонамидными мембранами

Дряхлов В. О.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Атаева А. А.

Учитель

Туркменский государственный архитектурно-строительный университет

Бабаев М. Б.

Проректор по учебной работе

Туркменский государственный архитектурно-строительный университет

Атаева Б. Х.

Старший преподаватель

Туркменский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация: исследовалось разделение модельных 1 %, 3 % и 5 %-ных водомасляных эмульсий на основе масла марки «И-20А», стабилизированных ПАВ марки «Косинтол-242» в количестве 0,1 %, 0,3 % и 0,5 %, соответственно (количество дистиллированной воды — 98,1 %, 96,7 % и 94,5 %, соответственно).

Ключевые слова: эмульсия, мембрана, ультрафильтрация, плазма, моделирование

Мембранные технологии представляют собой передовую область технологий разделения, основанную на использовании полупроницаемых мембран для разделения веществ в различных процессах. Эти технологии находят широкое применение в таких сферах, как водоочистка, биотехнологии, химическая промышленность и переработка отходов. Преимущества мембранных процессов включают высокую энергоэффективность, экологичность и возможность точного контроля за разделением компонентов. В последние десятилетия

наблюдается активное развитие новых мембранных материалов и процессов, что открывает новые возможности для их применения в различных отраслях.

В рамках настоящей работы для описания процесса ультрафильтрации водомасляной эмульсии плазмообработанными ПАН мембранами в настоящей работе применяется математический аппарат теории интерполирования функций. В частности, на основании нижепредставленных экспериментальных данных с помощью интерполяционных полиномов Лагранжа строится модель, описывающая исследуемый процесс. Это позволит, не проводя множество однотипных экспериментов получить технологические параметры в зависимости от исходных данных. Применение аппарата аппроксимации по Лагранжу является эффективным инструментом при моделировании технологических процессов с высокой точностью.

Пусть на основании эксперимента значениям $x_1...x_n$ соответствуют значения $y_1...y_n$. Необходимо установить, по возможности, более простую зависимость между этими величинами. С этой целью определяем полином $L_n(x)$ степени не выше $n-1$, приближенно выражающий эту зависимость. В качестве такого полинома берется интерполяционный полином Лагранжа, который при значениях $x_1...x_n$ принимает значения $y_1...y_n$. Этот полином является аналитическим выражением, описывающим зависимость между величинами, и записывается в виде:

$$L_n(x) = \sum_{i=1}^n f(x_i)Q_i(x), \text{ где } Q_i(x) = \prod_{j=1, j \neq i}^n \frac{x-x_j}{x_i-x_j}, \text{ причем } Q_i(x_j) = 0 \text{ при } i \neq j, Q_i(x_i) = 1 \text{ при } i=j \quad (1)$$

На рис. 1 представлены графики зависимости производительности разделения 1, 3, 5 % водомасляной эмульсии (ВМЭ) ПСА с размерами пор мембран 0,002 мкм, где показано ожидаемое повышение значения производительности с уменьшением концентрации ВМЭ.

Приведем построенные нами аналитические выражения, описывающие изменение значений производительности в зависимости от времени при различном значении приложенного давления:

$$Q_{1\%} = 9 \cdot 10^{-8}t^5 - 2 \cdot 10^{-5}t^4 + 0,0025t^3 - 0,111t^2 + 2,0718t + 0,0701 \quad R^2 = 0,9844 \quad (1)$$

$$Q_{3\%} = -3 \cdot 10^{-6}t^4 + 0,0007t^3 - 0,0532t^2 + 1,3249t + 0,0824 \quad R^2 = 0,9850 \quad (2)$$

$$Q_{5\%} = -0,0009t^2 + 0,1147t - 0,0032 \quad R^2 = 0,9970 \quad (3)$$

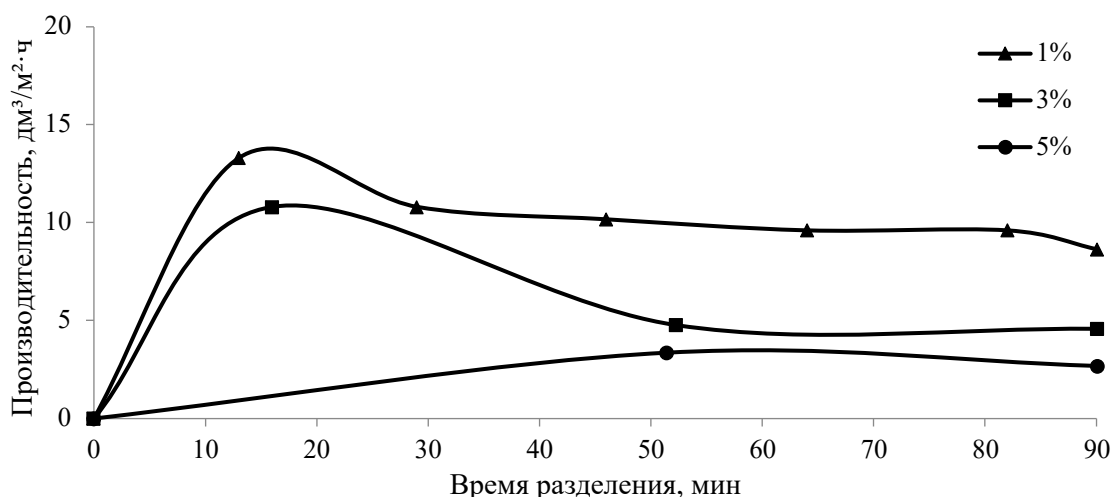


Рис. 1. Производительность разделения водомасляной эмульсии

Коэффициент аппроксимации отражает корректность описания моделей, позволяющих описывать приведенные графические зависимости с точностью $R^2 > 0,97$.

На рис. 2 представлены результаты значений ХПК фильтратов после разделения 1, 3, 5 % ВМЭ на основе индустриального масла марки «И-20А» с применением ПСА мембран с размерами пор 0,002, 0,005 и 0,010 мкм.

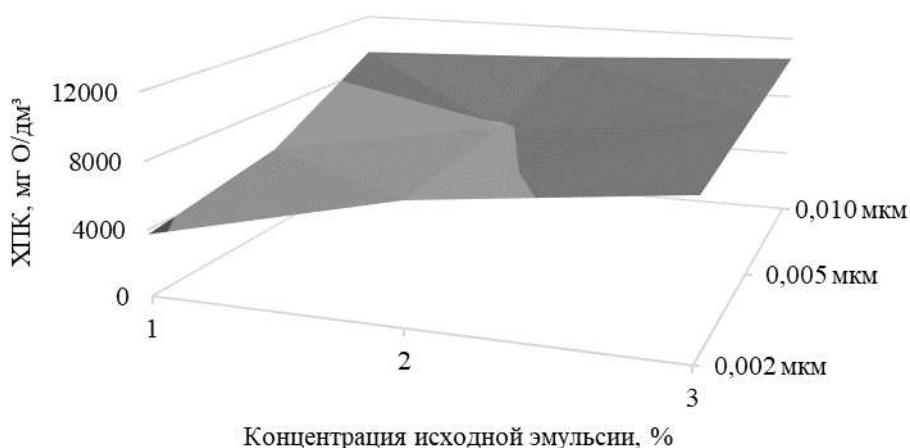


Рис. 2. ХПК эмульсии при разделении ультрафильтрации

По данным рис. 2 видно, что с повышением исходной концентрации эмульсии, а также с увеличением размера пор используемых ПСА мембран наблюдается увеличение значений ХПК, следовательно, и снижение эффективности. Наилучшая селективность разделения ВМЭ наблюдается при использовании

мембраны с наименьшим размером пор и наименьшей концентрацией эмульсии (1 %), что вполне логично [1-5].

Список литературы

1. Шайхиев И.Г. Мембранная очистка воды, содержащей отработанные смазочно-охлаждающие жидкости / И.Г. Шайхиев, В.О. Дряхлов, Д.Д. Фазуллин // Черные металлы. 2020. № 7. С. 46-50.
2. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Savelyeva A.V., Savelyev S.N., Dryakhlov V.O., Shaikhiev I.G. Sewage treatment from heavy metal ions by the method of deposition, using sulfur-alkaline wastewater as a reagent / D.D. Fazullin, G.V. Mavrin, A.V. Savelyeva, S.N. Savelyev, V.O. Dryakhlov, I.G. Shaikhiev // International Journal of Green Pharmacy. 2017. Т. 11. № 4. С. S831-S835.
3. Shaikhiev I.G. Separation of oil emulsion using polyacrylonitrile membranes, modified by corona discharge / I.G. Shaikhiev, V.O. Dryakhlov, M.F. Galikhanov, D.D. Fazullin, G.V. Mavrin // Inorganic Materials: Applied Research. 2020. Т. 11. № 5. С. 1160-1164.
4. Bonev B.S. Применение мембран для обработки флуидов (потоков) 1. морфология полимерных мембран / B.S. Bonev, И.Г. Шайхиев, В.О. Дряхлов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 8. С. 181-185.
5. Абдель-Гадир Б.М. Модифицированные растительные сорбенты для очистки воды от нефтяных загрязнений / Б.М. Абдель-Гадир, В.О. Дряхлов, Г.Г. Ягафарова, Г.М. Кузнецова, И.Р. Низамеев, Е.С. Нефедьев // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26. № 2. С. 75-79.

Дегградация тетрациклина с использованием кобальтсодержащих Фентон-подобных катализаторов

Емельяненко Т. А.

Студент

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Арефьева О. Д.

Профессор

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Либанов В. В.

Доцент

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Аннотация: Получены кобальтсодержащие Фентон-подобные катализаторы на основе аморфного диоксида кремния с массовым соотношением $Co : Si = 0,2 : 1$. В качестве источника диоксида кремния использован кремнезем различной природы. Изучен процесс разложения тетрациклина в условиях Фентон- и Фото-Фентон процессов. Установлено, что все образцы проявляют каталитическую активность в процессе дегградации тетрациклина в водном растворе. Степень дегградации находится в пределах 77-83 %. Концентрация Co в растворе после дегградации тетрациклина составила 0,26-2,23 мг/л.

Ключевые слова: тетрациклин, Фентон-подобные катализаторы, механохимическая активация, дегградация, выщелачивание, рисовая шелуха, рисовая солома, кремнезем

В последние годы одной из основных проблем является присутствие в сточных водах очистных сооружений стойких соединений преимущественно фармацевтических препаратов [1, 2]. Антибиотики тетрациклиновой группы довольно широко используются в медицине, ветеринарии и сельском хозяйстве, и попадают в объекты окружающей среды через сточные воды и продукты жизнедеятельности организмов [3]. Разработан ряд методов по удалению тетрациклина из водных сред, но наибольший интерес представляют передовые окислительные процессы (AOPs), к которым относится гетерогенная реакция Фентона. В составе Фентон-подобных катализаторов возможно применение не только железа, но и других металлов, включая Co , Mn , Cr , Mo и др. Среди них

кобальт занимает второе место, поскольку его соединения обладают стабильностью в водных растворах и способны быстро генерировать радикалы [4].

Наиболее распространенными способами получения каталитических материалов до сих пор остаются так называемые «мокрые» методы, связанные с использованием растворителей. Однако, такие традиционные методы часто требуют высоких температур и/или давлений, а также больших объемов растворителя. Для устранения этих недостатков в последние годы активно исследуются механохимические реакции, которые характеризуются простотой технологических операций и малостадийностью процесса [5].

Цель работы – исследовать процесс деградации тетрациклина в водных растворах с использованием кобальтсодержащих Фентон-подобных катализаторов, синтезированных механохимическим методом.

В настоящей работе из смеси нитрата кобальта и кремнезема методом механохимической активации было получено четыре образца Фентон-подобных катализаторов с массовым соотношением $\text{Co} : \text{Si} = 0,2 : 1$ (Si-Co-M, Si-Co-РШ(т), Si-Co-PC(т), Si-Co-РШ(о)). В качестве матрицы был использован кремнезем минерального и биогенного происхождения. Образцы Si-Co-РШ(т) и Si-Co-PC(т) получены на основе аморфного диоксида кремния, выделенного из рисовой шелухи (РШ) и соломы (PC) окислительным обжигом с предварительной обработкой 0,1 М раствором соляной кислоты [6]. Катализатор Si-Co-РШ(о) был синтезирован с применением кремнезема, осажденного из щелочного гидролизата РШ [6, 7]. Для Si-Co-M был использован кремнезем минерального происхождения (марка «Ковелос Чистогон»). Для получения Фентон-подобных катализаторов кремнезем различной природы и $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ помещали в мелющий стакан планетарной шаровой мельницы, соотношение масс образца и шариков составляло 20:1. Активацию проводили в течение 15 минут при частоте вращения 500 об/мин. Полученную смесь прокаливали в муфельной печи до 400 °С со скоростью 5 °С/мин с последующей выдержкой при данной температуре в течение 30 минут.

Каталитические свойства полученных образцов оценивали на примере реакции деградации тетрациклина при облучении видимым светом (фото-Фентон процесс). Концентрация тетрациклина составляла 25 мг/л. Загрузку катализатора определяли из расчета 1 г катализатора на 1 л раствора тетрациклина. Возбуждение видимым светом проводили в стеклянном стакане объемом 100 мл, в который помещали 50 мл раствора тетрациклина, 0,1 мл перекиси

(9,62 моль/л) и 0,05 г катализатора. Процесс проводили при постоянном перемешивании на магнитной мешалке (625 об/мин) в течении 2 ч. Источником видимого света была светодиодная лампа Gauss LEDD E27/A67 с номинальной мощностью 35 Ватт и цветовой температурой 4100 К (максимум излучения с длиной волны 600 нм). Далее катализатор отделяли центрифугированием. Температура окружающей среды во всех экспериментах была 25 °С.

В работе был проведен эксперимент по деградации тетрациклина в условиях, описанных выше, но без облучения видимым светом (Фентон-процесс). Для учета сорбции тетрациклина поверхностью катализаторов были выполнены исследования без добавления пероксида водорода в условиях аналогичных Фентон процессу (сорбционный процесс).

Исходное и остаточное содержание тетрациклина определяли фотометрическим методом. По полученным данным рассчитывали степень разрушения тетрациклина (χ , %) по формуле:

$$\chi = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где A_0 и A – оптические плотности раствора тетрациклина до и после Фентон-разложения.

Результаты деградации антибиотика в присутствии всех исследуемых образцов при воздействии видимого света (фото-Фентон процесс) показали, что степень разрушения тетрациклина статистически не отличается друг от друга и находится в диапазоне 74–80 % (рис. 1).

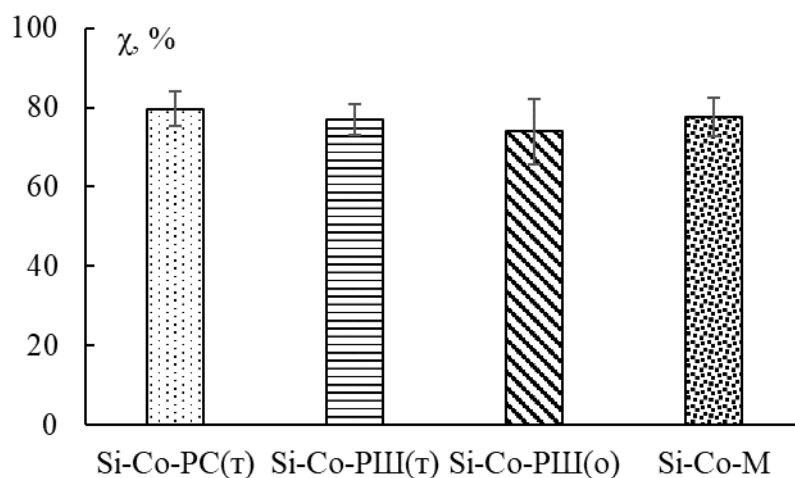


Рис. 1. Степень разложения тетрациклина в присутствии кобальтсодержащих Фентон-подобных катализаторов

В условиях Фентон-процесса значения χ для образцов Si-Co-PC(т), Si-Co-РШ(о) и Si-Co-M статистически не отличаются и составляют 81–83 %. Катализатор, полученный на основе кремнезема, выделенного из РШ термическим методом (Si-Co-РШ(т)), проявил меньшую активность ($\chi=77$ %) по сравнению с другими образцами (рис. 2).

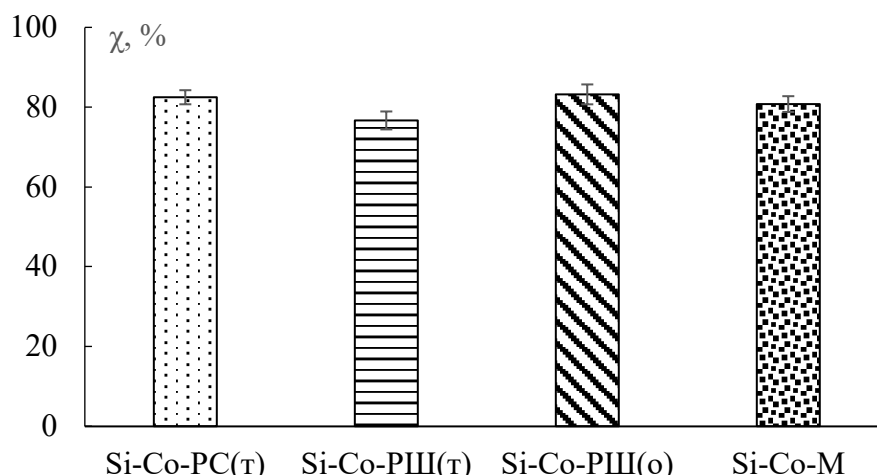


Рис. 2. Степень разложения тетрациклина в присутствии Фентон катализаторов без облучения видимым светом

Из рис. 3 видно, что самой высокой сорбционной способностью обладает образец Si-Co-РШ(т) (56 %), самой низкой – Si-Co-РШ(о) (11 %). Значения α для образцов Si-Co-M и Si-Co-PC(т) статистически не отличаются (39–42 %).

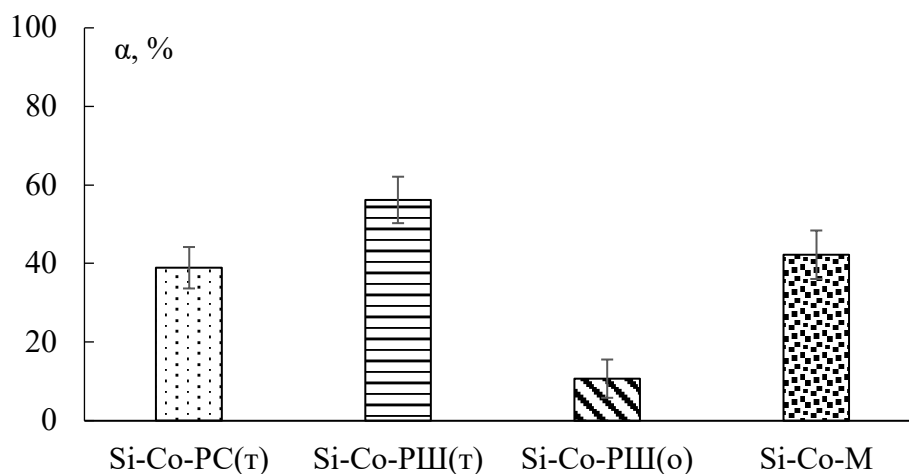


Рис. 3. Степень сорбции тетрациклина в условиях, аналогичных Фентон-процессу

Анализ рис. 1-3 показал следующее. Достоверных различий степени деградации тетрациклина в присутствии всех катализаторов в реакциях Фентона

и фото-Фентона не установлено. Полученный результат указывает на то, что облучение видимым светом не влияет на генерацию радикалов. Активация пероксида водорода происходит ионами кобальта ($\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$) на поверхности катализатора с образованием АФК. Наименьшая степень сорбции антибиотика образцом Si-Co-РШ(о) свидетельствует о том, что его удаление из водного раствора водного раствора происходит преимущественно за счет гетерогенной реакции Фентона.

В ходе работы была изучена устойчивость образцов в растворе тетрациклина. С этой целью было измерено содержание кобальта в водном растворе тетрациклина после деградации (таблица 1). Во всех случаях наблюдается выщелачивание кобальта в раствор (0,26–2,23 мг/л). Минимальная концентрация катионов кобальта в растворе наблюдается в присутствии Si-Co-РШ(о).

Таблица 1

**Содержание Co в водном растворе после деградации тетрациклина
в условиях Фентон-процесса**

Фентон-подобные катализаторы	Содержание Co, мг/л
Si-Co-M	1,62
Si-Co-РШ(т)	2,23
Si-Co-PC(т)	0,47
Si-Co-РШ(о)	0,26

Таким образом, в работе получены кобальтсодержащие Фентон-подобные катализаторы на основе аморфного диоксида кремния с массовым соотношением $\text{Co} : \text{Si} = 0,2 : 1$. Показано, что наиболее перспективным материалом в гетерогенной реакции Фентона для деградации тетрациклина является образец с матрицей из диоксида кремния, осажденного из щелочных гидролизатов РШ.

Список литературы

1. Oller I. Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for wastewater decontamination—a review / I. Oller, S. Malato, J. A. Sánchez-

- Pérez. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2010.08.061 // Science of the total environment. – 2011. – Vol. 409, № 20. – P. 4141-4166.
2. Cesaro A. Wastewater treatment by combination of advanced oxidation processes and conventional biological systems / A. Cesaro, V. Naddeo, V. Belgiorno. – DOI 10.4172/2155-6199.1000208 // Journal of Bioremediation & Biodegradation. – 2013. – Vol. 4, № 8. – P. 1-8.
 3. The Impact of Tetracycline Pollution on the Aquatic Environment and Removal Strategies / Y. Amangelsin, Y. Semenova, M. Dadar [et al.]. – DOI 10.3390/antibiotics12030440 // Antibiotics. – 2023. – V. 12. - P. 440.
 4. Тихова А. А. Коллоидно-химические эффекты в процессе окислительной деградации неионогенных поверхностно-активных веществ в водных растворах : специальность 02.00.11 «Коллоидная химия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / А .А. Тихова. – Москва, 2015. – 114 с.
 5. Mechanochemical Synthesis of Catalytic Materials / A. P. Amrute, J. D. Bellis, M. Felderhoff, F. Scheth. – DOI 10.1002/chem.202004583 // Chemistry—A European Journal. – 2021. – Vol. 27. – P. 6819 – 6847.
 6. Свойства аморфного кремнезема, полученного из отходов переработки риса и овса / Л. А. Земнухова, А. Г. Егоров, Г. А. Федорищева [и др.] // Неорганические материалы. – 2006. – Т. 42, № 1. – С. 27-32.
 7. Патент 2394764 Российская Федерация, МПК7 С 01В 33/12. Способ получения диоксида кремния / Л. А. Земнухова, Г. А. Федорищева; заявитель ФГБУН ИХ ДВО РАН. – 5 с. – № 2003456810/11; заявл. 28.09.01; опубл. 20.05.02, Бюл. № 12. – URL: <https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=3116e2dba2c4a0a52e2e72d0e7deed22>

Ресурсосберегающая технология очистки сточных вод с использованием отходов сталеплавильного производства

Жихарева Д. С.

Студент

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

Аннотация: в работе исследована возможность применения пыли газоочистки электро-сталеплавильных печей для очистки сточных вод от фосфат-ионов. При оптимальном соотношении реагента 4:1 достигнута эффективность удаления 98,15 % (остаточная концентрация 92,5 мг/дм³). Результаты исследования могут быть полезны при разработке более эффективных систем очистки сточных вод.

Ключевые слова: отходы сталеплавильного производства, пыль, фосфаты, сточная вода

На фоне стремительного развития современной промышленности и внедрения новейших технологий одними из наиболее острых проблем остаются образование, утилизация и дальнейшее использование отходов производства. Ярким примером являются отходы сталеплавильного производства, которые в настоящее время складываются в шлакоотвалах, что в свою очередь оказывает негативное влияние на окружающую природную среду [1]. Из открытых источников известно, что в отвалах металлургических предприятий накоплено уже более 42 млн. т отходов сталеплавильного производства, и с каждым годом объемы увеличиваются [2]. Одной из главных экологических проблем районов, где расположены металлургические предприятия, являются выбросы в атмосферный воздух большого количества высокодисперсной плавильной пыли, образующейся при процессах выплавки стали и сплавов [3].

Основными методами переработки металлургической пыли являются пиromеталлургический и гидрометаллургический. Пиromеталлургический метод предполагает высокотемпературную обработку (800–1200 °С) с целью извлечения цветных металлов. Гидрометаллургическая переработка основана на выщелачивании пыли кислотами или щелочами с последующим осаждением ионов железа, алюминия и цинка. Также применяется процесс вельцевания с получением оксида цинка и железосодержащего клинкера. Однако существенным недостатком данных технологий остается их высокая энергоемкость и трудоемкость [4].

Перспективным направлением в данной области является использование отходов без предварительной подготовки в качестве реагентов для очистки сточных вод [5].

Целью данной работы является оценка возможности применения отходов сталеплавильного производства (пыли газоочистки выбросов электросталеплавильных печей) в качестве реагентов для очистки сточных вод от фосфат-ионов. Химический состав используемого в работе отхода представлен в таблице 1.

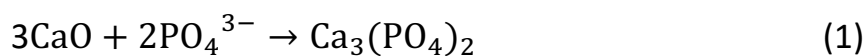
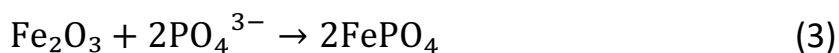
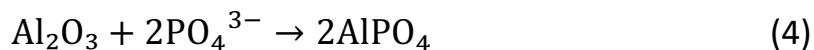
Таблица 1

**Состав пыли газоочистки выбросов электросталеплавильных печей
(в пересчете на оксиды), %**

Me_xO_y	%	Me_xO_y	%
Fe_2O_3	76,29	Na_2O	1,95
Al_2O_3	7,14	K_2O	0,02
CaO	2,80	MnO_2	4,23
MgO	0,01	Др.	7,56

Оценку возможности использования отходов в качестве реагентов для очистки проводили на модельной сточной воде с содержащем фосфат-ион (PO_4^{3-}) 5 г/дм³ и pH=1,56.

Введение реагента осуществляли в различных от стехиометрии соотношениях компонентов, способных связывать фосфат-ионы в нерастворимые соединения, рассчитанных в соответствии с уравнениями реакций 1-4:



Время контакта 10 минут, осадок отделяли фильтрацией через бумажный фильтр «Синяя лента» (рейтинг фильтрации 5 мкм). Остаточное содержание фосфатов определяли в соответствии с ГОСТ 18309—2014. Контроль pH осуществляли на портативном иономере И-160 потенциометрическим методом со стеклянным индикаторным электродом в соответствии с нормативным

документом ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты эксперимента

Соотношение $\Sigma \text{Me}_x\text{O}_y:\text{PO}_4$	pH	Остаточное содержание PO_4^{3-} , мг/дм ³
0,5:1	1,9	4850,5
1:1	2,8	4600,2
1,5:1	4,2	3800,7
2:1	5,1	2100,6
2,5:1	6,3	650,9
3:1	7,4	370,1
3,5:1	8,5	180,0
4:1	9,8	92,5
4,5:1	10,5	95,3
5:1	11,2	96,9
5,5:1	11,8	97,5

Из данных, представленных в таблице 1, видно, что в данных условиях эксперимента оптимальным является соотношение $\Sigma \text{Me}_x\text{O}_y:\text{PO}_4$ равное 4,0:1 при котором достигается наименьшая остаточная концентрация фосфат-ионов (92,5 мг/дм³).

Дальнейшее увеличение соотношения $\Sigma \text{Me}_x\text{O}_y:\text{PO}_4$ приводит к уменьшению эффективности удаления фосфатов и увеличению расхода реагента, а также вторичному загрязнению воды. Снижение эффективности дефосфатизации, вероятно, обусловлено началом процесса растворения ранее выпавшего осадка фосфата кальция в сильнощелочной среде (pH>10) с образованием более растворимых гидрофосфатов.

Несмотря на то, что эффективность очистки составила 98,15% остаточная концентрация фосфатов остается по-прежнему высокой для сброса в водный объект (ПДК_{рх} – 0,5 мг/дм³) в связи с чем необходимо вводить стадию доочистки с использованием коагулянтов на основе солей алюминия, железа или титана [6].

Список литературы

1. Kuzin E.N. Use of metallurgical scale in the processes of engineering protection of the environment / E. N. Kuzin, N. E. Kruchinina // CIS Iron and Steel Review. – 2022. – Vol. 24. – P. 93-97.
2. Корнеева Е.В. Исследования шлаков сталеплавильного производства с целью вторичного использования // Строительные материалы. 2014.-1-2 с.
3. Федотова Е.С. Исследование выбросов плавильной пыли от сталеплавильных агрегатов на основе математической модели её образования. 2018.- 3 с.
4. Самадов А.У. Металлургия и материаловедение пыли дуговых сталеплавильных печей и анализ возможностей его переработки // Металлургия и материаловедение. 2025.-5-6 с.
5. Кузин Е.Н. Бруситсодержащие отходы производства огнеупорных материалов в процессах очистки сточных вод / Е. Н. Кузин, Н. Е. Кручинина // Стекло и керамика. – 2022. – Т. 95, № 7(1135). – С. 58-63.
6. Кузин Е.Н. Получение и применение комплексного титансодержащего коагулянта из кварц-лейкоксового концентрата // Записки Горного института. 2024. Т. 267. С. 413-420.

Оценка эффективности адсорбционного метода для очистки воды от формальдегида

Кастро Карраско З. Д.

Студент

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

Иванцова Н. А.

Доцент

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева г. Москва

Аннотация: исследована возможность удаления формальдегида из сточных вод методом адсорбции с использованием активированных углей АГ-3, NWC и БАУ. В работе изучено влияние времени контакта и дозы угля на эффективность очистки раствора. Концентрацию формальдегида определяли фотометрическим методом. Показано, что наиболее эффективным сорбентом в исследованных условиях является уголь АГ-3. Оптимальными условиями процесса выбраны время контакта 60 мин и доза сорбента 5 г, при которых степень удаления формальдегида достигала 48,1 %.

Ключевые слова: формальдегид, очистка воды, адсорбция, активированный уголь, сорбент, фотометрический метод, сточные воды

Формальдегид представляет собой органическое соединение, широко применяемое в различных промышленных процессах, таких как производство смол, текстильная и бумажная промышленность и другие. Его присутствие в воде представляет экологическую и санитарную проблему из-за высокой токсичности, риска, связанного с воздействием на человека, и возможных последствий для здоровья. Поэтому в водных средах и сточных водах формальдегид требует эффективных методов очистки перед сбросом или повторным использованием [1]. В исследованиях описаны различные методы обработки стоков, содержащих формальдегид, среди которых окисление, мембранное разделение, электрокоагуляция и адсорбция [2]. Кроме того, более современные процессы, такие как Фентон, фото-Фентон и озонирование/Фентон, показали эффективность в удалении формальдегида, хотя и требуют более сложных условий проведения [3].

Среди физико-химических методов особый интерес представляет адсорбция на активированном угле благодаря простоте эксплуатации, высокой

удельной поверхности этих материалов и развитой пористой структуре, которые обеспечивают хорошую удерживающую способность. Уголь активированный гранулированный (AG-3) применялся в процессах очистки воды для удаления органических веществ, поэтому используется в качестве промышленного гранулированного адсорбента [4]. Кокосовый активированный уголь (NWC) представляет собой гранулированный активированный уголь из скорлупы кокоса, характеризующийся преимущественно микропористой структурой и потенциальной пригодностью для использования в процессах очистки воды [5]. В свою очередь, берёзовый уголь (БАУ) показал эффективность при очистке водных растворов за счёт механизма физической адсорбции, связанного со свойствами его поверхности и пористой структуры [6]. В этом контексте сравнение углей AG-3, NWC и БАУ для удаления формальдегида является актуальным для выбора наиболее эффективного угля и наиболее оптимальных условий для получения лучших результатов процесса.

Для изучения адсорбции формальдегида был приготовлен модельный водный раствор с начальной концентрацией 2 мг/л в стандартных условиях. На первом этапе эксперимента раствор был распределён по пяти колбам объёмом 100 мл, в каждую из которых помещали по 100 мл данного раствора и добавляли по 0,5 г угля AG-3. Затем колбы подвергали перемешиванию на шейкере при различных временах контакта: 20, 30, 60 и 90 мин. После завершения перемешивания отбирали по 5 мл из каждой пробы для определения остаточной концентрации формальдегида фотометрическим методом. На втором этапе, после установления оптимального времени контакта, была проведена та же процедура с изменением массы угля (0,2; 0,5; 1; 2 и 5 г) при фиксированном времени 60 мин, как наиболее оптимальном. Такой же экспериментальный подход впоследствии был применён и к другим исследуемым сорбентам: кокосовому активированному углю NWC и активированному углю БАУ.

Для определения фотометрическим методом использовали 5 мл каждой пробы, к которой добавляли 0,2 мл фенилгидразина (ФГС, 7,5 %), 0,1 мл $K_3[Fe(CN)_6]$ (5 %) концентрации и 1 мл гидроксида натрия (10 %) концентрации. Смесь оставляли на 15 мин для протекания реакции, после чего измеряли оптическую плотность на фотометре при длине волны 540 нм. Используемая методика основана на том, что при добавлении фенилгидразина к раствору, содержащему формальдегид, в присутствии окислителя гексацианоферрата(III)

калия $K_3[Fe(CN)_6]$, фенилгидразин окисляется до фенилгидразона; промежуточный продукт этого окисления конденсируется с формальдегидом, образуя соединение оранжево-красного цвета, интенсивность окраски которого пропорциональна содержанию формальдегида. На основании полученных значений оптической плотности остаточную концентрацию формальдегида рассчитывали по предварительно построенному калибровочному уравнению.

Таблица 1

Эффективность адсорбции в зависимости от времени

Время (мин)	АГ-3	NWC	БАУ
20	6,3%	31,4%	26,2%
30	14,2%	30,4%	29,1%
60	59,1%	27,7%	17,7%
90	55,8%	36,4%	14,3%

Таблица 2

Эффективность адсорбции в зависимости от дозы угля

Доза (г)	АГ-3	NWC	БАУ
0,2	4,3%	16,5%	17,5%
0,5	27,8%	24,3%	2,2%
1	20,0%	17,1%	6,4%
2	38,4%	37,5%	7,4%
5	48,1%	40,6%	30,5%

Как видно из табл. 1, наибольшая эффективность адсорбции была достигнута через 60 мин для активированного угля АГ-3, который показал наивысшую эффективность. Также в табл. 2 видно, что эффективность адсорбции возрастает с увеличением дозы сорбента, при этом наилучшие результаты были получены при дозе 5 г. В обеих сериях экспериментов уголь АГ-3 продемонстрировал наилучшие показатели по сравнению с углём NWC и БАУ. Таким образом, можно сделать вывод, что уголь АГ-3 является наиболее эффективным адсорбентом для удаления формальдегида в исследованных условиях, а как время контакта, так и увеличение дозы оказывают положительное влияние на эффективность процесса.

Список литературы

1. Owen B.A., Dudney C.S., Tan E.L., Easterly C.E. Formaldehyde in drinking water: comparative hazard evaluation and an approach to regulation // *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 1990. Vol. 11, no. 3. P. 220–236. DOI: 10.1016/0273-2300(90)90023-5.
2. Paliulis D. Removal of formaldehyde from synthetic wastewater using natural and modified zeolites // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2016. Vol. 25, no. 1. P. 251–257. DOI: 10.15244/pjoes/60727.
3. Hosseinzadeh A., Najafpoor A.A., Navaei A.A., Zhou J.L., Altaee A., Ramezani N., Dehghan A., Bao T., Yazdani M. Improving formaldehyde removal from water and wastewater by Fenton, photo-Fenton and ozonation/Fenton processes through optimization and modeling // *Water*. 2021. Vol. 13, no. 19. Art. 2754. DOI: 10.3390/w13192754.
4. Лесович Е.В., Велюго Е.С., Ющенко В.Д. Изучение свойств активированного угля при удалении органических веществ из природных вод // *Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации [Электронный ресурс] : электронный сборник статей IV международной научной конференции, Новополоцк, 20–21 апр. 2022 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой ; редкол.: Д. Н. Лазовский (пред.) [и др.]. Новополоцк : Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2022. С. 170–174.*
5. Burakov A., Romantsova I., Kucheroва A., Tkachev A. Removal of heavy-metal ions from aqueous solutions using activated carbons: effect of adsorbent surface modification with carbon nanotubes // *Adsorption Science & Technology*. 2014. Vol. 32, no. 9. P. 737–747. DOI: 10.1260/0263-6174.32.9.737.
6. Линников О.Д., Родина И.В., Бакланова И.В., Сунцов А.Ю. Сорбция ионов меди активированным углем марки БАУ-А // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2018. Т. 18, № 4. С. 554–562. DOI: 10.17308/sorpchrom.2018.18/563.

Перспективы замены хлорирования на ультрафиолетовое обеззараживание на водоподготовительных установках нефтехимических предприятий

Зарифов А. Р.

Бакалавр

Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО КНИТУ

Сагдеева Г. С.

Доцент

Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО КНИТУ

Аннотация: рассмотрена возможность замены хлорирования ультрафиолетовым обеззараживанием на водоподготовительном участке нефтехимических предприятий. Проведено сравнение двух методов по основным эксплуатационным показателям. Показаны преимущества УФ-обеззараживания с точки зрения промышленной безопасности и отсутствия побочных продуктов.

Ключевые слова: обеззараживание воды, ультрафиолет, хлорирование, водоподготовка, нефтехимия, промышленная безопасность

Водоподготовительные установки (ВПУ) нефтехимических предприятий обеспечивают технологическое водоснабжение систем оборотного охлаждения, паровых котлов и процессов синтеза. Обязательным этапом подготовки воды является обеззараживание — подавление микробиологического роста, который приводит к биообрастанию теплообменных поверхностей, снижению эффективности охлаждения и коррозии оборудования.

На большинстве действующих предприятий нефтехимического комплекса в качестве основного метода обеззараживания применяется хлорирование — дозирование жидкого гипохлорита натрия или газообразного хлора. Метод хорошо изучен и обеспечивает надёжный бактерицидный эффект, однако связан с рядом проблем: образование хлорорганических соединений, необходимость хранения токсичного реагента, коррозия оборудования продуктами хлорирования и риск аварийного выброса хлора в атмосферу [1].

В последние годы на объектах водоподготовки всё более широкое применение находит ультрафиолетовое (УФ) обеззараживание. Настоящая работа

посвящена анализу целесообразности замены хлорирования на УФ-обеззараживание применительно к условиям водоподготовительных установок нефтехимических предприятий.

Принцип действия УФ-обеззараживания

Бактерицидный эффект УФ-излучения связан с фотохимическими изменениями ДНК микроорганизмов. При воздействии излучения длиной волны 253,7 нм, создаваемого ртутными и амальгамными лампами, УФ-излучение поглощается нуклеиновыми кислотами микроорганизмов, что вызывает образование пиримидиновых димеров (преимущественно тимин-тиминовых) в молекуле ДНК, нарушает процесс репликации и приводит к гибели клетки. Эффективность обеззараживания определяется дозой УФ-излучения – произведением интенсивности на время экспозиции. Для надёжного подавления бактерий и вирусов достаточна доза 40 мДж/см², что регламентировано действующими санитарными нормами [2].

Принципиальное отличие УФ-обеззараживания от хлорирования состоит в том, что оно является физическим методом: в обрабатываемую воду не вводятся химические вещества, не изменяется её состав и не образуются побочные продукты. Вода после прохождения через УФ-реактор сохраняет исходные органолептические и химические показатели.

Сравнение хлорирования и УФ-обеззараживания

Для обоснования целесообразности замены метода обеззараживания необходимо сопоставить оба подхода по ключевым эксплуатационным показателям. Результаты сравнения представлены в таблице 1

Таблица 1

Сравнение методов обеззараживания воды на ВПУ

Показатель	Хлорирование (гипохлорит Na)	УФ-обеззараживание
Бактерицидный эффект	Высокий	Высокий
Пролонгированное действие	Да (остаточный хлор в сети)	Нет (действует только в реакторе)
Побочные продукты	Хлорорганические соединения (ТГМ)	Отсутствуют

Хранение реагента	Требуется склад гипохлорита/хлора	Не требуется
Коррозионное действие	Усиливает коррозию углеродистой стали	Отсутствует
Аварийная опасность	Риск утечки хлора (АХОВ)	Минимальная (электробезопасность)
Энергопотребление	Низкое (дозировочный насос)	Умеренное (УФ-лампы)

Как видно из таблицы 1, по бактерицидной эффективности оба метода сопоставимы. Ключевое преимущество хлорирования – пролонгированное действие: остаточный хлор сохраняет бактерицидный эффект в распределительной сети и препятствует повторному обсеменению воды. УФ-обеззараживание таким свойством не обладает – его действие ограничено зоной облучения в реакторе.

Однако в условиях нефтехимического предприятия значимость данного фактора снижается. Интенсивный водооборот на промышленных площадках обеспечивает быструю сменяемость объёма, а отсутствие пролонгированного действия УФ-облучения может быть легко скомпенсировано технологическими решениями. На этом фоне недостатки хлора – образование хлорорганических соединений и коррозионная активность – приобретают решающее значение.

Преимущества перехода на УФ-обеззараживание на ВПУ

Исключение хлора из технологической схемы водоподготовки позволяет решить сразу несколько проблем. Во-первых, устраняется необходимость хранения и транспортировки химически опасного вещества. Хлор относится ко 2-му классу опасности, его хранение требует специализированного склада с системой нейтрализации, также предприятие обязано разрабатывать и поддерживать план локализации и ликвидации аварий [3]. Переход на УФ-установку упрощает эти требования и связанные с ними затраты.

Во-вторых, при УФ-обеззараживании отсутствуют побочные продукты хлорирования, такие как тригалометаны (хлороформ и др.). Они образуются, когда хлор реагирует с органическими веществами, которые уже присутствуют в исходной воде. Тригалометаны считаются канцерогенами, поэтому их уровень строго регулируют в питьевой воде [4]. В системах оборотного водоснабжения

они накапливаются за счет концентрирования, что ставит вопрос о возможном воздействии на воздух рабочей зоны во время работы градирен.

В-третьих, уменьшается скорость коррозии металлических трубопроводов и теплообменного оборудования. Хлор в оборотной воде ускоряет электрохимическую коррозию углеродистой стали, из-за чего межремонтный период теплообменников сокращается, а затраты на ремонт растут. УФ-облучение не вносит в воду агрессивных компонентов и никак не влияет на процессы коррозии.

Ограничения метода и способы их компенсации

Несмотря на достоинства, УФ-обеззараживание не лишено недостатков. Так, одним из самых серьезных ограничений является непродолжительный бактерицидный эффект. На предприятиях, в системах оборотного охлаждения, вода постоянно циркулирует между аппаратами (теплообменниками, градирнями, насосной и т.п.), однако некоторые участки трубопроводов остаются заполненными (так называемые зоны застоя), вследствие чего микрофлора может начать повторно размножаться. Чтобы с этим справиться, УФ-реактор ставят непосредственно перед важными участками — обычно на входе в теплообменники или на линии подпитки цикла.

Ещё одно ограничение — работа установки сильно зависит от мутности и цветности воды. Взвешенные частицы и растворённые органические вещества поглощают ультрафиолет и рассеивают его. В таком случае до микробов доходит меньшая доза. Чтобы довести уровень до нормы 40 мДж/см², мутность воды перед УФ-реактором не должна быть выше 2 мг/л. На большинстве ВПУ нефтехимических предприятий вода перед обеззараживанием проходит стадии коагуляции и фильтрации — они обеспечивают нужную прозрачность. Поэтому это ограничение редко становится проблемой.

Выводы

1. Проведён сравнительный анализ хлорирования и УФ-обеззараживания применительно к условиям водоподготовительных установок нефтехимических предприятий. Установлено, что оба метода обеспечивают сопоставимый бактерицидный эффект, но при УФ-обеззараживании не образуются побочные продукты и не усиливается коррозия оборудования.

2. Показано, что для промышленных систем оборотного охлаждения отсутствие пролонгированного действия УФ-излучения компенсируется высокой

интенсивностью водооборота и возможностью локальной установки УФ-реакторов непосредственно перед защищаемым теплообменным оборудованием.

3. Переход на УФ-обеззараживание позволяет исключить из технологической схемы аварийно химически опасное вещество хлор. Это снижает требования к промышленной безопасности объекта и уменьшает эксплуатационные расходы на обслуживание хлорного хозяйства

Список литературы

1. Приказ Ростехнадзора от 03.12.2020 № 486 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при производстве, хранении, транспортировании и применении хлора"» (зарегистрировано в Минюсте России 24.12.2020 № 61776) // СПС «Консультант-Плюс». — URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 10.04.2026).
2. МУ 2.1.4.719-98. Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды : методические указания. — Москва : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 1998.
3. Российская Федерация. Законы. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : федеральный закон № 116-ФЗ : [принят Государственной Думой 20 июня 1997 г.]. — Москва, 1997.
4. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. — Москва, 2021.

Исследование влияния температуры и pH на окисление резорцина персульфатом аммония

Иванов А. А.

Магистрант

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Любушкин Т. Г.

Аспирант

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Аннотация: в работе изучено окисление резорцина персульфатом аммония в широком диапазоне температур (20–70 °C) и значений pH (2–11). Установлено, что повышение температуры реакционной смеси до 70 °C увеличивает степень деструкции резорцина в 10,5 раз до 65,3 %. Изменение pH среды менее выражено: максимальная эффективность окисления не превышает 10 % и достигается при pH = 11. Результаты свидетельствуют о перспективности методов SR-AOPs для очистки сточных вод от устойчивых органических соединений.

Ключевые слова: очистка сточных вод, резорцин, SR-AOPs, сульфат-радикалы

Введение

Интенсивный рост населения, развитие промышленности и сельского хозяйства способствуют экономическому прогрессу и повышению уровня жизни, однако сопровождаются значительным увеличением объемов водопотребления и усилением антропогенной нагрузки на природные водоемы [1]. Значительную опасность для окружающей среды представляют органические экотоксиканты, в частности фенол и его производные, широко распространенные в составе промышленных сточных вод различного происхождения.

Фенол и его соединения устойчивы в окружающей среде, способны трансформироваться в более токсичные соединения, обладают нейро- и нефротоксичностью, а также способностью к биоаккумуляции. Все эти свойства обуславливают строгое нормирование концентрации фенолов или их производных в воде природных водоемов и, как следствие, необходимость глубокой очистки сбрасываемых сточных вод [2].

Очистка сточных вод, содержащих фенолы, осуществляется с использованием мембранных, адсорбционных, биологических и химических методов.

Однако при высоких концентрациях фенольных соединений эффективность этих методов может оказаться недостаточной для достижения нормативных требований. Для деструкции остаточных концентраций фенола и его производных широко применяются химические окислители, включая гипохлорит натрия, пероксид водорода и озон. Тем не менее их применение сопряжено с рядом недостатков: использование хлорсодержащих соединений может приводить к образованию еще более токсичных соединений (моно-, ди-, три-, тетрахлорфенолы и др.) [3]; применение озона характеризуется высокими энергозатратами и сложностями масштабирования технологии [4]; пероксид водорода ограниченно используется ввиду высокой стоимости, токсичности и взрывоопасности [5].

Вследствие ограничений традиционных методов особый интерес представляют усовершенствованные процессы окисления (Advanced Oxidation Processes, AOPs). Главной особенностью AOPs методов является генерация активных форм кислорода, окислительный потенциал которых намного выше, чем у исходных окислителей [6, 7]. Образующиеся свободные радикалы способны разлагать широкий спектр экотоксикантов, включая фенол и его производные. Для генерации данных активных частиц необходима инициация распада окислителей, которая может быть реализована с использованием переходных металлов в качестве катализаторов, пропусканием электрического тока, нагреванием, облучением ультрафиолетом и т. д. [8].

Одним из наиболее перспективных направлений в области AOPs являются процессы, основанные на сульфат-радикалах (Sulfate-Radical based AOP, SR-AOPs), источниками которых выступают, как правило, пероксодисерная кислота ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$) или ее соли – персульфаты ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) [9].

Целью работы является исследование влияния температуры и pH-среды на эффективность деструкции резорцина персульфатом аммония.

Материалы и методы исследования

Исследование эффективности деструкции проводили с использованием модельного раствора резорцина с концентрацией 3 мг/дм³. Определение его концентрации до и после окисления проводили фотометрическим методом согласно РД 52.24.480-2022 с использованием ЗОМС КФК-3-01. Процесс окисления осуществлялся при постоянном перемешивании в течение 30 минут.

Окисление проводили персульфатом аммония $((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)$, варьируя дозировку от 2,5 до 10 мг окислителя/мг резорцина (далее мг/мг).

Поскольку часть промышленных сточных вод (красильные, фармацевтические и др.) имеют повышенную температуру (35–80°C), изучение процессов генерации сульфат-радикалов при термической активации персульфата аммония становится актуальной задачей. Образование сульфат-радикалов при нагревании персульфата аммония объясняется разрывом пероксидной связи (уравнение 1) [10]. Температуру растворов резорцина варьировали от 23 °C (без нагревания) до 70°C.



Изменение pH-среды наряду с нагреванием может влиять на эффективность деструкции органических соединений [11]. Корректировку pH растворов осуществляли путем добавления 0,1% растворов NaOH и H_2SO_4 . Диапазон изменения pH составил 2-11. Значение pH определяли с использованием лабораторного pH-метра (pH-метр-иономер «Экотест» 2000).

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования было изучено окисление резорцина чистым персульфатом аммония. Результаты опыта приведены на диаграмме 1.

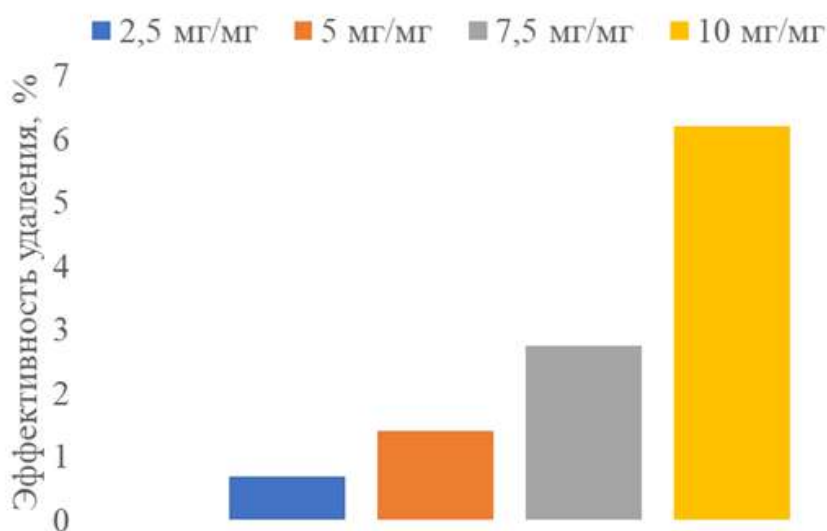


Рис. 1. Эффективность удаления резорцина в модельном растворе с помощью персульфата аммония

Из данных диаграммы 1 видно, что максимальное удаление резорцина с помощью персульфата аммония достигается при дозе 10 мг/мг и не превышает 7 %. Такая низкая степень удаления может объясняться устойчивой структурой бензольного кольца, электронная плотность которого усилена гидроксильными группами.

С целью увеличения эффективности удаления резорцина было принято решение о необходимости интенсификации генерации сульфат-радикалов. Для этого реакционную смесь нагревали в диапазоне от 40 до 70 °С при дозе персульфата аммония 10 мг/мг. Результаты опыта приведены на диаграмме 2.

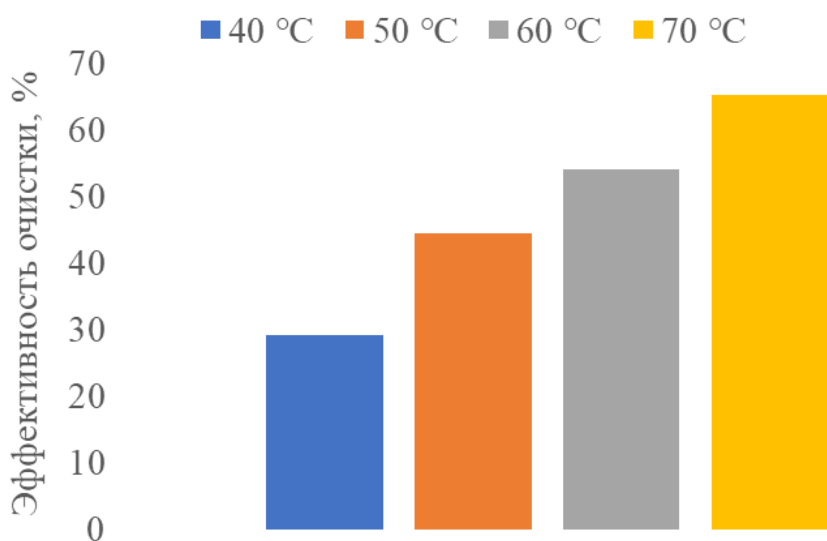


Рис. 2. Эффективность удаления резорцина в модельном растворе при нагревании

Как видно из данных, представленных на диаграмме 2, рост температуры заметно увеличивает эффективность окисления резорцина персульфатом аммония. Максимальная степень удаления была достигнута при температуре 70 °С и составила 65,3 %. Увеличение эффективности удаления резорцина с ростом температуры объясняется увеличением доступной энергии для разрушения пероксидной связи и образования свободных радикалов.

Заключительным этапом исследования стало изучение влияния величины pH на эффективность окислительной деструкции резорцина. Результаты опыта приведены на диаграмме 3.

Согласно представленным данным, с увеличением pH-среды степень деструкции резорцина незначительно возрастает и не превышает 10 %. Наблюдаемое увеличение степени деструкции в сильнощелочной среде (pH = 11),

вероятно, связано с образованием комплекса активных форм кислорода – сульфат- ($SO_4^{\cdot -}$) и гидроксил-радикалов ($OH^{\cdot}$) [12]. В щелочной среде гидроксильные радикалы преобладают по отношению к сульфат-радикалам, что, вероятно, и обуславливает более интенсивное разрушение загрязняющего вещества. Увеличение эффективности деструкции может быть связано с диссоциацией резорцина в щелочной среде с образованием фенолят-анионов, более реакционно-активными по отношению к свободным радикалам [13].

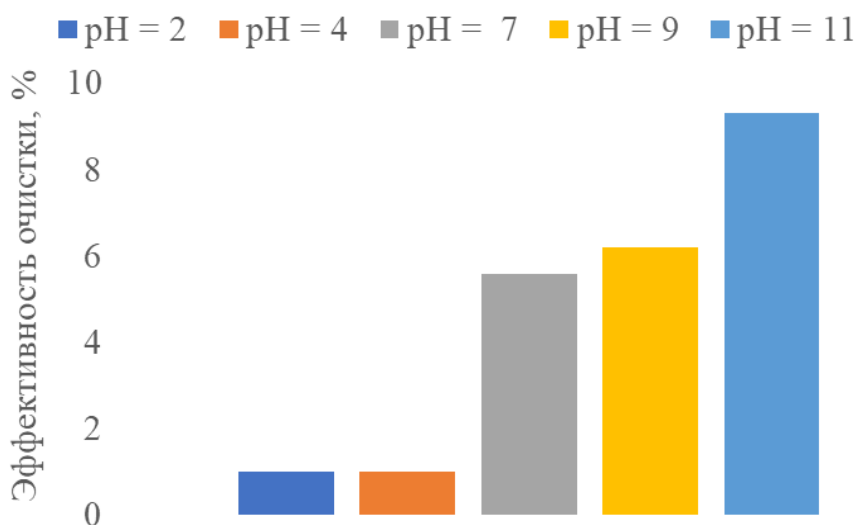


Рис. 3. Эффективность удаления резорцина в модельном растворе с помощью изменения pH-среды

Выводы

Результаты исследования показывают, что повышение температуры реакционной среды увеличивает степень окисления резорцина персульфатом аммония в 10,5 раз и достигает 65,3 %. В то же время подщелачивание среды обеспечивает лишь 1,5-кратное увеличение эффективности, что говорит о меньшем влиянии pH на процесс окисления. Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод о возможности применения методов SR-AOPs для удаления устойчивых к окислению органических соединений в сточных водах с повышенной температурой. Повышение эффективности предлагаемого метода возможно при его комбинировании с другими методами генерации активных частиц (добавление переходных металлов, пропускание электрического тока, ультразвук, УФ и др.) [14].

Список литературы

1. Wang Q. et al. Urbanization and water consumption at national-and subnational-scale: The roles of structural changes in economy, population, and resources //Sustainable Cities and Society. – 2021. – Т. 75. – С. 103272.
2. Ahmaruzzaman M. et al. Phenolic compounds in water: From toxicity and source to sustainable solutions—An integrated review of removal methods, advanced technologies, cost analysis, and future prospects //Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2024. – Т. 12. – №. 3. – С. 112964.
3. Said K.A.M. et al. A review of technologies for the phenolic compounds recovery and phenol removal from wastewater //Process Safety and Environmental Protection. – 2021. – Т. 151. – С. 257-289.
4. Das P. . et al. Advancements on ozonation process for wastewater treatment: A comprehensive review //Chemical Engineering and Processing-Process Intensification. – 2024. – Т. 202. – С. 109852.
5. Asghar A., Raman A.A.A., Daud W.M.A. W. Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater treatment: a review //Journal of cleaner production. – 2015. – Т. 87. – С. 826-838.
6. Ivantsova N.A., Kuzin E.N., Kuznetsov V.V. et al Advanced electrochemical treatment of tetracycline-contaminated water using Pt/Ti electrodes // RSC Adv. 2025 Vol. 15(27). P. 21785-21793.
7. Sarantseva A.A., Ivantsova N.A., Kuzin E.N. Investigation of the Process of Oxidative Degradation of Phenol by Sodium Ferrate Solutions //Russian Journal of General Chemistry. – 2023. – Т. 93. – №. 13. – С. 3454-3459.
8. Yang Q. et al. Recent advances in photo-activated sulfate radical-advanced oxidation process (SR-AOP) for refractory organic pollutants removal in water // Chemical Engineering Journal. – 2019. – Т. 378. – С. 122149.
9. Любушкин Т.Г. и др. Оценка возможности использования пероксодисерной кислоты в процессах очистки сточных вод, содержащих синтетические красители //Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2025. – Т. 68. – №. 1. – С. 120-126.
10. Wang J., Wang S. Activation of persulfate (PS) and peroxymonosulfate (PMS) and application for the degradation of emerging contaminants //Chemical Engineering Journal. – 2018. – Т. 334. – С. 1502-1517.

11. Xia X. et al. A review study on sulfate-radical-based advanced oxidation processes for domestic/industrial wastewater treatment: degradation, efficiency, and mechanism //Frontiers in Chemistry. – 2020. – Т. 8. – С. 592056.
12. Matzek L.W., Carter K.E. Activated persulfate for organic chemical degradation: a review //Chemosphere. – 2016. – Т. 151. – С. 178-188.
13. Ly A. et al. Reactivity of DNA guanyl radicals with phenolate anions //The Journal of Physical Chemistry B. – 2005. – Т. 109. – №. 27. – С. 13368-13374.
14. Влияние физико-химических факторов на стабильность растворов пероксодисерной кислоты при хранении / Т.Г. Любушкин, Е.А. Пономарева, Е.Н. Кузин [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2025. – № 2. – С. 39-47.

Влияние pH на фотоокисление сульфидсодержащих сточных вод

Иванцова Н. А.

Доцент

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

Шлыкова А. Ю.

Студент

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

Аннотация: в работе исследован процесс фотохимического окисления сернисто-щелочной сточной вод в присутствии пероксида водорода, а также оценено влияние pH на данный процесс. Из полученных данных видно, что максимальная эффективность удаления сульфид-ионов достигается при pH=4,5 и составляет 99,8 %.

Ключевые слова: сернисто-щелочные сточные воды, фотохимическое окисление, очистка, эффективность очистки

Ухудшение качества водных ресурсов является острой проблемой во всём мире. Это связано с постоянным увеличением роста промышленности, что приводит к возрастающей антропогенной нагрузке на окружающую среду, в частности, на поверхностные и подземные водоёмы [1]. Крупными источниками загрязнения природных вод являются предприятия химического и нефтехимического комплексов. В данной отрасли образуются сернисто-щелочные сточные воды (СЩСВ), обладающие сложным составом, включающим высокотоксичные поллютанты. В этих стоках наибольшую опасность представляют высокие концентрации серасодержащих соединений, например, сульфиды. Их присутствие в сточных водах не позволяет смешивать их с другими стоками и производить биологическую очистку. В связи с этим необходимо создание локального узла очистки для СЩСВ [2, 3]. Однако существующие технологии очистки таких стоков имеют ряд недостатков, среди которых выделяют низкую степень удаления сульфид-ионов. Поэтому необходим поиск эффективных методов очистки.

Перспективным направлением в очистке сточных вод, обладающих сложным составом, включающим трудноразлагаемые загрязняющие вещества, является прямое или каталитическое фотоокисление с дополнительным

внесением гомогенных или гетерогенных катализаторов или добавок. Таким образом, исследование направлено на экспериментальную оценку эффективности фотохимического окисления сульфид-ионов, присутствующих в СЩСВ, при различных значениях pH среды.

Объект исследования в данной работе – разбавленная сернисто-щелочная сточная вода с pH = 12,0 и концентрацией сульфидов – 1340 мг/л. Объем пробы составил – 150 мл. Окисление производили с помощью установки, подробное описание которой представлено в работе [4]. Источником излучения в данном исследовании являлась импульсная ксеноновая лампа (ИКЛ). Время облучения раствора варьировалось от 5 до 60 минут. В качестве вводимой гомогенной добавки использовали пероксид водорода (3 %) в количестве 1,5 мл на объем пробы.

Первым этапом исследования было проведено фотохимическое окисление СЩСВ при исходном значении pH. Эффективность очистки такого стока производилась по удалению сульфид-ионов из стока по формуле (1):

$$\alpha = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100 (\%), \quad (1)$$

На втором этапе исследования в СЩСВ вносили серную кислоту и доводили pH до 7,7. В этом случае часть сульфидов переходила в газовую фазу в виде сероводорода. Оставшаяся часть далее окислялась с помощью фотоокисления в присутствии пероксида водорода (УФ/H₂O₂). На третьем этапе исследования сток подкисляли до pH=4,5. Так же, как и на предыдущем этапе, часть сульфид-ионов удалялась в виде газа, далее раствор облучали. Результаты всех этапов исследования представлены на рис. 1.

На основании представленных данных (рис. 1) показано, что эффективность процесса удаления сульфид-ионов существенно зависит от кислотности среды. Во всех случаях наблюдается монотонный рост эффективности удаления сульфидов с увеличением времени облучения. Кривые демонстрируют нелинейный характер роста, приближающийся к насыщению при больших временах облучения. Вероятно, низкий pH способствует образованию активных частиц, ускоряющих реакцию, тогда как высокая щелочность замедляет процесс, вероятно, вследствие образования менее реакционноспособных соединений. Кроме того, импульсный фотолиз может эффективнее протекать в кислой среде [5].

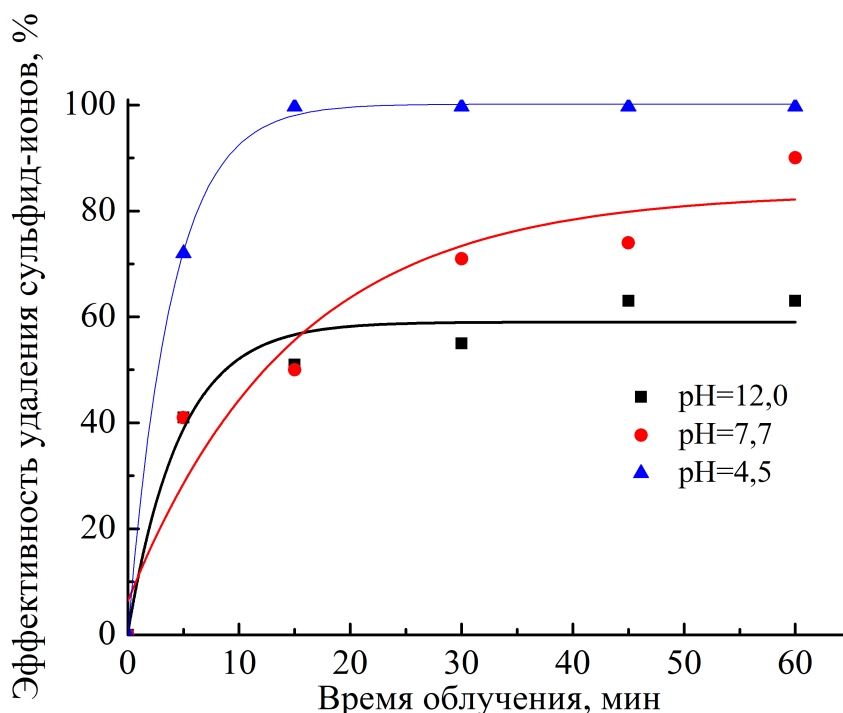


Рис. 1. Зависимость эффективности удаления сульфид-ионов от времени УФ-облучения

В процессе исследования также определяли концентрацию сульфат-ионов. В случае фотоокисления стока при его исходном значении pH=12,0 концентрация SO_4^{2-} увеличилась в 2,4 раза, при pH=7,7 – в 1,3 раза, а при pH=4,5 – в 1,4 раз через 60 мин УФ-облучения. Это подтверждает эффективность перевода высокотоксичных сульфид-ионов в менее токсичные сульфат-ионы.

Таким образом, система УФ/ H_2O_2 представляет собой перспективную технологию очистки сернисто-щелочных сточных вод. Наибольшая степень удаления сульфид-ионов достигается при pH=4,5 и составляет 99,7 % уже при времени обработки 15 минут. В остальных случаях максимальные значения достигают 63,2 % и 89,8 % при pH=12,0 и pH=7,7 соответственно при времени 60 минут. Результаты указывают на важность контроля pH-фактора для оптимизации процессов очистки сточных вод методом фотохимического окисления. Изменение pH оказывает влияние и на кинетику реакции: оптимальный диапазон pH для эффективного фотохимического окисления сульфид-ионов находится в области слабокислой или нейтральной среды. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования в области водоочистки щелочных сточных вод, содержащих серасодержащие соединения.

Список литературы

1. Кузин Е.Н. Оценка эффективности использования комплексных коагулянтов в процессах очистки сточных вод машиностроительного производства / Е.Н. Кузин, Н.Е. Кручинина // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2019. – Т. 62. – №. 10. – С. 140-146.
2. Бадикова А.Д. Поиск путей очистки сернисто-щелочных стоков нефтеперерабатывающих предприятий / А.Д. Бадикова, А.Р. Мурзакова, Ф.Х. Кудашева, М.А. Цадкин, Р.Н. Гимаев // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2005. – №. 2. – С. 24-24.
3. Мурзакова А.Р. Вопрос очистки сернисто-щелочных стоков нефтеперерабатывающих предприятий / А.Р. Мурзакова, А.Д. Бадикова, Ф.Х. Кудашева, М.А. Цадкин, Р.Н. Гимаев // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2007. Т.50. - №. 2. – С. 103-104.
4. Ветрова М.А. Оценка эффективности окисления нитрофурала под воздействием импульсного и непрерывного УФ-излучения / М.А. Ветрова, Н.А. Иванцова, П.С. Астахов, Л.Л. Кениг // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2024. – №. 4. – С. 29-38.
5. Шлыкова А.Ю. Кинетика деструкции метиленового синего под воздействием импульсной ксеноновой лампы / А.Ю. Шлыкова, В.Н. Дубровина, А.И. Кулебякина, Н.А. Иванцова // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2024. – №. 3. – С. 136-145.

Определение химического потребления кислорода водомасляных эмульсий при разделении полимерными мембранами

Ихсанова С. М.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: исследована эффективность ультрафильтрационной очистки водомасляной эмульсии, содержащей индустриальное масло И-20А в концентрациях от 0,2 % до 1 %. Определение химического потребления кислорода (ХПК) проводилось до и после фильтрации через три типа мембран с различными размерами пор. По полученным данным сделан вывод, что определение ХПК до и после ультрафильтрации является объективным критерием оценки глубины очистки и позволяет обоснованно выбирать тип мембраны для разделения углеводородсодержащих эмульсий.

Ключевые слова: водомасляная эмульсия, ультрафильтрация, мембрана, химическое потребление кислорода, эффективность очистки

Первоначальным этапом работы определено ХПК до процесса ультрафильтрации. В таблице 1 представлены значения ХПК исходной водомасляной эмульсии различной концентрации.

Таблица 1

ХПК исходной пробы

Концентрация эмульсии, %	ХПК, мгО/дм ³
1	9257
0,8	7455
0,6	5346
0,4	4168
0,2	1670

На основании данных, представленных в таблице 1, показана зависимость значений ХПК от концентрации масла в эмульсии. С уменьшением концентрации содержания углеводородов происходит снижение ХПК. Данное обстоятельство объясняется тем, что при разбавлении эмульсии количество органических

веществ уменьшается. А следовательно, затрачивается меньшее количество кислорода, необходимое для окисления этих веществ.

Далее проводилось ультрафильтрационное разделение водомасляной эмульсии с использованием трех различных мембран (из полиэфирсульфона, полиакрилонитрила и ацетат целлюлозы) и определено ХПК. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

ХПК после фильтрации

Концентрация эмульсии, %	ХПК, мгО/дм ³		
	ФМПЭС (0,1 мкм)	ПАН (0,06 мкм)	ФМАЦ (0,45 мкм)
1	1735	1306	1455
0,8	1297	1297	1101
0,6	1308	981	935
0,4	738	458	860
0,2	738	505	534

На основании представленной таблицы 2 наилучшие результаты по снижению ХПК показала мембрана ПАН. Также показано, что исходное значение ХПК для эмульсии с концентрацией масла 1 % (9257 мгО/л) после ультрафильтрации снижается в 5–7 раз в зависимости от типа мембраны.

В завершение работы была рассчитана эффективность очистки водомасляной эмульсии. Эффективность определяется зависимостью концентрации масла от ХПК. На рис. 1-3 показана эта зависимость для разных мембран.

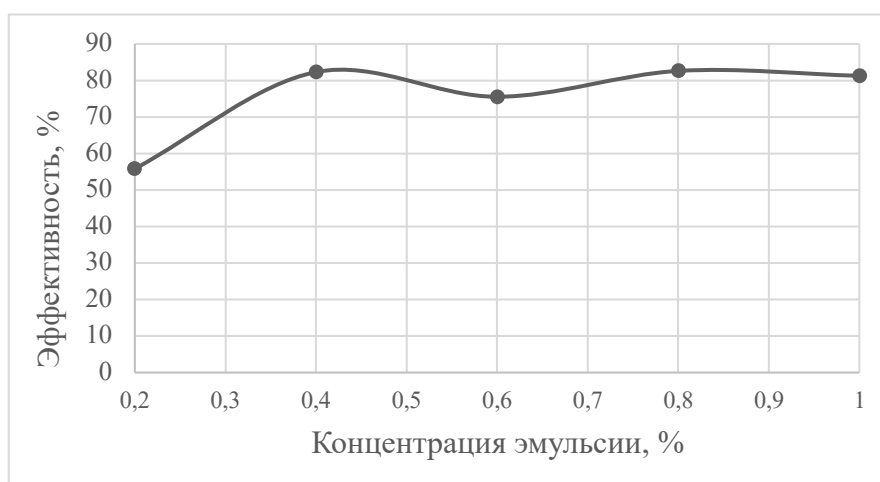


Рис. 1. Эффективность для ФМПЭС

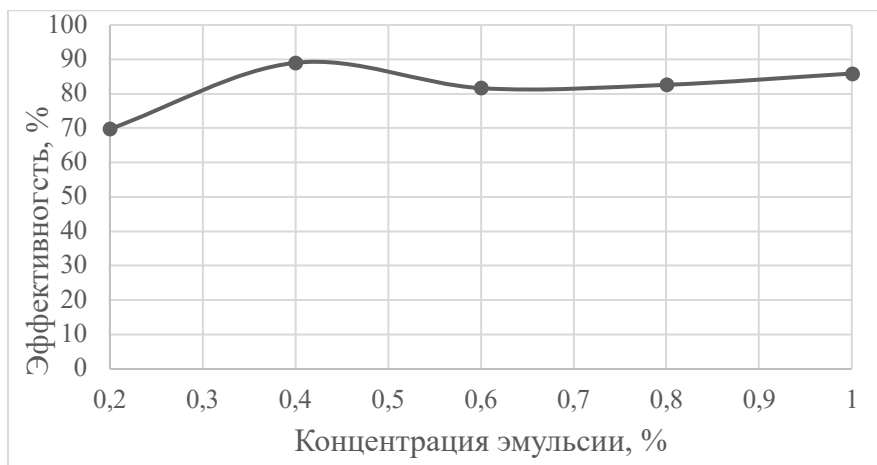


Рис. 2. Эффективность для ПАВ

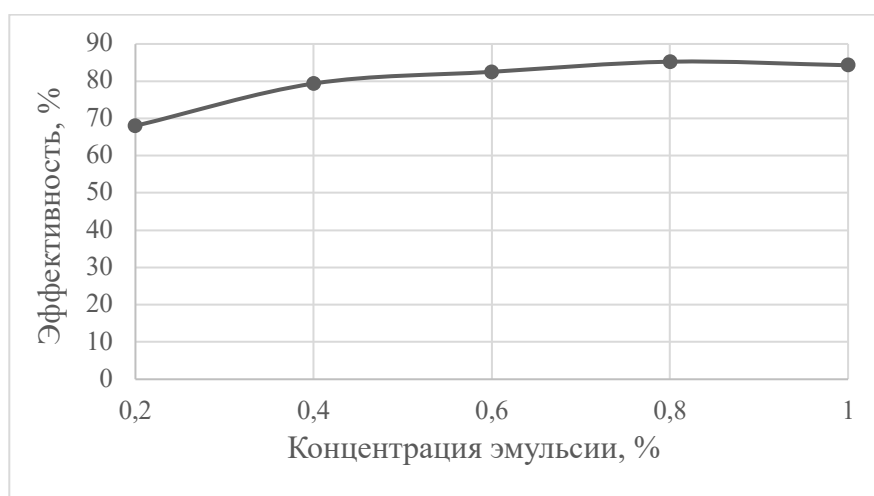


Рис. 3. Эффективность для ФМАЦ

На основании представленных на рис. 1-3 зависимостей показано незначительное повышение эффективности с увеличением концентрации разделяемого раствора, согласно закону массообмена.

Сравнение значений ХПК позволяет не только оценить степень очистки воды, но и выявить возможные проблемы в процессе ультрафильтрации.

Таким образом, регулярный мониторинг ХПК является важным инструментом для оптимизации процессов очистки и повышения их эффективности [1-5].

Список литературы

1. Шайхиев И.Г. Мембранная очистка воды, содержащей отработанные смазочно-охлаждающие жидкости / И.Г. Шайхиев, В.О. Дряхлов, Д.Д. Фазуллин // Черные металлы. 2020. № 7. С. 46-50.

2. Fazullin D.D., Mavrin G.V., Savelyeva A.V., Savelyev S.N., Dryakhlov V.O., Shaikhiev I.G. Sewage treatment from heavy metal ions by the method of deposition, using sulfur-alkaline wastewater as a reagent / D.D. Fazullin, G.V. Mavrin, A.V. Savelyeva, S.N. Savelyev, V.O. Dryakhlov, I.G. Shaikhiev // International Journal of Green Pharmacy. 2017. Т. 11. № 4. С. S831-S835.
3. Shaikhiev I.G. Separation of oil emulsion using polyacrylonitrile membranes, modified by corona discharge / I.G. Shaikhiev, V.O. Dryakhlov, M.F. Galikhanov, D.D. Fazullin, G.V. Mavrin // Inorganic Materials: Applied Research. 2020. Т. 11. № 5. С. 1160-1164.
4. Bonev B.S. Применение мембран для обработки флуидов (потоков) 1. морфология полимерных мембран / B.S. Bonev, И.Г. Шайхиев, В.О. Дряхлов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 8. С. 181-185.
5. Абдель-Гадир Б.М. Модифицированные растительные сорбенты для очистки воды от нефтяных загрязнений / Б.М. Абдель-Гадир, В.О. Дряхлов, Г.Г. Ягафарова, Г.М. Кузнецова, И.Р. Низамеев, Е.С. Нефедьев // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26. № 2. С. 75-79.

Усовершенствование технологии очистки сточных вод гальванического производства от ионов тяжелых металлов

Комарова Д. В.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: предложен способ модернизации очистных сооружений гальванического производства путем внедрения узла мембранного обессоливания с целью создания замкнутого водооборота.

Ключевые слова: ионы тяжелых металлов, сточные воды, гальваническое производство, обратный осмос

Одним из наиболее опасных источников загрязнения гидросферы является гальваническое производство, так при этом образуется большое количество сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов.

Вред тяжёлых металлов для живого организма обусловлен их способностью к биоаккумуляции и концентрированию при движении по трофической цепи, что приводит к нарушению функционирования систем органов. Сложность удаления из организма ионов тяжелых металлов (ИТМ) вызвано тем, что они образуют прочные связи с белками и другими компонентами клеточных структур [1].

Очистка сточных вод от тяжёлых металлов - важный этап водоочистки, направленный на удаление токсичных загрязнителей. На промышленных предприятиях обычно схема очистных сооружений по очистке гальванических сточных вод включает в себя нейтрализацию стоков, с образованием малорастворимых гидроксидов металлов, и ферритизацию образующегося осадка, с образованием нерастворимых соединений железа. Доочистка стоков проводится адсорбционным методом [2].

В настоящее время разработка универсальной схемы очистки затруднительна в связи с многообразием химического и физико-химического состава сточных вод гальванических производств. Поэтому актуальной задачей становится поиск совокупности технологических решений.

Одной из проблем гальванического цеха производства медицинских инструментов является высокое водопотребление, в результате которого образуются сточные воды с содержанием ионов тяжелых металлов, таких как: Fe^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{6+} , Zn^{2+} концентрацией 16,3 мг/л, 0,85 мг/л, 1,34 мг/л, 3 мг/л, 0,00019 мг/л соответственно. В действующей станции нейтрализации действует следующая схема реагентной очистки: сточная вода, содержащая Cr (VI), проходит процесс восстановления Cr (VI) до Cr (III) сульфатом железа в качестве восстановителя. Затем Cr (III) переводится в нерастворимые гидроксиды и совместно выделяется с другими ионами тяжелых металлов в отстойнике, оснащенном тонкослойными модулями, после которого суспензия подается на фильтр-пресс, где производится обезвоживание осадков. Далее осветленная вода проходит через угольные фильтры и сливается в центральную канализационную систему в размере 4,5 м³/ч, что увеличивает экологическую нагрузку на окружающую среду не только большим расходом водных ресурсов, но и случайным попаданием ионами тяжелых металлов.

На территории Республики Татарстан действуют следующие нормативы ПДК сточных для сброса в водоёмы хозяйственно-бытового назначения: для Fe^{2+} - 5 мг/л, Cu^{2+} - 0,1 мг/л, Ni^{2+} - 0,25 мг/л, Cr^{6+} - 0,05 мг/л, Zn^{2+} - 1 мг/л. Видно, что реальные концентрации ИТМ значительно выше, чем допустимые значения и поэтому для достижения качественной очистки требуется усовершенствование очистных сооружений. В настоящее время, согласно протоколам анализов сточных вод, существует превышение ПДК Ni^{2+} - $0,53 \pm 0,1$ мг/л.

Для решения вышеизложенной проблемы предлагается внедрение дополнительной системы доочистки – узла мембранного обессоливания – на основе технологии обратного осмоса с возможностью возврата очищенной воды в объеме 3,6 м³/ч (составляет более 80% от первоначального водозабора), образуя замкнутый цикл водооборота. Преимущество заключается не только в снижении расхода водных ресурсов, но и усиленном контроле концентрации ИТМ после системы нейтрализации стоков. Данная технологическая схема не требует полной переоборудовки действующих очистных сооружений, что снижает экономическую нагрузку на модернизацию станции нейтрализации гальванического производства согласно современным тенденциям экологического менеджмента.

Список литературы

1. Кузнецов, А.Е. Прикладная эковиотехнология: учебное пособие [Текст] / А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова, С.В. Лушников, М. Энгельхарт, Т. Вайссер, М.В. Чеботарёва. - Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 - 485 с.
2. Татаринцева Е.А. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов и технологии утилизации металлосодержащих гальваношламов / Е.А. Татаринцева, Л.Н. Ольшанская, Е.А. Бухарова // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. - 2021. - № 3.

Совершенствование методов разделения водно-фенольных растворов с помощью модифицированных полисульфонных мембран

Красильников И. О.

Магистрант

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Сомин В. А.

Заведующий международной кафедрой ЮНЕСКО «Инженерная экология»

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Ковалева Ю. С.

Студент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Ершова Е. А.

Студент

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

Аннотация: рассмотрена проблема загрязнения окружающей среды фенолом, поступающим со сточными водами химических, коксохимических и нефтеперерабатывающих предприятий. Представлен обзор методов очистки (химических, электрохимических, биологических, физико-химических) с акцентом на мембранные технологии. Описан эксперимент по модификации мембраны ОРМ31К двумя способами: нанесением слоя хитозана (формирование селективного барьера толщиной до 0,01 мм) и обработкой оксидом азота (IV) (химическое модифицирование структуры полисульфона). Испытания проводились на модельном растворе с концентрацией фенола 50 мг/л при давлении 6–13 атм; оценивались селективность и проницаемость. Результаты показали, что исходная мембрана имеет низкую селективность (26 % при 6 атм и 2,5 % при 13 атм), модификация хитозаном повысила ее до 62 % (6 атм) и 48 % (13 атм), но снизила проницаемость в 2,8–1,8 раза; обработка оксидом азота (IV) обеспечила максимальную селективность (98 % при 6 атм и 97 % при 13 атм) при снижении проницаемости в 11,3–6,3 раза. Сделан вывод, что модификация мембраны ОРМ31К существенно повышает её эффективность в удалении фенола, причём обработка оксидом азота (IV) демонстрирует наиболее стабильные и высокие показатели селективности, что открывает перспективы для внедрения в системы очистки промышленных сточных вод..

Ключевые слова: фенол, модификация мембран, хитозан, оксид азота (IV), селективность, проницаемость, полисульфон

Одним из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды является фенол, проникающий в нее, как правило, со сточными водами. Главные пути его поступления связаны с деятельностью химической и коксохимической промышленности, а также предприятий по переработке и химической обработке нефти. К источникам образования фенолов относятся технологические процессы каталитического крекинганегаидроочищенного сырья, висбрекинга и каталитического крекингаидроочищенного сырья [1].

На практике в очистке сточных вод от фенола используют различные методы, такие как: химические, электрохимические, физико-химические и биологические [2]. Для случаев с высокой концентрацией фенола (более 4 г/л) доказана эффективность экстракционной очистки и ионного обмена. Применение сульфокатионитов и сильноосновных анионитов позволяет извлекать до 90–95 % фенола [3]. В числе современных физико-химических методов выделяются мембранные технологии, такие как первапорация, ультрафильтрация, обратный осмос [4].

Улучшение селективных свойств мембран возможно за счет модификации, например внедрения металлоорганических каркасов [5], путем нанесения селективного слоя высокомолекулярных соединений на поверхность мембраны [6] или обработкой полисульфонамидных мембран в поле униполярного коронного разряда [7].

В рамках эксперимента авторы проводили модифицирование полисульфонных мембран марки ОРМ31К двумя способами. Первый заключался в нанесении на поверхность мембраны слоя хитозана в низкоконтрированной органической кислоте. В качестве модификатора был выбран хитозан, так как он демонстрирует высокую способность к очистке водных сред от фенола благодаря комплексу физико-химических и структурных свойств [8]. Модифицирующий раствор подавался под давлением на поверхность мембраны, что способствовало проникновению молекул хитозана в структуру материала и их задержанию на поверхности мембраны. Таким образом, формировался тонкий селективный барьер толщиной до 0,01 мм.

Второй способ заключался в обработке поверхности полисульфонной мембраны оксидом азота (IV). В процессе нитрования ароматических колец группа NO_2 встраивается в систему ароматического фрагмента полисульфона, формируя связи ($\text{C}-\text{NO}_2$); кроме того, возможна окислительная деструкция оксидом

азота (IV), который разрывает слабоустойчивые связи (в частности, С–Н в алкильных фрагментах), внедряя кислородсодержащие функциональные группы.

Для исследования транспортных характеристик модифицированных полисульфонных мембран модельный водно-фенольный раствор с начальной концентрацией фенола 50 мг/л подавался тангенциально над поверхностью мембраны. Рабочее давление устанавливалось вручную от 6 до 13 атм. На разных этапах отбирали пробы пермеата; для каждой фиксировали время отбора и измеряли концентрацию фенола. Использованная мембрана имела площадь поверхности 0,0028 м² и толщину 0,00017 м.

Данные, полученные для мембраны ОРМ31К, представлены на рис. 1.

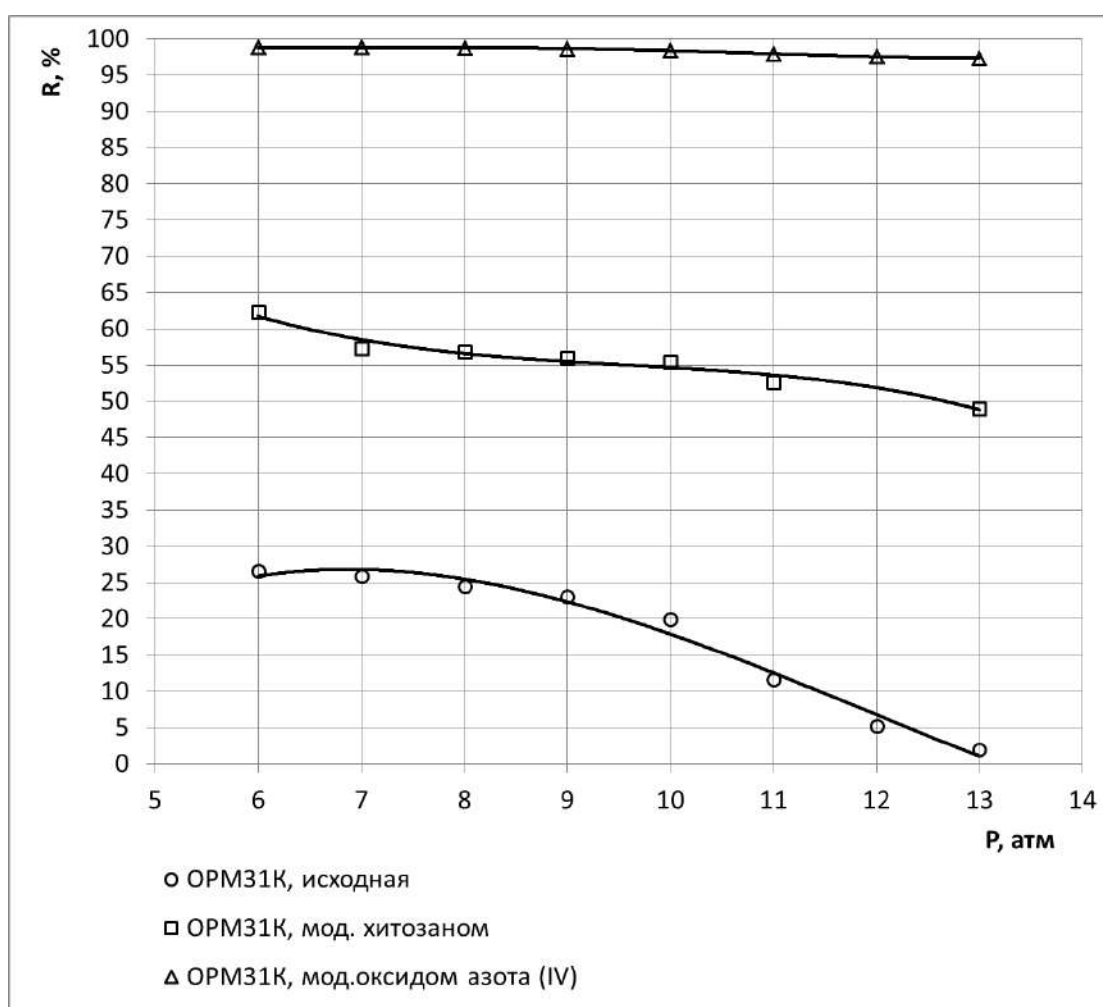


Рис. 1. Зависимость селективности мембраны ОРМ31К от рабочего давления

Согласно данным, приведённым на рисунке 1, исходная мембрана при минимальном давлении в исследуемом диапазоне (6 атм) демонстрирует невысокую селективность разделения фенольного раствора (26 %). При повышении

давления до 13 атм наблюдается снижение селективности до 2,5 %, свидетельствующее об ухудшении разделительных свойств мембраны под действием возрастающей гидравлической нагрузки.

Модификация мембраны ОРМ31К хитозаном обеспечивает значительное повышение селективности: при 6 атм — до 62 % (в 2,4 раза выше исходного), при 13 атм — до 48 % (в 19,2 раза выше исходного).

Обработка оксидом азота(IV) привела к существенному повышению селективности мембраны марки ОРМ31К по фенолу во всем диапазоне рабочих давлений: 98 % при 6 атм и 97 % при 13 атм.

На рис. 2 представлены зависимости проницаемости мембраны ОРМ31К от рабочего давления. Для исходной немодифицированной мембраны зафиксировано увеличение проницаемости с 225 мл/(мин•м²) при 6 атм до 315 мл/(мин•м²) при 13 атм, что, вероятно, обусловлено усилением конвективного потока через пористую структуру при возрастании гидравлической нагрузки.

Модификация хитозаном привела к существенному снижению проницаемости на всём исследованном диапазоне давлений: при 6 атм проницаемость составила 80 мл/(мин•м²), а при 13 атм—180 мл/(мин•м²), что соответственно в 2,8 и в 1,8 раза ниже значений исходной мембраны при аналогичных нагрузках. Такое уменьшение проницаемости можно объяснить формированием слоя хитозана, частично блокирующего поры и создающего дополнительный диффузионный барьер.

Наиболее значительное снижение проницаемости наблюдалось после модификации оксидом азота (IV): всего 20 мл/(мин•м²) при 6 атм и 50 мл/(мин•м²) при 13 атм, то есть в 11,3 и в 6,3 раза ниже соответствующих показателей исходной мембраны. Такое снижение проницаемости, вероятно, связано с тем, что при химическом модифицировании поверхности с образованием нитрозо-/нитрогрупп происходит сужение эффективного диаметра пор, что тормозит транспорт вещества через мембрану.

Результаты эксперимента показали перспективность мембранных технологий в области разделения водно-фенольных растворов. В работе исследованы два способа модификации полисульфонной мембраны ОРМ31К: нанесение слоя хитозана и обработка оксидом азота (IV). Эксперимент выявил, что исходная мембрана обладает низкой селективностью (26 % при 6 атм и 2,5 % при

13 атм), тогда как модификация хитозаном повышает селективность до 62 % (6 атм) и 48 % (13 атм), но снижает проницаемость в 2,8–1,8 раза соответственно. Наибольший эффект дала обработка оксидом азота (IV): селективность достигла 98 % (6 атм) и 97 % (13 атм) при снижении проницаемости в 11,3–6,3 раза, что обусловлено химическим модифицированием структуры и сужением пор. Таким образом, модификация мембраны ОРМ31К существенно повышает её эффективность в удалении фенола, причём обработка оксидом азота (IV) демонстрирует наиболее стабильные и высокие показатели селективности, открывая перспективы для внедрения в системы очистки промышленных сточных вод.

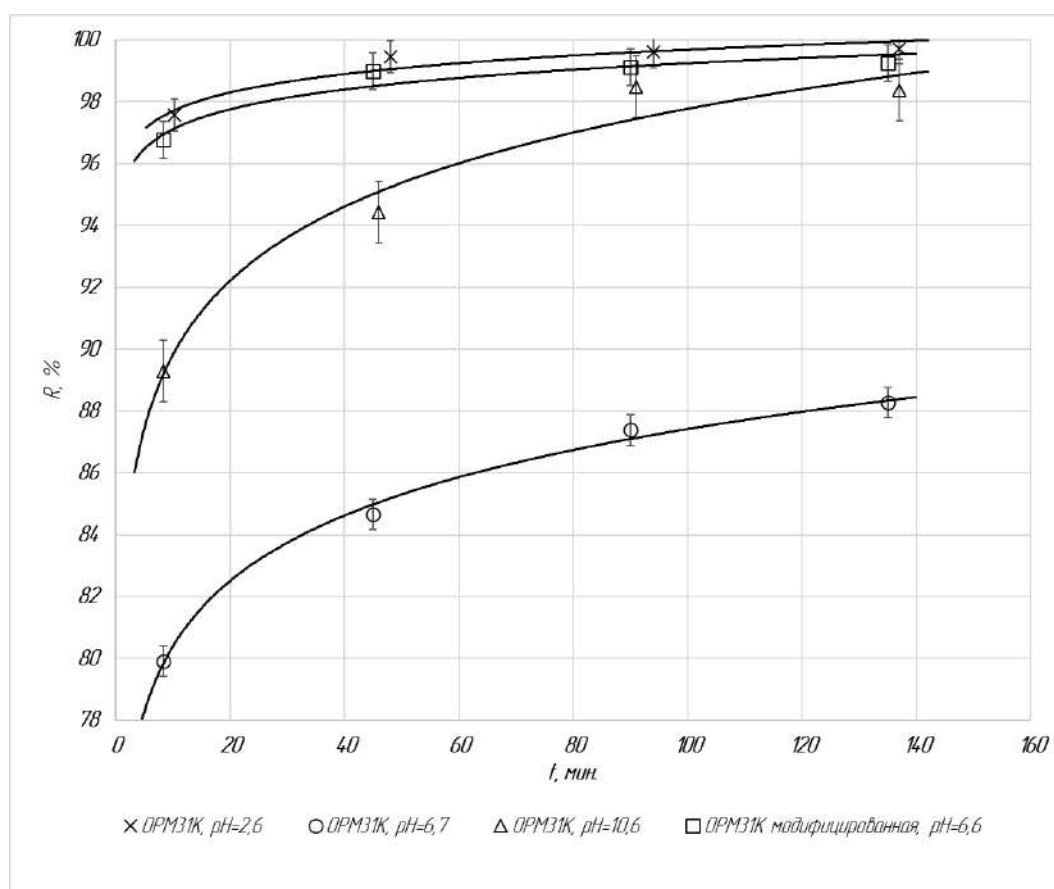


Рис. 2. Зависимость проницаемости мембраны ОРМ31К от рабочего давления

Список литературы

1. Лядов А.С., Кочубеев А.А., Борисов Р.С., Зименс М.Е., Емельханов Р.В., Попов А.Ю. Загрязнение сточных вод фенолами в процессах переработки нефти // Нефтехимия. 2024. Т. 64. № 3. С. 255–264. doi: 10.31857/S0028242124030079

2. Ветошкин А.Г. Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод: учебное пособие/ А.Г. Ветошкин. 2-е изд. Москва : Инфра-Инженерия, 2019. – 296 с.
3. Проскуряков В. А. Очистка сточных вод в химической промышленности / В. А. Проскуряков, Л. И. Шмидт. – Ленинград : Химия, 1977. – 463 с.
4. Перевалова Т.М. Исследование первапорационного разделения водно-фенольных смесей с использованием полимерных мембран: дис. кандидата химических наук: 11.00.11 Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов / Перевалова Т. М.; Алтайский государственный университет. – Барнаул, 1998. – 141 с.
5. Islam I. U, X. Hu, Shang J., Ashraf M. A., Ali T., Aslam A. A., Li S., Li D., Nazir M. S., Wang X., Yabalak E. MOF and MOF-based membranes: promising solutions for pharmaceutical wastewater treatment // Journal of Materials Science. 2025. V. 60. P. 3634–3662.
6. Красильников И.О. Изучение процесса очистки воды от фенола на композитных мембранах / И.О. Красильников, В.А. Сомин // Промышленные процессы и технологии. 2025. Т. 5, № 3(17). С. 47–57. DOI: 10.37816/2713-0789-2025-5-3(17)-47-57
7. Дряхлов В.О. Разделение эмульсии углеводородов полисульфонамидными мембранами, обработанными коронным разрядом / В.О. Дряхлов, М.Г. Ахмадиев, М.Ю. Алексеева [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2025. – Т. 28, № 11. – С. 68-75. – DOI 10.55421/3034-4689_2025_28_11_68.
8. Виноградов И.И. Композитная мембрана на основе трековой мембраны и нанокаркаса хитозана / И.И. Виноградов, Л. Петрик, Г.В. Серпионов, А.Н. Нечаев // Мембраны и мембранные технологии. – 2021. – Т.11. – №6. – С. 447-459.

Оценка эффективности матов из шелухи пшеницы для очистки воды от нефти при ламинарном течении

Линсцер Г. А.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Степанова С. В.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в работе оценена эффективность матов из шелухи пшеницы при ликвидации разлива нефти (1 мл) в динамических условиях, моделирующих течение малой реки (лоток 40×12 см, глубина воды 2 см, скорость потока 0,0083 м/с, $Re=124,5$, ламинарный режим). В отличие от статических исследований, показано, что степень очистки воды достигает 95–98 %, что подтверждает применимость материала в условиях направленного водотока.

Ключевые слова: шелуха пшеницы, сорбция нефти, динамические условия, малая река, ламинарный поток

Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов на водных объектах остаются одной из наиболее острых проблем современной инженерной экологии. Особую опасность представляют разливы на малых реках, где высокая скорость миграции загрязнителя в сочетании с ограниченной шириной русла и низкой способностью к самоочищению создают значительные трудности при применении традиционных методов локализации и сбора нефти (боновые заграждения, скиммеры, сорбирующие боны) [1, 2].

В связи с этим актуален поиск эффективных, экологически безопасных и экономически доступных сорбционных материалов, способных работать в условиях движущегося водотока. Перспективным направлением является использование отходов сельскохозяйственного производства – в частности, шелухи пшеницы (*Triticum aestivum*). Согласно обзору Ahmed и соавторов [3], отходы переработки пшеницы (солома, мякина, шелуха, лузга) являются эффективными материалами для получения сорбентов благодаря своей доступности, возобновляемости, лигноцеллюлозному составу и обогащенной поверхностно-активными группами структуре.

В работах [1, 2] было показано, что модифицированная 1 %-ным раствором серной кислоты шелуха пшеницы обладает высокой сорбционной емкостью по отношению к нефти — до 6,35 г/г, а эффективность удаления нефти с поверхности воды достигает 99,31%. Однако данные исследования проводились в статических условиях (неподвижная водная поверхность), тогда как реальные сценарии ликвидации разливов на реках предполагают наличие течения, которое может существенно влиять на кинетику и эффективность сорбции.

Динамические условия создают дополнительные факторы, потенциально снижающие эффективность сорбции: снос нефтяной пленки потоком до контакта с сорбентом, вымывание захваченной нефти при обтекании мата, неполное использование сорбционной емкости материала из-за ограниченного времени контакта. В то же время, как показано в исследованиях по кинетике адсорбции нефтяных загрязнений в речных условиях, правильный выбор сорбционного материала и режимных параметров позволяет достичь высокой степени очистки даже при наличии течения.

Цель данной работы — оценка эффективности применения сорбирующих матов из шелухи пшеницы в динамических условиях, моделирующих течение малой реки, и сравнение полученных результатов с литературными данными для статических условий.

В качестве сорбционного материала использовались маты из шелухи пшеницы нативного состава. Согласно литературным данным [1], сорбционная емкость нативной шелухи пшеницы по отношению к нефти составляет 5,23 г/г.

Модель русла реки представляла собой желоб прямоугольного сечения следующими геометрическими и гидравлическими характеристиками (таблица 1).

Таблица 1

Параметр	Значение
Длина желоба, L	0,40 м
Ширина желоба, B	0,12 м
Глубина воды, h	0,02 м
Скорость потока, v	0,0083 м/с
Расход воды, Q	$2,0 \times 10^{-5}$ м ³ /с (20 мл/с)

Для характеристики режима течения воды в лотке выполнено расчет числа Рейнольдса для открытых русел с использованием гидравлического радиуса R :

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu} = \frac{0,0083 \cdot 0,0151}{1 \cdot 10^{-6}} = 124,5$$

где $\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ — кинематическая вязкость воды при 20°C .

Полученное значение $Re = 124,5$ значительно ниже критического значения ($Re \approx 500$ для открытых русел), что свидетельствует о ламинарном режиме течения. Это принципиально важно, поскольку ламинарный характер потока минимизирует турбулентное перемешивание и десорбцию захваченной нефти, а также обеспечивает сохранение целостности нефтяной пленки в зоне контакта с сорбентом.

Объем разлитой нефти составил 1 мл. Исходная толщина нефтяной пленки на поверхности воды в отсутствие сорбента рассчитывалась по формуле:

$$h_H = \frac{V_H}{S_3} = \frac{10^{-6}}{0,048} \text{ м} = 20,8 \text{ мкм},$$

где $S_3 = B \cdot L = 0,12 \cdot 0,40 = 0,048 \text{ м}^2$ — площадь зеркала воды.

Сорбирующий мат из шелухи пшеницы укладывался на поверхность воды в зоне предполагаемого разлива (рис. 1а). Разлив нефти моделировался путем внесения 1 мл нефти на поверхность воды выше по течению от мата (рис. 1 б).



Рис. 1. Проведение эксперимента

Визуальное наблюдение и фотофиксация процесса сорбции проводились в течение 10 минут. Контроль наличия нефти за сорбционным барьером осуществлялся визуально (отсутствие радужной пленки) и гравиметрически (взвешивание мата до и после эксперимента).

Принципиальное отличие настоящего исследования от работ Хисамовой и соавторов [1, 2] заключается в гидродинамических условиях контакта фаз «нефть – сорбент».

В динамических условиях на эффективность сорбции влияют следующие факторы.

Трансвересный перенос нефтяной пленки – при ламинарном режиме течения нефтяная пленка движется со скоростью, близкой к скорости потока воды. Время контакта нефти с сорбентом τ определяется длиной мата L и скоростью потока.

Отсутствие турбулентной диффузии – низкое значение Re (124,5) свидетельствует об отсутствии турбулентных пульсаций, что, с одной стороны, предотвращает десорбцию и дробление нефтяной пленки, но с другой – не способствует интенсификации массообмена.

Капиллярное впитывание – основной механизм сорбции для лигноцеллюлозных материалов.

По результатам визуального наблюдения и гравиметрического контроля установлено, что степень удержания нефти сорбирующим матом в динамических условиях составила 95–98 %. Отсутствовал визуально обнаруживаемый вынос нефти за сорбционный барьер. Насыщение мата происходило равномерно по площади, без образования «проскоков» нефти.

Полученные результаты обосновывают целесообразность использования отходов переработки пшеницы в качестве доступного и экологически безопасного сорбционного материала для оснащения аварийных бригад, обслуживающих малые водотоки.

Список литературы

1. Хисамова А.Ш., Степанова С.В., Алексеева А.А. Использование шелухи пшеницы в качестве природного сорбционного материала для ликвидации разливов нефти // Ползуновский вестник. 2025. № 2. С. 187–192.

2. Хисамова А.Ш., Степанова С.В., Алексеева А.А. Исследование сорбционного материала на основе шелухи пшеницы для удаления разливов нефти с поверхности воды и технология его получения // Безопасность жизнедеятельности. 2024. № 12 (288). С. 36–41.
3. Siregar S.H., Wijaya K., Sri Kunarti E., et al. Kinetics adsorption of heavy oil spills in rivers on magnetite-(CTAB-montmorillonite) adsorbent // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 509. P. 012136.

Влияние железа (II) на скорость окисления фенола с помощью пероксодисерной кислоты

Любушкин Т. Г.

Аспирант

Российский Химико-Технологический Университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

Мостовык П. Р.

Магистрант

Российский Химико-Технологический Университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

Иванов А. А.

Магистрант

Российский Химико-Технологический Университет им. Д. И. Менделеева, г. Москва

Аннотация: в работе изучено окисление фенола пероксодисерной кислотой в присутствии железа (II). Установлено, что внесение в реакционную смесь Fe^{2+} приводит к значительной интенсификации процесса окисления. Максимальная эффективность окисления фенола пероксодисерной кислотой была достигнута при дозе $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 10 мг/мг фенола не превышала 8 %. При дозе железа (II) 6,7 мг/мг фенола эффективность окисления возросла в 3,5 раза, а скорость в 22,9 раза.

Ключевые слова: пероксодисерная кислота, сульфат-радикалы, усовершенствованные окислительные процессы, фенол

Введение

В подавляющем большинстве случаев очистка сточных вод является необходимым процессом перед сбросом в природные водоемы. Это обусловлено несоответствием качества отводимых сточных вод природоохранным нормативам.

Часто данная задача решается отведением сточных вод на канализационные очистные сооружения (КОС) большой мощности, однако качество сточных вод не всегда отвечает требованиям принимающих организаций. Для предварительной подготовки сточных вод к отведению промышленные предприятия используют локальные очистные сооружения (ЛОС). ЛОС позволяют удалять из сточных вод специфические загрязняющие вещества и существенно снижать нагрузку на КОС.

К специфическим загрязняющим веществам, сброс которых на КОС строго лимитируется, нередко относят устойчивые к биохимическому окислению ксенобиотические поллютанты, которые способны серьезно нарушить процесс

биологической очистки КОС. Наиболее яркими примерами подобных веществ являются активные фармацевтические субстанции, синтетические красители, фенол и его производные.

Для удаления данных загрязняющих веществ при очистке сточных вод на предприятиях обычно применяют биологические, физико-химические и химические методы [1].

Все группы применяемых способов очистки обладают своими ограничениями. Так биологические методы характеризуются сложностью контроля, необходимостью формирования и поддержания специфического биоценоза активного ила [2]. Коагуляция и флокуляция зачастую не позволяют достичь требуемой эффективности, адсорбционные методы высокоэффективны, но применяются для доочистки, что является избыточным при предварительной очистке сточных вод [3]. Химические методы нередко приводят ко вторичному загрязнению сточных вод реагентами или полупродуктами окисления [4].

Также распространенной проблемой являются относительно низкая скорость процесса очистки, что негативно сказывается на габаритах очистного оборудования, расположение которого на промышленной площадке природопользователя не всегда является возможным.

Среди химических методов перспективным является поиск новых окислителей, способных полностью минерализовать загрязняющие вещества и распадаться до безопасных продуктов, примером такого окислителя является пероксодисерная кислота ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$).

Целью данного исследования является изучение влияния физико-химических параметров среды на скорость и эффективность деструкции фенола пероксодисерной кислотой.

Материалы и методы исследования

Выбор модельного поллютанта обусловлен его широкой распространенностью в сточных водах различных отраслей промышленности (лакокрасочная, химическая и нефтехимическая). Определение концентрации фенола проводили согласно РД 52.24.480-2022.

Дозу окислителя варьировали в диапазоне 2,5–10 мг/мг загрязняющего вещества (далее мг/мг). В усовершенствованных окислительных процессах (Advanced Oxidation Processes, AOPs) хорошо себя зарекомендовало окисление в присутствии Fe^{2+} (процесс Фентона и Фентон-подобные процессы). Выбор

железа в качестве интенсификатора окисления обусловлен не только его эффективностью, но и относительной экологической безопасностью [5]. Дозу железа (II) варьировали в диапазоне 0–10 мг/мг.

Оценку скорости окисления проводили для начального момента времени, так как побочные превращения могут влиять на скорость реакции. Оценка проводилась исходя из экспоненциальной аппроксимации кинетических кривых.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследование провели окисление модельного загрязняющего вещества пероксодисерной кислотой. Результаты эксперимента представлены на рисунке 1

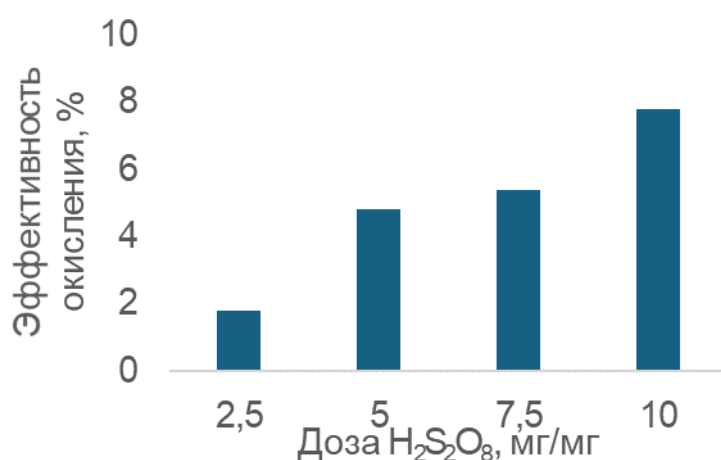
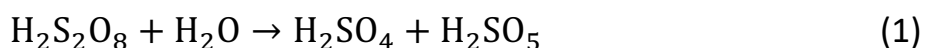
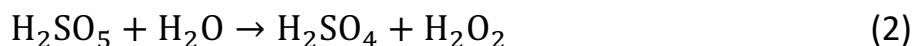


Рис. 1. Окисление фенола пероксодисерной кислотой

Из данных, представленных на рис. 1 видно, что эффективность окисления увеличивается с ростом дозы окислителя. Дальнейшее увеличение дозы окислителя не приводит к значительному росту эффективности, что вероятнее всего может быть объяснено ускорением процесса гидролиза пероксодисерной кислоты при росте ее концентрации (уравнения 1 и 2).



Так как максимальная достигнутая эффективность окисления незначительна (менее 10%), было принято решение о необходимости интенсификации окисления. Для этого была предложена организация Фентон-подобного

процесса с использованием раствора железа (II). Результаты представлены на рисунке 2.

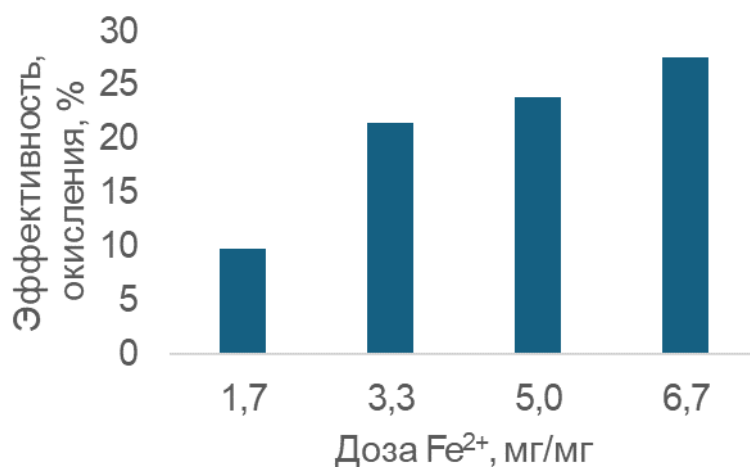
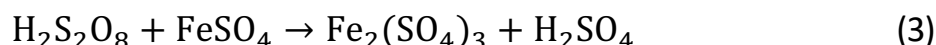


Рис. 2. Окисление фенола пероксодисерной кислотой в присутствии железа (II)

Данные, представленные на рис. 2, показывают, что внесение в систему железа (II) приводит к значительному росту эффективности окисления. Максимальная степень окисления фенола составила 27,6 % и была достигнута при дозе железа 6,7 мг/мг. Замедление роста эффективности при увеличении дозы Fe²⁺ вероятно обусловлено расходом окислителя на непосредственное взаимодействие с ионами железа (уравнение 3).



На заключительном этапе исследования был проведен анализ кинетики окисления фенола. Для этого была проведена экспоненциальная аппроксимация кинетических кривых согласно уравнению 4.

$$y = a \cdot e^{(-x/b)} + c \quad (4)$$

Скорость окисления рассчитывали для начального момента времени. Результаты представлены на рис. 3.

Результаты анализа кинетики окисления фенола показывают, что скорость процесса значительно возрастает (в 22,9 раза). Явление объясняется большей реакционной способностью сульфат-радикалов по отношению к пероксодисерной кислоте.

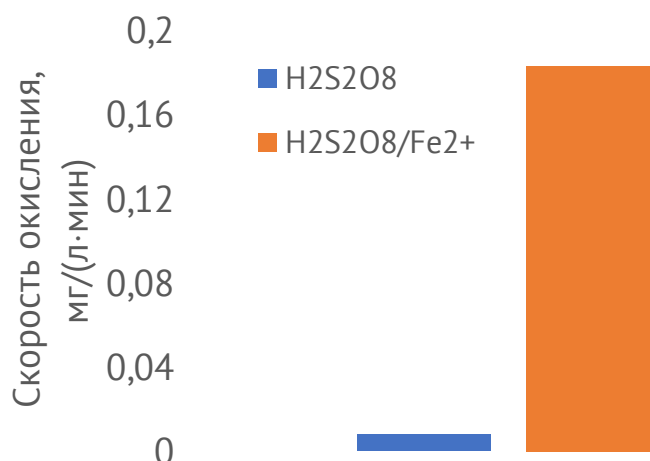


Рис. 3. Скорость окисления фенола пероксодисерной кислотой

Закключение

В ходе исследования была установлена возможность проведения Фентон-подобного процесса с использованием пероксодисерной кислоты. Увеличение эффективности окисления фенола при добавлении железа (II) составило 3,5 раза. Помимо увеличения эффективности окисления наблюдается рост скорости процесса в 22,9 раза.

Полученные данные позволяют предположить, что каталитические процессы с участием пероксодисерной кислоты могут быть перспективны для очистки сточных вод от отдельных представителей устойчивых органических загрязняющих веществ [6]. Эффективность и скорость окисления, вероятно, могут быть увеличены с помощью других методов генерации свободных радикалов (нагревание, изменение pH, фотолиз) и/или их комбинации.

Список литературы

1. Shulin P. et al. Enhanced water treatment via combined oxidation and adsorption: a synergistic approach //Front. Chem. – 2026. – V. 13. – P. 1747407.
2. Chen R. et al. Changes in degrading ability, populations and metabolism of microbes in activated sludge in the treatment of phenol wastewater //RSC Advances. – 2017. – T. 7. – N. 83. – C. 52841-52851.
3. Kuzin E.N., Kruchinina N.E. Titanium-containing coagulants for foundry wastewater treatment //CIS Iron and Steel Review. – 2020. – V. 20. – N. 2. – P. 66-69.

4. Prasse C., von Gunten U., Sedlak D.L. Chlorination of phenols revisited: unexpected formation of α , β -unsaturated C4-dicarbonyl ring cleavage products //Environmental science & technology. – 2020. – V. 54. – N. 2. – P. 826-834.
5. Kavian N. et al. Degradation of phenol in wastewater through an integrated dielectric barrier discharge and Fenton/photo-Fenton process //Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2024. – V. 271. – P. 115937.
6. Оценка возможности использования пероксодисерной кислоты в процессах очистки сточных вод, содержащих синтетические красители / Т.Г. Любушкин, Е.Н. Кузин, Н.А. Иванцова, Т.В. Конькова // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. – 2025. – Т. 68, № 1. – С. 120-126.

Силанизация твердого продукта пиролиза иловых осадков сточных вод для полипропиленовых композитов

Маврин Г. В.

Доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Насыров И. А.

Аспирант

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Шафигуллин Л. Н.

Доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Аннотация: иловые осадки городских сточных вод — крупнотоннажный отход, утилизация которого остаётся важной экологической задачей. Пиролиз позволяет получать твёрдый углеродсодержащий продукт пиролиза иловых осадков (ТППИО), перспективный для полипропиленовых композитов, однако его применение ограничено низкой совместимостью полярной поверхности с неполярной матрицей. В работе исследовали силанизацию ТППИО как способ повышения адгезии и улучшения эксплуатационных свойств композита, что обеспечивает комплексное улучшение конечного продукта.

Ключевые слова: твёрдый продукт пиролиза иловых осадков, силанизация, полимерный композит, полипропилен, органосиланы

Иловые осадки городских сточных вод (ИОСВ) являются одним из наиболее проблемных отходов коммунального хозяйства. Ежегодно в России образуется свыше 8–10 млн тонн ИОСВ в пересчёте на сухое вещество, и этот объём неуклонно растёт по мере расширения систем водоотведения [1].

Оптимальной технологией переработки ИОСВ является пиролиз [2]. Пиролиз ИОСВ — термохимический процесс разложения органического вещества при температурах 300–800 °С в отсутствие кислорода — даёт три основных продукта: твёрдый продукт пиролиза иловых осадков (биочар/ТППИО), жидкий (пиролизное масло, или «биомасло») и газообразный (синтез-газ), каждый из которых имеет потенциал практического применения. Соотношение продуктов определяется температурой, скоростью нагрева и составом исходного осадка [3].

Выход ТППИО составляет 30–50 % от массы сухого вещества. ТППИО представляет собой углеродно-минеральный материал с развитой пористой структурой; содержит органический углерод (40–70 %), золу (минеральные оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , P_2O_5) и иммобилизованные тяжёлые металлы; удельная поверхность 10–200 м²/г в зависимости от температуры пиролиза [4].

ТППИО - универсальный продукт с наибольшим числом направлений применения — полимерные композиты, сорбция, агробичар, строительные материалы, электроды (таблица 1). Не требует усложненной переработки перед использованием. Приоритетный продукт с точки зрения добавленной стоимости при применении в полимерной промышленности.

Таблица 1

Сравнительный анализ направлений применения

Направление	Требования к ТППИО	Готовность технологии	Экономический потенциал	Экологические ограничения
Полимерные композиты	D50 <100 мкм, Тдестр. >250°C, низкая влажность	Высокая (TRL 5–7)	Высокий (~100–300 у.е./т)	Минимальные
Сорбция из сточных вод	Высокая удельная поверхность (>50 м ² /г), стабильность в воде	Средняя (TRL 4–6)	Средний (~50–150 у.е./т)	Контроль вымывания металлов
Агробичар	Содержание металлов ниже норм EN 13657, pH 6–8	Средняя (TRL 4–5)	Низкий–средний (~30–80 у.е./т)	Жёсткие нормы по металлам и патогенам
Электродные материалы	Высокая степень графитизации, активация KOH/CO ₂	Низкая (TRL 3–4)	Высокий (перспективный)	Требует дополнительной очистки
Строительные материалы	Стабильность, низкое водопоглощение, совместимость с вяжущим	Средняя (TRL 4–6)	Средний (~40–100 у.е./т)	Контроль выщелачивания

Уникальное сочетание развитой пористой структуры, углеродной матрицы, минеральных включений и регулируемой поверхностной химии делает ТППИО перспективным для использования в нескольких отраслях — от полимерной промышленности до агрохимии и экологических технологий.

Применение в полимерных композитах — перспективное направление с чётко определёнными требованиями к ТППИО. Ключевые преимущества включают стабильный спрос на наполнители для полипропилена (PP), возможность стандартизации ТППИО как промышленного продукта и отсутствие жёстких экологических ограничений, поскольку ТППИО инкапсулирован в полимерной матрице. Ожидаемый объём рынка: замена 5–10% традиционных наполнителей в производстве армированного PP даёт потенциальный рынок 50–200 тыс. т/год в России.

PP является неполярным термопластом с низкой поверхностной энергией (~ 30 мДж/м²), тогда как поверхность ТППИО, как правило, содержит полярные группы и минеральные включения [5]. Это принципиальное несоответствие полярностей приводит к слабой адгезии на границе раздела фаз «ТППИО–матрица», агломерации частиц и, как следствие, к ухудшению механических свойств композита вместо их улучшения. Функционализация поверхности ТППИО является ключевым инструментом преодоления этого барьера несовместимости.

В таблице 2 приведены возможные методы модификации ТППИО.

В данной работе выбран метод силанизации [6], как оптимальный метод для системы «PP/стекловолокно/ТППИО», поскольку ковалентные связи Si–O–C обеспечивают долговременную стабильность межфазного слоя и устойчивость эффекта модификации при переработке и эксплуатации композита. Органосиланы с аминогруппами (3-аминопропилтриэтоксисилан, или APTES) или винильными группами (винилтриметоксисилан, или VTMS) обеспечивают химическую совместимость с полипропиленовой матрицей и позволяют адаптировать поверхность наполнителя к заданным требованиям. Кроме того, метод хорошо масштабируется, воспроизводим в лабораторных условиях и опирается на обширную научную базу по силанизации углеродных и минеральных наполнителей.

В целом экспериментальный план ориентирован на получение воспроизводимого функционализированного наполнителя, пригодного для последующего введения в полипропиленовые композиционные материалы с улучшенными механическими и эксплуатационными свойствами.

Таблица 2

Функционализация поверхности ТППИО

Метод	Механизм действия	Преимущества	Недостатки
Силанизация (органосиланы)	Ковалентная прививка через Si–O–C связи	Высокая эффективность, универсальность, совместимость с ПП, хорошо изучен	Требует контроля pH и влажности, возможна агломерация
Окисление (HNO ₃ , H ₂ O ₂ , озон)	Введение карбоксильных и гидроксильных групп	Простота, доступность реагентов	Деструкция поверхности, снижение механических свойств, агрессивные условия
Плазменная обработка	Активация поверхности радикалами	Экологичность, отсутствие растворителей	Дорогостоящее оборудование, нестабильность эффекта во времени
Механохимическая активация	Разрушение агломератов, активация поверхности	Простота, масштабируемость	Низкая специфичность, не создаёт ковалентных связей с матрицей
Полимерная прививка (grafting)	Ковалентное присоединение цепей	Высокая совместимость с матрицей	Сложность синтеза, высокая стоимость

Силанизация приводит к переходу поверхности ТППИО от гидрофильного к гидрофобному характеру. Снижение контактного угла смачиваемости расплавом РР способствует формированию более прочного межфазного слоя. Ковалентная прививка силановых групп приводит к образованию ковалентных связей между силановым агентом и поверхностными гидроксильными группами ТППИО, что обеспечивает долговременную стабильность модификации в отличие от физической адсорбции. Изменение элементного состава поверхности с возрастанием содержания кремния свидетельствует о формировании равномерного силанового покрытия. Улучшение диспергируемости наполнителя в матрице способствует снижению агломерации частиц. Силановое покрытие повышает термическую стабильность модификатора в условиях компаундирования. Дзета-потенциал демонстрирует снижение поверхностной полярности

и уменьшение электростатического отталкивания между частицами, что также характеризует лучшую диспергируемость ТППИО в неполярной матрице.

Ожидается, что силанизация приведет к снижению контактного угла смачивания в системе с полипропиленовой матрицей, появлению характеристических полос в ИК-спектре и увеличению термостабильности поверхностного слоя. В композитах на основе модифицированного ТППИО прогнозируется улучшение прочности при растяжении, повышение ударной вязкости и более стабильное диспергирование наполнителя за счет усиления межфазного взаимодействия.

При добавлении в полипропиленовые композиты модифицированных продуктов пиролиза осадка и измельченных отходов стекловолокна ожидается синергетический эффект: улучшение механических свойств, а также термических и огнестойких характеристик, снижение затрат и соответствие принципам циркулярной экономики.

Таким образом, силанизация ТППИО обеспечивает комплексное улучшение поверхностных свойств наполнителя и улучшение физико-механических характеристик трёхкомпонентного композита. Использование твердых продуктов пиролиза осадка в качестве функциональных добавок в полипропиленовых композитах, армированных измельченными отходами стекловолокна, представляет собой перспективный подход к разработке экологически устойчивых материалов. Эта стратегия предлагает множество преимуществ: утилизацию отходов, улучшение свойств композитов, снижение воздействия на окружающую среду и потенциальную экономию.

Список литературы

1. Smirnov Y.D., Suchkova M.V. Development of the beneficial utilisation of urban sewage sludge using modern analysis methods// J. Phys.: Conf. Ser. 1384 012049. 2019. - Doi:10.1088/1742-6596/1384/1/012049.
2. Moon J., Mun T.-Y., Yang W., Lee U. Effects of hydrothermal treatment of sewage sludge on pyrolysis and steam gasification // Energy Conversion and Management. 2015. - T. 103. - P. 401-407.
3. Halalsheh M., Shatanawi K., Shawabkeh R., Kassab G. Impact of temperature and residence time on sewage sludge pyrolysis for combined carbon

sequestration and energy production// Heliyon. 2024. - Doi: 10.1016/j. heliyon. 2024. e28030.

4. Junwei J., Yanan L., Jianyun Z., и др. Influence of pyrolysis temperature on properties and environmental safety of heavy metals in biochars derived from municipal sewage sludge // Journal of Hazardous Materials. 2016. - T. 320. - P. 417-426.
5. Farris S., Pozzoli S., La Vecchia S., Biagioni P., и др. Mapping physicochemical surface modifications of flame-treated polypropylene // Express Polymer Letters. 2014. - T. 8. - No 4. - P. 256-266.
6. Ren Z., Shanks R.A., Rook T.J. Rheology of Highly Filled Polypropylenes Prepared with Surface Treated Fillers // Polymers and Polymer Composites. 2003. - T. 11. - No 7. - P. 541-550.

Отходы оболочки семян гороха посевного (*Pisum sativum*), в качестве сорбента при очистке водоемов от нефтяных пленок

Мартышкин К. Н.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Файзетдинова Д. И.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Санатуллова З. Т.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Шайхиева К. И.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: исследована возможность применения отходов переработки семян гороха посевного (*Pisum sativum*) в качестве сорбента для ликвидации нефтяных загрязнений в водоемах. Изучена эффективность извлечения сорбции нефтепродуктов. Представлен вывод о перспективности использования сорбционного материала для извлечения нефтяных пленок с водной поверхности.

Ключевые слова: семенная кожура зерен гороха, нефть

Очистка сточных вод от нефти и нефтепродуктов представляет собой важнейшую задачу в области экологии, санитарии, производства и промышленности, поскольку загрязнение водных объектов названными веществами, может нанести серьезный вред окружающей среде и здоровью человека. Попадание нефтепродуктов в сточные воды приводит к загрязнению рек, озер и почвы, что увеличивает риск заболеваний и экологических катастроф.

Сброс сточных вод выступает в качестве доминирующего фактора, обуславливающего загрязнение водных экосистем, как с точки зрения количественных показателей, так и с позиции широкого спектра присутствующих

поллютантов. Дополнительную существенную угрозу создают потенциальные аварийные утечки нефти и нефтепродуктов [1, 2].

Для решения этих проблем разрабатываются различные методы по очистке природных (поверхностных и подземных), сточных вод от загрязнений нефтяной пленкой. Одним из наиболее эффективных способов является использование специализированных сорбентов, которые способны адсорбировать и удалять нефтепродукты из загрязненных вод. Сорбенты могут быть как натурального происхождения (например, растительные и животные отходы), так и синтетическими материалами. Для улучшения их сорбционных свойств применяются различные методы модификации, включая физическую и химическую обработку [3–20].

Сельскохозяйственные предприятия производят значительное количество отходов в процессе переработки растений, таких как злаки и бобовые, содержащие целлюлозу. Эти отходы часто утилизируются неэффективно – путем захоронения или сжигания. Однако такие материалы могут быть использованы для создания сорбентов, что позволит одновременно решить проблему утилизации отходов растительного происхождения и очистки водных сред от нефтяных загрязнений [2, 21].

Одним из многообещающих направлений является использование семенной оболочки гороха посевного (*Pisum sativum*) в качестве сорбента для очистки природных вод от загрязнений нефтепродуктами. Нативная оболочка гороха содержит пищевые волокна и другие компоненты, но не представляет интереса как корм для животных из-за низкого содержания белка [19, 22].

В рамках исследования проведена оценка модифицированных семенных оболочек гороха с целью их последующего применения в качестве сорбентов для удаления нефтяных загрязнений из природных и сточных вод.

Растительные сорбенты, в частности, семенные оболочки гороха, продемонстрировали значительный потенциал в сорбции как тяжелых металлов, так и органических соединений, что позиционирует их как перспективные и экологически безопасные материалы для водоочистки.

Механизм сорбции нефтепродуктов обусловлен комплексом факторов, включая физико-химическое взаимодействие между сорбентом и нефтяной фазой, а также структурные особенности самого сорбционного материала. Процесс сорбции протекает в две стадии: первоначальное быстрое поверхностное

поглощение нефти и нефтепродуктов с последующим ее проникновением в пористую структуру сорбента [3–17, 19–22].

Таким образом, использование сельскохозяйственных отходов, таких как семена гороха (*Pisum sativum*), в том числе и нативной оболочки, в качестве сорбционных материалов для очистки сточных вод от нефтяной пленки представляет собой перспективное направление научных изысканий. Это может привести к разработке высокоэффективных и экологически чистых технологий для ремедиации водоемов от нефтяных загрязнений.

Список литературы

1. Природные сорбенты, используемые для очистки вод от нефти и продуктов ее переработки / Ю.Н. Бойко, А.И. Агошков, А.Н. Гульков и др. // Горный информационно аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. С. 12-17.
2. Анализ воздействия предприятий нефтехимического комплекса на гидросферу и пути минимизации их негативного влияния / А.Г. Баландина, Р.И. Хангильдин, И.Г. Ибрагимов, В.А. Мартяшева // Башкирский химический журнал. 2015. Т. 22. № 1. С. 116-126.
3. Study on the use of banana peels for oil spill removal / G.A. El-Din, A.A. Amer, G. Malsh, M. Hussein // Alexandria Engineering Journal. 2018. Vol. 57. No 3. P. 2061-2068.
4. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 1. Пшеничная и рисовая солома (обзор мировой литературы) / И.Г. Шайхиев, К.И. Шайхиева, С.В. Свергузова, Т.Р. Дебердеев // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024. № 9. С. 11-22.
5. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 2. Ячменная и кукурузная солома (обзор мировой литературы) / И.Г. Шайхиев, К.И. Шайхиева, С.В. Свергузова, Т.Р. Дебердеев // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2024. № 10. С. 27-36.
6. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 3. Плодовые оболочки зерен пшеницы и риса (обзор мировой и отечественной литературы) /

- И.Г. Шайхиев, К.И. Шайхиева, С.В. Свергузова, Т.Р. Дебердеев // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2025. № 2. С. 2-12.
7. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 4. Плодовые оболочки зерен ячменя, овса и гречихи (обзор мировой и отечественной литературы) / И.Г. Шайхиев, К.И. Шайхиева, С.В. Свергузова, Т.Р. Дебердеев // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2025. № 3. С. 8-17.
 8. Исследование удаления нефтяных пленок с водной поверхности плазмобработанными отходами злаковых культур. 1. Лузгой овса / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, В.В. Доможиров, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 12. С. 110-117.
 9. Исследование удаления нефтяных пленок с водной поверхности плазмобработанными отходами злаковых культур. 2. Лузгой пшеницы / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, С.М. Трушков, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 13. С. 129-135.
 10. Исследование удаления нефтяных пленок с водной поверхности плазмобработанными отходами злаковых культур. 3. Лузгой ячменя / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, О.А. Кондаленко, И.Ш. Абдуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 15. С. 244-250.
 11. Использование нативного и модифицированных образцов жома сахарной свеклы (*Beta vulgaris*) в качестве сорбционных материалов для удаления загрязняющих веществ из водных сред / К.И. Шайхиева, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова // Химия растительного сырья. 2024. № 3. С. 49-70.
 12. Исследование возможности использования жома сахарной свеклы в качестве сорбционного материала легких нефтепродуктов / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, К.И. Шайхиева, А.И. Мавлетбаева // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 13. С. 246-248.
 13. Исследование отхода от переработки сахарной свеклы в качестве сорбционного материала минеральных масел / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, К.И. Шайхиева, А.И. Мавлетбаева // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 17. С. 258-261.
 14. Влияние кислотной модификации сердцевинны початков кукурузы (*Zea mays*) на удаление пленок нефти с водной поверхности / И.Г. Шайхиев,

- Г.М. Бадртдинова, Е.А. Чаптарова и др. // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2025. № 1. С. 1-20.
15. Шайхиева К.И., Фридланд С.В., Свергузова С.В. Использование биомассы и отходов от переработки фасоли (*Phaseolus vulgaris*) и гороха (*Pisum sativum*) в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы) // Химия растительного сырья. 2021. № 4. С. 47-64.
 16. Удаление нефти с водной поверхности биомассой стручков гороха посевного (*Pisum sativum*) / А.Н. Макарова, К.И. Шайхиева, Санатуллова З.Т, Степанова С.В. // Сборник докладов Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология» Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. С. 120-124.
 17. Отход сельскохозяйственного производства в качестве сорбционного материала для ликвидации разливов углеводородов и его экстракт для ингибирования коррозии промышленного оборудования / К.И. Шайхиева, А.Н. Макарова, Д.Д. Фазуллин, С.В. Степанова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 2. С. 183-195.
 18. Свергузова С.В., Шайхиев И.Г. Чешуя горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в качестве сорбционного материала красителей из водных сред // Сборник докладов Всероссийской научной конференции. 2020. С. 80-84.
 19. Шелепина Н.В., Полынкова Н.Э., Паршутина И.Г. Исследование химического состава и безопасности оболочек зерна современных сортов гороха // Вестник КрасГАУ. 2013. № 8. С. 90-93.
 20. Использование отходов переработки шерсти и пера в качестве сорбентов нефти и нефтепродуктов / Тер-Матиосова К.С., Мирошниченко Л.Г., Фесенко Л.Н., Ткаченко А.И. // Инженерный вестник Дона. 2016. №4.
 21. SigmaXL optimisation of oil spill removal from water using orange peels bio-adsorbent / A.M. Abubakar, H.D. Diriki, L.B. Umdagas et al. // Malaysian Journal of Chemical Engineering and Technology. 2024. Vol. 7. No 2. P. 131-158.
 22. Пшеничникова Е.Н., Кроневальд Е.А. Качество сена – залог успешного ведения животноводства // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2018. №6. С. 143-146.

23. Оболенская А.В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: Учебное пособие для вузов / А.В. Оболенская, З.П. Ельницкая, А.А. Леонович. – М. : «Экология», 1991. – 320 с. – Текст: непосредственный.
24. Фасхутдинова З.Т. Влияние параметров плазмообработки на эффективность удаления с водной поверхности масла отходом валяльного производства / З.Т. Фасхутдинова, И.Г. Шайхиев, И.Ш. Абдуллин // Вода: химия и экология. 2013. № 11 (65). С. 102-107.
25. Шайхиев И.Г. Исследование влияния параметров плазменной обработки на эффективность удаления девонской нефти с водной поверхности отходом валяльно-войлочного производства (угаром) / И.Г. Шайхиев, Р.Ф. Альтапова, З.Т. Санатуллова // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 23. С. 161-166.
26. Альтапова Р.Ф. Удаление нефтяных пленок с водной поверхности отходом валяльно-войлочного производства (угаром), обработанным кремнийорганическими жидкостями / Р.Ф. Альтапова, З.Т. Санатуллова, И.Г. Шайхиев // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 19. С. 111-116.

Оценка адаптационного потенциала *Eichhornia crassipes* и её способности к удалению азотно-фосфорных соединений из водной среды

Масалова М. А.

Аспирант

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург

Поздняков Ш. Р.

Директор

Российский государственный гидрометеорологический университет,
г. Санкт-Петербург

Политаева Н. А.

Профессор

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург

Зибарев Н. В.

Ассистент

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург

Опарина А. М.

Ассистент

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург

Аннотация: в статье представлены результаты лабораторного исследования, направленного на оценку адаптационных возможностей *Eichhornia crassipes* при культивировании в воде Кожуховского затона Москвы-реки, а также на определение её эффективности в удалении нитрит- и фосфат-ионов из модельных растворов. Установлено, что эйхорния демонстрирует устойчивую адаптацию к исследуемой водной среде и обеспечивает снижение концентраций нитрит-ионов до 92 %, фосфат-ионов — до 97 %. Полученные результаты подтверждают перспективность использования данного вида в системах биологической очистки урбанизированных водных объектов.

Ключевые слова: *Eichhornia crassipes*, Кожуховский затон, Москва-река, биогенные элементы, нитрит-ионы, фосфат-ионы, фиторемедиация, биологическая очистка

Антропогенная нагрузка на урбанизированные участки Москвы-реки обуславливает необходимость поиска эффективных биотехнологических методов стабилизации экологического состояния акваторий. Одним из перспективных направлений является использование высшей водной растительности [1], обладающей выраженной способностью к поглощению биогенных элементов и формированию развитой корневой системы.

Кожуховский затон представляет собой относительно изолированный участок русловой системы Москвы-реки, что делает его удобным объектом для апробации технологий биологической реабилитации [2]. В качестве модельного растения выбрана эйхорния (*Eichhornia crassipes*) – быстрорастущий воздушно-водный макрофит с высокой продуктивностью и развитой корневой системой [3].

Целью исследования являлась оценка приспособляемости эйхорнии к условиям воды Кожуховского затона по морфометрическим показателям роста.

Первый блок исследования был направлен на оценку адаптационного потенциала *Eichhornia crassipes* при культивировании в воде, отобранной в Кожуховском затоне Москвы-реки. Эксперимент проводился в апреле–мае 2025 года и продолжался 28 суток. До начала натурных работ растения содержались в лабораторных условиях, что позволило исключить влияние стрессовых факторов, связанных с пересадкой.

Для культивирования использовали пластиковые контейнеры объёмом 36 л (500×390×255 мм), в каждый из которых вносили 20 л воды, отобранной в Кожуховском затоне.

Перед началом эксперимента температура воды доводилась до +22–24 °С. Температура окружающей среды в ходе эксперимента варьировала в пределах +18–24 °С. Освещение обеспечивалось фитолампой мощностью 8 Вт при уровне освещённости около 500 лк и продолжительности светового дня 12 часов (с использованием таймера).

В каждый контейнер помещали один экземпляр эйхорнии (возраст до 6 месяцев), предварительно выращенный в лабораторных условиях.

В ходе эксперимента регулярно фиксировали:

- температуру воды;
- диаметр розетки, см;
- количество боковых отростков, шт.;
- длину корней, см.

Температура воды в период эксперимента изменялась в диапазоне от 20,2 до 23,3 °С.

Результаты эксперимента по культивированию экземпляров растений эйхорнии для оценки возможности их приспособляемости к водам Москвы-реки представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты эксперимента по культивированию растений эйхорнии
для оценки возможности их приспособляемости к водам Москвы-реки**

Дата	Наименование затона Москвы-реки	Диаметр розетки, см	Количество отростков, шт	Длина корня, см	Температура воды, °С
05.04.2025	Кожуховский затон	12,5	8	7,2	22,0
07.04.2025	Кожуховский затон	13,0	8	7,4	22,5
08.04.2025	Кожуховский затон	13,2	8	7,4	21,7
10.04.2025	Кожуховский затон	13,4	8	13,5	20,2
14.04.2025	Кожуховский затон	13,4	9	13,5	21,7
16.04.2025	Кожуховский затон	13,5	9	13,6	21,4
18.04.2025	Кожуховский затон	13,7	9	13,7	20,5
21.04.2025	Кожуховский затон	13,9	10	13,9	21,0
23.04.2025	Кожуховский затон	14,2	10	14,0	21,4
25.04.2025	Кожуховский затон	14,0	10	14,0	23,1
28.04.2025	Кожуховский затон	14,0	10	14,0	23,1
30.04.2025	Кожуховский затон	15,1	10	14,0	23,3
03.05.2025	Кожуховский затон	14,1	10	14,0	21,9

Анализ динамики морфометрических параметров показал устойчивый рост растений на протяжении всего эксперимента. Диаметр розетки увеличился с 12,5 см в начале наблюдений до максимального значения 15,1 см к концу апреля. Незначительное снижение показателя в начале мая не сопровождалось признаками угнетения растения и может рассматриваться как естественная вариабельность морфометрических характеристик.

Количество боковых отростков постепенно увеличилось с 8 до 10, что свидетельствует о начале процессов вегетативного размножения. Данный факт является важным индикатором успешной адаптации, поскольку образование дочерних побегов требует стабильного функционирования фотосинтетического аппарата и достаточного обеспечения элементами питания.

Особого внимания заслуживает динамика развития корневой системы. Длина корней возросла с 7,2 до 14,0 см, причём наиболее интенсивный прирост наблюдался в первой половине эксперимента. Формирование развитых придаточных корней повышает площадь контакта растения с водной средой и потенциально увеличивает эффективность сорбции растворённых веществ. Температурный режим в течение всего периода культивирования оставался в пределах физиологической нормы для *Eichhornia crassipes*.

Таким образом, в исследуемом температурном диапазоне (+20...+23 °C) и при освещённости 500 лк *Eichhornia crassipes* сохраняет жизнеспособность, демонстрирует активный рост и формирование новых побегов. Полученные данные подтверждают её адаптационный потенциал в условиях воды Кожуховского затона.

Второй блок работы был посвящён оценке способности *Eichhornia crassipes* к снижению концентраций нитрит- и фосфат-ионов в водной среде. Для моделирования условий использовали растворы, приготовленные на основе реактивов квалификации «х.ч.»: натрия азотистокислого (NaNO_2) и дигидрофосфата калия (KH_2PO_4). Исходные концентрации биогенных элементов составляли 2,5 и 5,0 мг/л, что превышает типичные значения для вод Москвы-реки и позволяет оценить устойчивость растений к повышенной нагрузке.

Эксперимент проводился в стеклянных сосудах объёмом 1 л при трёхкратной повторности. В каждый сосуд помещали по одному растению. Контрольный вариант представлял собой модельный раствор без растений. Температура воды поддерживалась на уровне +22...+24 °C, температура воздуха —

+24...+26 °C. Значения pH находились в диапазоне 6,53–7,32. Продолжительность эксперимента составила 21 сутки.

Концентрации биогенных элементов измерялись фотометрическим методом [4,5].

На рис. 1 представлена динамика снижения содержания фосфат-ионов и нитрит-ионов в модельном растворе с концентрацией 2,5 мг/л, при использовании эйхорнии.

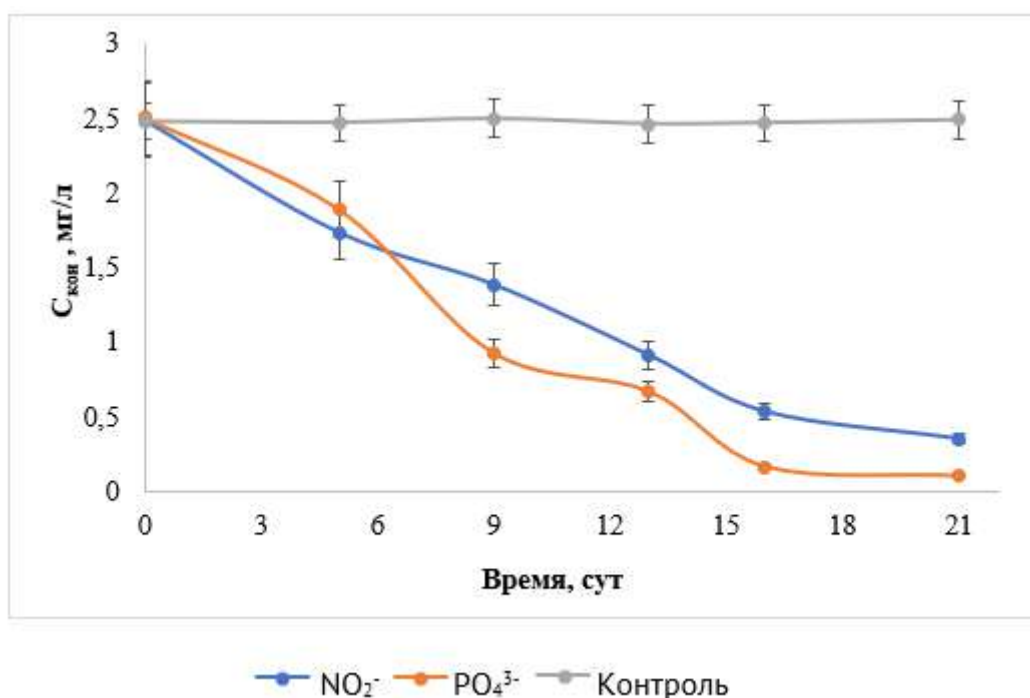


Рис. 1. Динамика изменения концентрации азотно-фосфорных соединений при использовании эйхорнии, при $C_{\text{нач}} = 2,5$ мг/л

Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности удаления биогенных элементов. При исходной концентрации 2,5 мг/л степень снижения содержания нитрит-ионов достигла 86 %, фосфат-ионов — 96 %.

На рис. 2 представлена динамика снижения содержания фосфат-ионов и нитрит-ионов в модельном растворе с концентрацией 5 мг/л, при использовании эйхорнии.

При концентрации 5,0 мг/л эффективность возрастала до 92 % и 97 % соответственно. Более высокая степень удаления при увеличенной нагрузке может быть обусловлена интенсификацией метаболических процессов и активным вовлечением биогенов в рост биомассы.

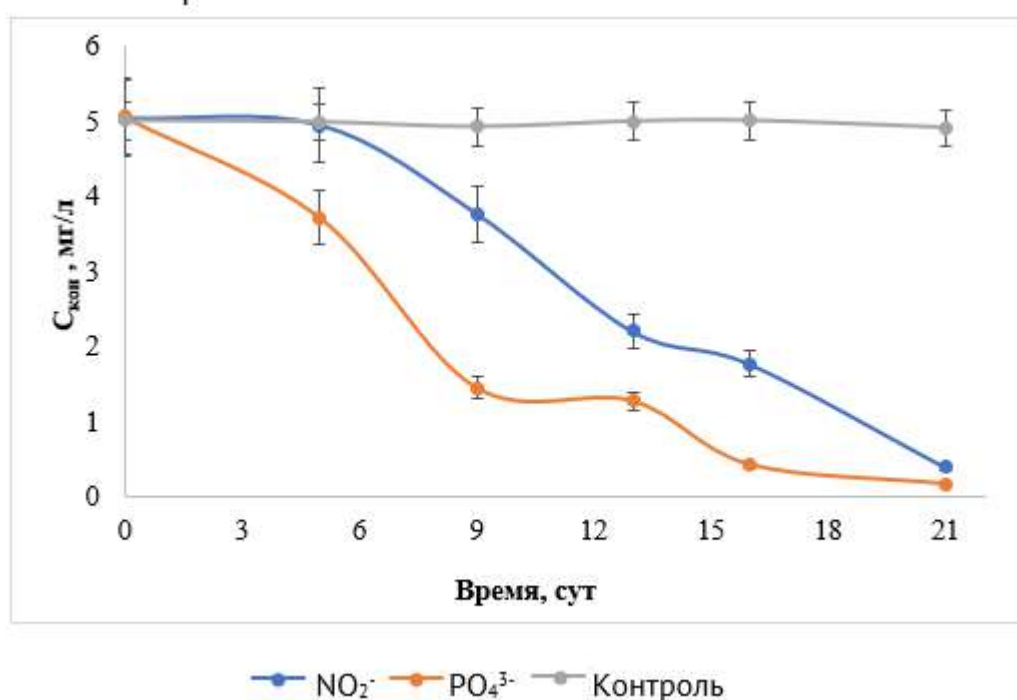


Рис. 2. Динамика изменения концентрации азотно-фосфорных соединений при использовании эйхорнии, при $C_{нач} = 5$ мг/л

Параметры роста эйхорнии представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Параметры роста эйхорнии до и после очистки азотно-фосфорных соединений, при $C_{нач} = 5$ мг/л

Параметры роста	До очистки	После очистки
Масса, г	11,6	18,4
Диаметр розетки, см	16	19
Длина корня, см	12	12,5
Число отростков, шт.	9	14

Так, при исходной концентрации 5 мг/л масса эйхорнии увеличилась с 11,6 до 18,4 г, а количество отростков возросло с 9 до 14. При концентрации 2,5 мг/л также отмечено значительное увеличение биомассы и длины корневой системы. Отсутствие признаков угнетения роста подтверждает физиологическую устойчивость вида к повышенным концентрациям азотно-фосфорных соединений.

Параметры роста эйхорнии до и после очистки азотно-фосфорных соединений, при $C_{нач} = 2,5$ мг/л

Параметры роста	До очистки	После очистки
Масса, г	13,4	18,7
Диаметр розетки, см	15	19,5
Длина корня, см	12	14
Число отростков, шт.	10	14

Следует подчеркнуть, что исследуемые концентрации превышают фактические значения, характерные для воды Москвы-реки, что дополнительно подтверждает потенциал *Eichhornia crassipes* для применения в натуральных условиях. Развитая корневая система обеспечивает не только интенсивное поглощение растворённых веществ, но и создание микробиологических сообществ, способствующих дополнительной трансформации соединений азота и фосфора.

Проведённое исследование показало, что *Eichhornia crassipes* обладает выраженной способностью к адаптации в воде Кожуховского затона и характеризуется устойчивой положительной динамикой морфометрических показателей при температуре +20...+23 °С. Развитие корневой системы и образование боковых побегов свидетельствуют о стабильном физиологическом состоянии растений.

Во втором блоке эксперимента установлена высокая эффективность удаления нитрит- и фосфат-ионов из модельных растворов. Максимальная степень снижения концентраций составила 92 % для нитритов и 97 % для фосфатов. Увеличение биомассы растений в ходе эксперимента подтверждает включение биогенных элементов в метаболические процессы и отсутствие токсического эффекта исследуемых концентраций.

Полученные результаты позволяют рассматривать *Eichhornia crassipes* как перспективный компонент биотехнологических систем очистки урбанизированных водоёмов и стабилизации экологического состояния акваторий.

Список литературы

1. Геохимический мониторинг влияния макрофитов на трансформацию азота и фосфора в эвтрофированной акватории / К.А. Вельможина, П.С. Шинкевич, Н.А. Политаева [и др.] // Рациональное использование природных

ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология : Сборник докладов Международной научной конференции, Белгород, 02–06 июня 2025 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2025. – С. 12-14. – EDN TVVUYZ.

2. Масалова М.А., Поздняков Ш.Р., Политаева Н.А. Оценка эффективности метода альголизации водоемов для безопасной работы водного транспорта. Московский транспорт. Наука и проектирование. 2025;(3):20-30.
3. Штонда, Н. Ю. Перспективы применения водяного гиацинта против цианобактериального цветения водоемов / Н.Ю. Штонда, Н.В. Зибарев // Неделя науки инженерно-строительного института – 2025 : Сборник материалов Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 01–04 апреля 2025 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2025. – С. 317-319.
4. ПНД Ф 14.1:2:4.3–95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрит–ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса. Москва 2011 г. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808620.pdf>.
5. ПНД Ф 14.1:2:4.248–07. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов и фосфора общего в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом. Москва 2007 г. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293773/4293773265.pdf>.

Фотоокисление метиленового голубого в присутствии пероксида водорода

Мостовык П. Р.

Магистрант

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

Аннотация: в рамках этой работы была исследована кинетика фотоокисления метиленового синего индивидуальным УФ-излучением и в системе УФ/H₂O₂. Реакции протекают по первому порядку. Добавка пероксида водорода увеличивает константу скорости более чем в 13 раз (с 0,066 мин⁻¹ до 0,879 мин⁻¹). Степень деструкции за 30 мин достигает 99,2 % в присутствии H₂O₂, против 87,1 % при окислении индивидуальным УФ.

Ключевые слова: фотоокисление, синтетические красители, пероксид водорода, Advanced Oxidation Processes

Синтетические красители относятся к стойким органическим загрязняющим веществам, что обуславливает их длительное присутствие в гидросфере и устойчивость к традиционным методам биологической и химической очистки. Красители поступают в гидросферу со сточными водами текстильной, фармацевтической и полиграфической промышленности. Традиционные методы удаления красителей, такие как адсорбция или коагуляция, переводят поллютант из одной фазы в другую, не обеспечивая его полной минерализации. В связи с этим все большее внимание уделяется методам Advanced Oxidation Processes (AOPs), основанным на образовании высокоактивных радикалов, способных к неселективной деструкции сложных органических молекул [1].

Для инициации распада пероксида водорода с образованием свободных радикалов эффективным подходом является использование ультрафиолетового облучения (система H₂O₂/UV). В процессе фотолиза пероксид водорода образует гидроксильные радикалы (уравнение 1), обладающие высоким окислительным потенциалом ($E^0 = 2,80$ В).



Помимо окисления свободными радикалами, вклад в разрушение загрязняющих веществ вносит ультрафиолетовое излучение. Молекулы красителя поглощают УФ-излучение, что вызывает возбуждение их электронных оболочек и последующий разрыв связей. Такое комбинированное воздействие обеспечивает более глубокую и быструю деградацию загрязняющих веществ [2].

Целью данного исследования является изучение кинетики фотоокисления метиленового голубого (МГ) в системе УФ/ H_2O_2 , определить порядок реакции и рассчитать константы скорости процесса.

Материалы и методы исследования

Исследование проводили с использованием модельного раствора метиленового голубого с концентрацией 5 мг/дм^3 . Концентрация пероксида водорода составила 30 мг/дм^3 . Окисление проводили в стационарном фотореакторе в кварцевых пробирках, которые размещали на расстоянии 40 мм от оси лампы [3]. В качестве источника ультрафиолетового излучения использовали ртутную лампу низкого давления F15 15/GL мощностью 8 Вт. Время облучения варьировалось от 1 до 30 минут. Концентрацию красителя определяли фотометрическим методом на приборе ЗОМЗ КФК 3–01 (Россия) при длине волны $\lambda=670 \text{ нм}$.

Результаты и их обсуждение

Кинетические кривые деструкции метиленового голубого представлены на рис. 1.

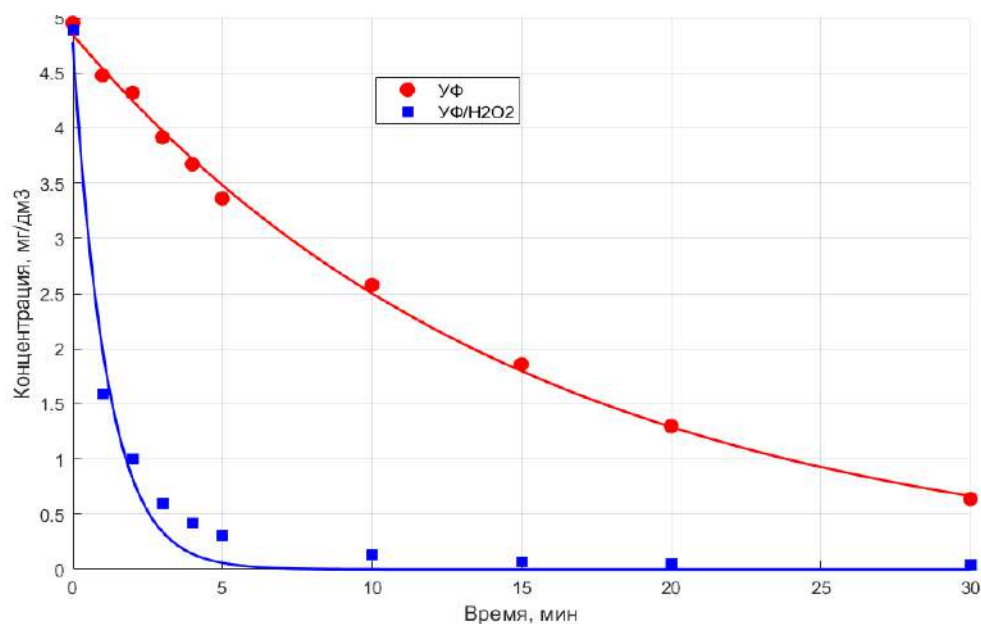


Рис. 1. Кинетические кривые окисления метиленового голубого

Для фотолиза в отсутствие пероксида водорода (УФ) кривая имеет вид плавного экспоненциального затухания с небольшим наклоном, а для системы УФ/Н₂О₂ кривая имеет крутой наклон в первые 5 минут с последующим выходом на плато после 15 минут. Реакция фотоокисления метиленового голубого идет по первому порядку и при деструкции УФ-излучением, и в присутствии пероксида водорода. Для полученных кинетических зависимостей были рассчитаны константы скорости, периоды полураспада и степень деструкции красителя. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Кинетические характеристики процесса фотодеструкции МГ

Окислительная система	Константа скорости k , мин ⁻¹	Степень деструкции α , %	Период полураспада $T_{1/2}$, мин
УФ	0,066	87,1	10,5
УФ/Н ₂ О ₂	0,879	99,2	0,79

Из данных таблицы 1 видно, что введение пероксида водорода увеличивает скорость реакции более чем в 13 раз и уже в первые 5 минут позволяет достичь эффективности окисления 93,7 %. После 30 минут обработки в системе УФ/Н₂О₂ достигается практически полное окисление красителя (эффективность 99,2 %), тогда как при использовании индивидуального УФ - только 87,1 %. Таким образом, в системе УФ/Н₂О₂ наблюдается синергетический эффект за счёт образования гидроксильных радикалов. Высокая эффективность и скорость окислительной деструкции метиленового голубого, достигаемые за счёт введения пероксида водорода и обусловленные генерацией активных форм кислорода, определяют перспективность данного подхода для обезвреживания сточных вод, загрязнённых устойчивыми органическими соединениями.

Список литературы

1. Robinson T. et al. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative // Bioresource technology. – 2001. – V. 77. – №. 3. – P. 247-255.
2. Шлыкова А.Ю. и др. Кинетика деструкции метиленового синего под воздействием импульсной ксеноновой лампы // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2024. – №. 3. – С. 136-145.

3. Иванцова Н.А. и др. Фотоокислительная деструкция нитрофурала в присутствии графитового нитрида углерода //Химическая промышленность сегодня. – 2022. – № 1. – С. 6-13.

Разработка сорбента на основе кокосового угля и природного цеолита для удаления Ni^{2+} и Cu^{2+} из промышленных стоков

Мурзина А. А.

Бакалавр

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ

Габдрахманова Г. Н.

Старший преподаватель

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ

Аннотация: эксперименты показали, что использование разработанного композитного сорбента на основе кокосового угля и природного цеолита приводит к выраженному снижению концентрации ионов никеля (Ni^{2+}) и меди (Cu^{2+}) уже в первые 60 минут контакта с модельными растворами. Контрольные замеры проводились через 10, 30 и 60 минут, и по результатам наблюдалось постепенное уменьшение концентрации ионов металлов с течением времени.

Ключевые слова: цеолит, кокосовый уголь, тяжелые металлы, композитный сорбент, селективная сорбция, промышленные стоки, адсорбционная способность

Промышленные стоки, содержащие тяжелые металлы, такие как никель и медь, представляют серьезную угрозу для окружающей среды и здоровья живых организмов. Ионы Ni^{2+} и Cu^{2+} накапливаются в водных экосистемах, вызывают биоаккумуляцию, мутагенез и токсичное действие [1]. В следствие это приводит к малокровию, задержке роста и бесплодию у человека [2].

Очистка сточных вод имеет ключевое значение для минимизации негативного влияния промышленных отходов на экосистемы. Сорбционные технологии на основе природных материалов – перспективное решение. Синергетический эффект их смеси позволит повысить селективность и емкость сорбции тяжелых металлов, снизить затраты и обеспечить регенерацию.

Целью исследования является разработка сорбента «кокосовый уголь - цеолит» для селективной сорбции ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} из стоков и оценка адсорбционной способности этого сорбента с течением времени.

Для экспериментальных исследований использовались цеолитсодержащая порода Татарско – Шатрашанского месторождения, размером фракции 0,2–0,8 мм и активированный кокосовый уголь высшего сорта. Готовили комбинированный сорбент из двух природных материалов в соотношении 1:1. Общая масса навески 0,5 г.

Были подготовлены модельные растворы для ионов металлов Ni^{2+} и Cu^{2+} с концентрацией 5 мг/л.

В стаканы емкостью 250 мл поместили полученный сорбент массой по 0,5 г с модельными растворами каждого металла объемом по 100 мл. Измеряли концентрации ионов металлов по истечении 10,30 и 60 минут.

Определение концентрации ионов металлов Ni^{2+} и Cu^{2+} проводилось в соответствии с методиками:

- ПНД Ф 14.1.46 – 96 Методика выполнения измерений массовой концентрации никеля в сточных водах фотометрическим методом с диметилглиоксимом

- ПНД Ф 14.1:2.48 – 96 Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов меди в природных и сточных водах фотометрическим методом с диэтилдитиокарбаматом свинца.

Полученные экспериментальные данные до и после очистки указаны в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Концентрация ионов Ni^{2+} до и после адсорбции

Время, мин	Концентрация ионов Ni^{2+} до адсорбции, мг/л	Концентрация ионов Ni^{2+} после адсорбции, мг/л
10	5	0,056
30	5	0,055
60	5	0,054

Концентрации ионов Ni^{2+} после адсорбции при 10, 30 и 60 минутах практически идентичны. Это указывает, что адсорбция достигает равновесия в первые 10 минут. Снижение составило от 5 мг/л до 0,054 мг/л, подтверждая высокую эффективность сорбента.

Таблица 2

Концентрация ионов Cu^{2+} до и после адсорбции

Время, мин	Концентрация ионов Cu^{2+} до адсорбции, мг/л	Концентрация ионов Cu^{2+} после адсорбции, мг/л
10	5	0,193
30	5	0,118
60	5	0,084

Концентрация ионов Cu^{2+} после адсорбции уменьшилась по мере увеличения времени контакта. Общее снижение концентрации в 60 раз демонстрирует высокую эффективность и отличные сорбционные свойства материала.

Для оценки адсорбционной способности композитного сорбента проводился расчет емкости по формуле:

$$A_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V,$$

где A_e - адсорбционная емкость адсорбента (мг/г), C_0 начальная концентрация металла в растворе (мг/л), C_e - конечная концентрация металла в растворе после адсорбции на сорбенте (мг/л), V - объем раствора (л), m - масса адсорбента (г).

На рис. 1 изображена зависимость адсорбционной емкости разработанного сорбента от времени.

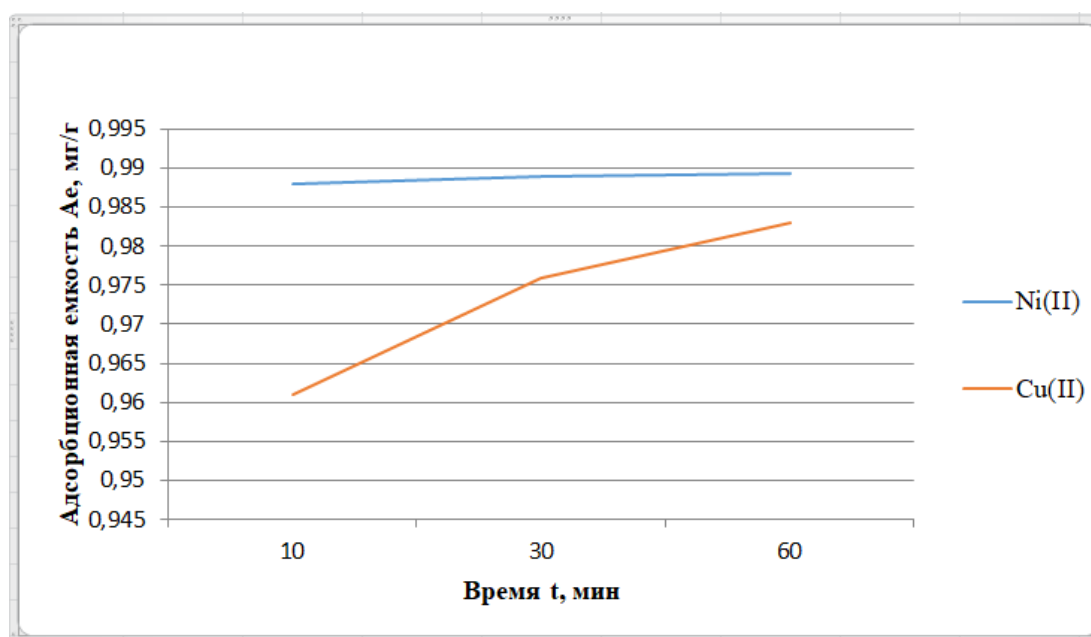


Рис. 1. Оценка адсорбционной емкости от времени

Адсорбционная емкость разработанного сорбента для ионов меди возрастает с течением времени, что указывает на прогрессирующий процесс адсорбции и достижение равновесия между сорбентом и адсорбируемыми ионами. С увеличением времени контакта происходит более эффективное взаимодействие между сорбентом и ионами, что способствует повышению адсорбционной емкости.

Адсорбционная емкость для ионов никеля незначительно зависит от времени контакта с сорбентом. На начальных этапах происходит быстрое насыщение активных центров, после чего дальнейшее увеличение времени не приводит к значительному росту адсорбции. Таким образом, время пребывания никеля в сорбенте не является критическим фактором.

Разработанный сорбент из активированного коксового угля и природного цеолита эффективно удаляет ионы тяжелых металлов из сточных вод: адсорбционная емкость для ионов никеля уже в первые 10 минут достигает 0,988 мг/л, что выше в 1,02 раза значения адсорбционной емкости для ионов меди, которое спустя 60 минут сорбции составляет 0,983 мг/л.

Сочетание адсорбционных свойств этих материалов значительно повышает степень очистки. Использование данного разработанного сорбента экономически выгодно благодаря доступности компонентов и снижению затрат на частую замену фильтров. Это решение способствует экологической безопасности и устойчивому развитию.

Список литературы

1. Панфилова О.Н., Степанов С.В., Доочистка сточных вод от ионов тяжелых металлов сорбентами на основе природных материалов // Самарский Государственный технический университет – 2023.
2. Филатова Е.Г., Пожидаев Ю.Н., Помазкина О.И., Адсорбция ионов цинка (II) и хрома (III) модифицированными цеолитами // Иркутский национальный исследовательский технический институт – 2020.

Исследование адсорбционных свойств активных углей, полученных из разных пород древесины

Пироженкова С. В.

Бакалавр

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Валиуллина А. Р.

Бакалавр

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Обухова В. Б.

Директор ООО «ХИМУНИВЕРС»

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Пестерникова Г. Г.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: исследованы адсорбционные характеристики активных углей, полученных методом карбонизации образцов пород древесины: осина, берёза и сосна с различной влажностью. Производилась активация полученных углей острым паром при температуре 650 °С. Установлено, что адсорбционная активность по йоду всех образцов углей более 40 %, что соответствует АУ марки ДАК. Данные угли можно использовать в качестве сорбентов для очистки жидких сред от нефтепродуктов и других загрязнений.

Ключевые слова: адсорбция, активный уголь, активность по метиленовому голубому, активность по йоду, острый пар, берёзовый уголь, осиновый уголь, сосновый уголь

В решении одной из актуальных проблем современности, а именно проблема защиты окружающей среды, микропористым углеродным сорбентам, или активным углям, принадлежит важная роль. Их применение связано с проведением чередующихся процессов адсорбции и десорбции, эффективность которых зависит от параметров пористой структуры активных углей. Решение поставленной задачи возможно только на основе теории адсорбции и десорбции для микропористых адсорбентов, и в настоящее время делается попытка её рассмотрения для простейшего случая адсорбции нежелательных компонентов из растворов [1].

Адсорбция йода древесиной и древесными материалами — это процесс поглощения йода пористой структурой древесины или полученных из неё сорбентов (например, активированных углей). Способность к адсорбции зависит от породы древесины, её структуры, степени обработки и других факторов. Большое влияние на адсорбционную активность углей оказывают виды древесины, из которых были получены эти угли.

В работе [2] показано, что хвойные породы (сосна, ель, кедр), необработанные опилки сосны и её кора имеют сходную адсорбционную активность по йоду – 16–21 %. Это свидетельствует о примерно одинаковой микропористости этих материалов. Для углей на основе лиственных пород (ольха, каштан) адсорбционная активность по йоду составляет свыше 25 %.

Однако на сорбционные свойства также влияют условия получения угля (температура пиролиза, активация, соотношение компонентов в процессе активации). Наибольшая сорбционная активность по йоду (103,2 %) наблюдается у березового АУ с конечной температурой пиролиза 800 °С, и у осинового активного угля (102,3 %) с конечной температурой пиролиза 400 °С [3].

Помимо этого, изменить адсорбционную активность можно при помощи обработки древесины различными химическими соединениями.

Щелочная обработка. Твёрдый остаток после щелочной обработки коры сосны по адсорбционной активности по йоду на 4% превосходит промышленный энтеросорбент «Полифам» и сравним с «Полифепаном» и гидролизным лигнином. Это свидетельствует о развитии пористой структуры в результате обработки [2].

Кислотная обработка древесины может повышать её адсорбционные свойства за счёт изменения структуры материала и формирования функциональных групп, которые улучшают взаимодействие с адсорбируемыми веществами. При обработке еловых опилок 30 %-ным раствором серной кислоты с отгонкой воды выход катионообменных сорбентов возрастает с увеличением температуры. Максимальная суммарная ионообменная ёмкость достигается при 150 °С и составляет 6,5 ммоль/г [4].

Объектом исследования являются образцы углей, полученные из древесины осины, берёзы и сосны, которые подвергались карбонизации и активации острым паром. Обработка каждого образца проводилась в печи при

температуре 650°C на протяжении 1-го и 2-х часов (для каждого из исследуемых образцов).

В процессе обработки углей в печи проводилось последовательное взвешивание образцов до и после карбонизации, а также после активации. Эти данные необходимы для вычисления влажности.

Адсорбционная активность по йоду определена методом титрования согласно ГОСТ 6217-74. Бралась навеска исследуемого угля около 1г с точностью до 4 знака после запятой. Помещалась в сушильный шкаф для дополнительного удаления влаги, примерно на протяжении часа при 150°C. После достижения постоянной массы от этой навески отбиралась проба в количестве 0,3 г, помещалась в колбу вместимостью 250см³. В эту же колбу добавлялось 50 мл раствора йода в йодистом калии с молярной концентрацией 0,1 н. Следует проследить чтобы колба была закрыта плотно, чтобы избежать потери йода. Раствор с углём перемешивался при помощи механического встряхивания со скоростью 120 колебаний на протяжении 30 минут. После раствор отстаивался в тёмном месте около 15 минут, чтобы осели частички угля. Для титрования отбиралась аликвота равная 10см³ и проводилось титрование 0,1н раствором тиосульфата натрия до обесцвечивания раствора. Параллельно с этим шло титрование чистого раствора йода в йодистом калии для определения холостого объёма титранта.

Адсорбционную активность угля по йоду, %, вычисляют по формуле:

$$A = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0,0127 \cdot 100 \cdot 50}{10 \cdot m}, \quad (1)$$

где V1 - объем раствора тиосульфата натрия концентрацией точно(0,1н), израсходованный на титрование 10 см³ чистого раствора йода в йодистом калии, см³; V2 – объем раствора тиосульфата натрия концентрацией точно (0,1 н), израсходованный на титрование 10 см³ чистого раствора йода в йодистом калии, см³; 0,0127 – масса йода, соответствующая 1 см³ раствора тиосульфата натрия концентрацией точно 0,1н, г; 50 – объем раствора йода в йодистом калии, взятый для осветления углем, см³; m – масса навески угля, г.

Адсорбционная активность по метиленовому голубому определена по ГОСТ 4453-74. Строился градуировочный график согласно пункту 4.4.2., используя данные об оптической плотности растворов индикатора разной

концентрации, которые были получены на спектрофотометре РВ2201. Навеска угля около 0,1г, предварительно высушенного до постоянной массы, взвешивалась и помещалась в коническую колбу объёмом 50 см³. В эту же колбу приливалось 25 см³ раствора индикатора массовой концентрации 1500 мг/дм³. И плотно закрытая колба с раствором взбалтывалась при помощи механического перемешивания со скоростью 120 колебаний на протяжении 20 минут. После чего аккуратно отбиралось 5 см³ раствора и определялась оптическая плотность на том же спектрофотометре. По градуировочному графику, используя полученные значения оптической плотности, определялась остаточная массовая концентрация индикатора в осветлённом растворе.

Адсорбционную активность по индикатору метиленовому синему в миллиграммах на один грамм продукта определяют по формуле:

$$X = \frac{(C_1 - C_2 \cdot K) \cdot 0,025}{m}, \quad (2)$$

где C₁ – массовая концентрация исходного раствора индикатора, мг/дм³;

C₂ – массовая концентрация после контакта с активированным углём, мг/дм³; K – коэффициент разбавления раствора, взятого для анализа, после контакта с углём; m – масса навески активного угля, г; 0,025 – объем раствора, взятого для осветления, дм³.

Таблица 1

Характеристики образцов углей

Характеристики	Показатели по ГОСТ для марки ДАК	№1 осина (t=1 час)	№1 осина (t=2 часа)	№1 береза (t=1 час)	№1 береза (t=2 часа)	№1 сосна (t=1 час)	№1 сосна (t=2 часа)
Адсорбционная активность по йоду, %	Не менее 30	50,5	51,9	43,2	44,4	50	51,4
Влажность образца, %	Не более 10	0,34	0,3	0,22	0,2	0,32	0,3

Адсорбционная активность по метиленовому синему, мг/г	Не менее 225	205,2	209	192	197	198	201
---	--------------	-------	-----	-----	-----	-----	-----

Проведены исследования адсорбционной активности сорбентов на основе углей, полученных из древесины различных пород путём карбонизации и активации острым паром, которые показали, что порода древесины и время активации в 2 часа не оказывает существенного влияния на данную характеристику. Все образцы АУ по показателям адсорбционной активности по йоду соответствуют марке древесного угля ДАК согласно ГОСТ 6217-74. Следовательно данные сорбенты можно использовать для очистки парового конденсата и очистки жидких сред от большого спектра примесей (от мелких, соизмеримых с молекулами йода, до молекул жиров, масел, нефтепродуктов, хлорорганических соединений и др.)

Список литературы

1. Дубинин М.М., Плаченков Т.Г. Адсорбенты, их получение, свойства и применение // Наука. -1978.- с. 1-3.
2. Майорова Е.И. Анализ пористости и адсорбционных свойств отходов деревообработки и растениеводства // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – 2016. – Выпуск 15(85). – с. 205-206.
3. Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К., Панова Т.М. [и др.] Сравнительная оценка сорбционных свойств активных углей из различных пород древесины // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 193–204
4. Дейнеко И.П., Хакало А.С., Пранович А.В. Получение катионообменных сорбентов обработкой еловых опилок серной кислотой // Химия растительного сырья. - 2011. - №4. - с.33-38.
5. ГОСТ 6217-74 Уголь активный древесный дробленый. ГОСТ 4453-74 Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный.

Экономическая эффективность адсорбционной очистки сточных вод производств синтетического каучука от ионов железа

Поплавская О. Е.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)

Габдрахманова Г. Н.

Старший преподаватель

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)

Аннотация: выполнено технико-экономическое обоснование адсорбционной очистки сточных вод от ионов железа природным цеолитом. Эффективность очистки составляет 97,5%, предотвращенный ущерб – 4,44 млн руб./год. Коэффициент эффективности 1,37 подтверждает экономическую целесообразность внедрения технологии.

Ключевые слова: Сточные воды, синтетический каучук, цеолит, предотвращенный ущерб

Современное состояние водных объектов Российской Федерации характеризуется устойчивым техногенным воздействием со стороны предприятий нефтехимической промышленности. Согласно Постановлению Правительства РФ № 2398, производства синтетического каучука (СК) отнесены к объектам I категории, оказывающих наибольшее негативное воздействие на окружающую среду. В процессе эмульсионной полимеризации бутадиена и стирола, являющейся доминирующим способом получения синтетических каучуков, образуются значительные объемы сточных вод, содержащих широкий спектр загрязняющих веществ: ароматические углеводороды, поверхностно-активные вещества, взвешенные полимеры, сульфаты, нитриты и тяжелые металлы [1].

Особую опасность среди перечисленных веществ представляют ионы железа (II, III). Попадая в водные объекты, они не только ухудшают органолептические свойства воды (придают мутность, металлический привкус), но и нарушают процессы естественного самоочищения водоемов, оказывают токсическое действие на гидробионты, а при длительном поступлении в организм

человека через питьевую воду способствуют развитию патологий печени и желудочно-кишечного тракта.

Существующие на многих предприятиях механические и биологические методы очистки не обеспечивают достаточной степени удаления растворенных форм тяжелых металлов. В связи с этим актуальной научно-практической задачей является разработка и экономическое обоснование внедрения эффективных методов доочистки. Наиболее перспективным подходом признается адсорбция с использованием природных сорбентов, характеризующихся низкой стоимостью, доступностью и высокой селективностью по отношению к катионам металлов [2].

Объектом исследования выступали сточные воды процесса эмульсионной полимеризации бутадиен-стирольного каучука. На основе анализа технологического регламента и результатов производственного экологического контроля установлены следующие характеристики стоков: расход – 11,4 м³/ч, эффективный годовой фонд времени работы оборудования – 8616 ч. Химический состав характеризуется многокомпонентностью, при этом для настоящего исследования ключевыми показателями являлись:

- ионы железа (Fe) – 12 мг/л при предельно допустимой концентрации (ПДК) 0,3 мг/л;
- взвешенные вещества – 50 мг/л при ПДК 0,25 мг/л;
- сульфаты – 199 мг/л при ПДК 100 мг/л;
- биохимическое потребление кислорода полное (БПК_п) – 5,6 мг/л при ПДК 3 мг/л.

В качестве адсорбента предложен природный цеолит Татарско-Шатрашанского месторождения. Выбор данного сорбента обусловлен его кристаллической структурой, характеризующейся системой микропор и каналов размером 0,3–1,0 нм, что обеспечивает высокую ионообменную способность по отношению к катионам переходных металлов. Дополнительными преимуществами являются механическая прочность, химическая устойчивость и низкая стоимость по сравнению с синтетическими сорбентами.

Эффективность адсорбционной очистки определялась по формуле (1):

$$\eta = \left(\frac{c_0 - c}{c_0} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация ионов железа, мг/л; C – остаточная концентрация после очистки, мг/л.

Расчет массы сброса загрязняющих веществ (m , т/год) выполняется по формуле (2):

$$m = Q \cdot t \cdot K \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где Q – расход сточных вод, м³/ч; t – продолжительность сброса, ч/год; K – концентрация загрязняющего вещества, г/м³.

Оценка экономической эффективности производилась в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду» и Приказом Минприроды России от 13.04.2009 № 87 «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам» [3]. Интегральный коэффициент эффективности природоохранных мероприятий (E) рассчитывался как отношение предотвращенного ущерба ($\mathcal{E}$) к приведенным затратам ($Пр$) по формуле (3):

$$E = \frac{\mathcal{E}}{Пр}, \quad (3)$$

Экспериментально установлено, что при пропускании сточной воды через слой цеолита фракцией 1-3 мм происходит эффективное связывание ионов железа. Остаточная концентрация после очистки снижается до 0,3 мг/л, что соответствует нормативу ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Подставим значения в формулу (1):

$$\eta = \left(\frac{12 - 0,3}{12} \right) \cdot 100\% = 97,5\%$$

Полученное значение свидетельствует о высокой степени извлечения вещества и позволяет рассматривать адсорбционную технологию как метод глубокой очистки, обеспечивающий соблюдение установленных нормативов допустимых сбросов (НДС).

На основании исходных данных о концентрациях и объеме стоков были рассчитаны массы загрязняющих веществ, поступающих в водный объект (река

Волга) до и после внедрения очистных мероприятий. Динамика изменения масс сброса загрязняющих веществ представлена в таблице 1.

Таблица 1

Динамика изменения масс сброса загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	Масса сброса до очистки, т/год	Масса сброса после очистки, т/год	Снижение, раз
Ионы железа	1,17	0,03	39,0
Взвешенные вещества	4,90	0,024	204,2
Сульфаты	19,50	9,80	2,0
БПК полный	0,55	0,30	1,8

Как следует из представленных данных, внедрение адсорбционной очистки позволяет сократить годовую массу сброса ионов железа в 39 раз, взвешенных веществ – в 204 раза. Наиболее значительное снижение по взвешенным веществам объясняется дополнительным фильтрационным эффектом зернистой загрузки адсорбера.

Расчет размера вреда, причиненного водному объекту, выполненный в соответствии с Приказом № 87, показал, что предотвращенный годовой ущерб (Э) составляет 4 436 170 руб. При этом платежи за негативное воздействие сокращаются с 42 369 руб./год (при сверхлимитном сбросе) до 1 372 руб./год (в пределах НДС). Однако основной вклад в формирование экономического эффекта вносит именно предотвращение экологического вреда, а не снижение платы, что характерно для природоохранных проектов с высокой социально-экологической значимостью.

Приведенные затраты (Пр), включающие эксплуатационные расходы и нормативную величину капитальных вложений, составили 3 224 500 руб./год. Коэффициент эффективности (Е) рассчитывался как отношение предотвращенного ущерба к приведенным затратам по формуле (3):

$$E = \frac{4\,436\,170}{3\,224\,500} = 1,37$$

В соответствии с принятыми в экономике природопользования критериями, природоохранные мероприятия признаются экономически эффективными в случае, если $E > 1$. Полученное значение 1,37 свидетельствует о том, что каждый рубль инвестированных средств обеспечивает предотвращение экологического ущерба в размере 1,37 руб.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что адсорбционная очистка на природном цеолите является экономически оправданной и экологически состоятельной мерой, целесообразной к внедрению в практику работы заводов синтетического каучука.

Список литературы

1. Постановление правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 (ред. от 07.10.2021) «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» // Собрание законодательства РФ. – 2021. – № 6. – Ст. 987.
2. Тунакова Ю.А. Использование природного цеолита для очистки вод / Ю.А. Тунакова, В.С. Валиев, Г.Н. Габдрахманова // Ползуновский вестник. – 2024. – № 1. – С. 179–185.
3. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 (ред. от 24.01.2020) «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» // Собрание законодательства РФ. – 2016. – № 38. – Ст. 5567.

Очистка сточных вод предприятий синтетического каучука адсорбционным методом

Поплавская О. Е.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева – КАИ

Габдрахманова Г. Н.

Старший преподаватель

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А. Н. Туполева – КАИ

Аннотация: в работе рассматриваются особенности образования сточных вод предприятий синтетического каучука и анализируются современные методы их очистки. Особое внимание уделено адсорбционному методу как эффективному способу удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод. Обоснована эффективность применения природных сорбентов для повышения экологической безопасности водных ресурсов.

Ключевые слова: сточные воды, адсорбционная очистка, синтетический каучук, цеолит

В условиях интенсивного развития промышленности проблема загрязнения окружающей среды приобретает особую актуальность. Одним из наиболее значимых источников антропогенного воздействия на водные ресурсы является промышленные сточные воды, содержащие широкий спектр химических соединений. В наибольшей степени данная проблема характерна для предприятий химической и нефтехимической промышленности, технологические процессы которых сопровождаются образованием значительных объемов загрязненных стоков.

Одним из перспективных направлений в области водоочистки является применение адсорбционных методов, позволяющих удалять из водных растворов даже низкие концентрации загрязняющих веществ. Адсорбционные технологии характеризуются высокой эффективностью, относительной простотой реализации и возможностью использования природных сорбентов.

Производство синтетического каучука осуществляется путем химического синтеза на основе нефтехимического сырья. Наиболее распространенным

способом получения данного продукта является эмульсионная полимеризация бутадиена и стирола, в результате которой образуется латекс, из которого впоследствии выделяется каучук [1].

Основными источниками образования загрязненных сточных вод являются: процессы гидрирования углеводородного сырья, промывка промежуточных и конечных продуктов, дегидрирование и сопутствующие реакции, использование водных растворов катализаторов и стабилизаторов, процессы ректификации и газоочистки.

Сточные воды производства синтетического каучука характеризуются сложным химическим составом. В них могут присутствовать ароматические углеводороды, одноатомные спирты, поверхностно-активные вещества, неорганические соли и тяжелые металлы. Кроме того, в составе сточных вод обнаруживаются взвешенные вещества и остатки полимерных соединений. Особую технологическую опасность представляют соединения тяжелых металлов, в частности ионы железа. Их повышенная концентрация в сточных водах способна приводить к нарушению процессов самоочищения водоемов, ухудшению качества питьевой воды и накоплению токсичных соединений в биологических организмах.

В настоящее время для очистки промышленных сточных вод применяется широкий спектр технологий, которые можно условно разделить на механические, химические, биологические и физико-химические методы [2].

Одним из наиболее перспективных методов глубокой очистки сточных вод является адсорбция. Адсорбционный процесс представляет собой перенос растворенных веществ из жидкой фазы на поверхность твердого сорбента. Благодаря развитой пористой структуре сорбционных материалов происходит эффективное связывание загрязняющих веществ. Адсорбционная очистка позволяет удалять из воды широкий спектр загрязнителей, включая тяжелые металлы, органические соединения, красители и поверхностно-активные вещества. Эффективность данного метода может достигать 99 %, что делает его одним из наиболее эффективных способов глубокой очистки сточных вод [3].

Рассматриваемый адсорбер представляет собой специализированное техническое решение, предназначенное для осуществления эффективной очистки водной среды путем устранения вредных примесей, присутствующих в производственных сточных водах, таких как ионы тяжелых металлов, органические

соединения и другие потенциально опасные вещества. Применение данной системы целесообразно в различных отраслях промышленности, включая химическую, нефтеперерабатывающую, лакокрасочную, металлургическую, фармацевтическую и биотехнологическую отрасли. Адсорбер для очистки воды представлен на рис. 1.

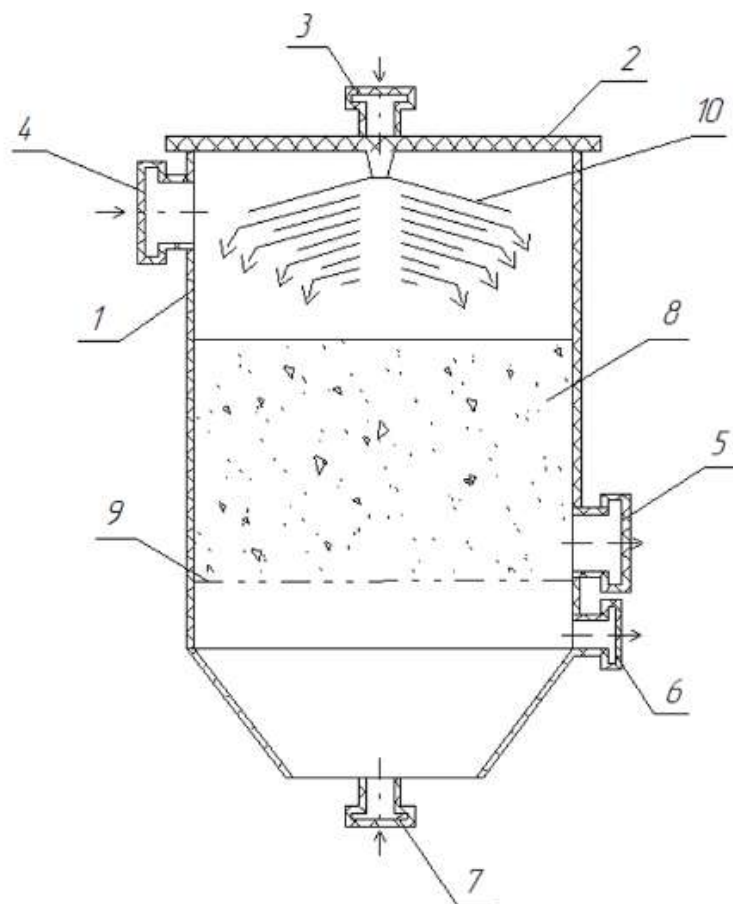


Рис. 1. Адсорбер для очистки сточной воды: 1 – цилиндрический пластиковый корпус, 2 – пластиковая крышка, 3 – патрубок для подачи воды, 4 – патрубок для загрузки сорбента, 5 – патрубок для выгрузки сорбента, 6 – патрубок для отвода очищенной воды, 7 – патрубок для регенерации фильтрующих материалов обратным током воды, 8 – сорбент, 9 – опорная решетка, 10 – форсунки

Адсорбционный фильтр для очистки воды работает следующим образом:

Поток загрязненной воды выводится через входной патрубок 3 в цилиндрический пластиковый корпус 1, где расположенная сверху система форсунок 10 равномерно распределяет поток по всему сечению аппарата. Далее вода поэтапно просачивается сквозь многослойный наполнитель сорбента 8, где

происходит адсорбция загрязнений на поверхности фильтрующего материала. Очищенная вода накапливается внизу корпуса 1, проходит через опорную решетку 9 и выводится через отводящий патрубок 6. Опорная решетка 9 играет ключевую роль, надежно фиксируя слой сорбента 8 и обеспечивает равномерный отвод очищенной воды. Регенерация сорбента 8 обеспечивается подачей воды для промывки через нижний патрубок 7, через который подается промывная вода в обратном направлении (снизу-вверх). Загрязнения вымываются из сорбента 8 и удаляются через патрубок 5.

Обслуживание фильтра осуществляется через патрубки 4 (для загрузки свежего сорбента) и 5 (для удаления отработанного материала). Вся конструкция герметично закрывается пластиковой крышкой 2, которая обеспечивает безопасную эксплуатацию установки.

В результате проведенного исследования рассмотрены особенности очистки сточных вод предприятий синтетического каучука, содержащих ионы тяжелых металлов. Показано, что одним из наиболее эффективных методов удаления таких загрязнений является адсорбционная очистка.

Для оценки эффективности работы адсорбционной установки был выполнен расчет степени удаления ионов железа из сточных вод. Эффективность очистки определяется по соотношению начальной и остаточной концентраций загрязняющего вещества в воде.

Исходная концентрация ионов железа в сточных водах составляет 12 мг/л. После прохождения воды через слой сорбента концентрация железа снижается до 0,3 мг/л, что соответствует установленным нормативным требованиям.

Степень очистки рассчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_0 – начальная концентрация загрязняющего вещества, мг/л; C – остаточная концентрация после очистки, мг/л.

Подставляя исходные данные, получаем:

$$\eta = \frac{(12 - 0,3)}{12} \cdot 100\% = 97,5\%$$

Полученное значение свидетельствует о высокой эффективности адсорбционного процесса при очистке сточных вод от ионов железа.

Применение адсорбционной установки с использованием природного сорбента позволяет эффективно снижать концентрацию ионов металлов в сточных водах до нормативных значений. Благодаря высокой сорбционной способности и развитой пористой структуре сорбента обеспечивается высокий уровень извлечения загрязняющих веществ.

Результаты расчетов показали, что применение адсорбционной установки с использованием природного сорбента обеспечивает высокую степень очистки сточных вод. Эффективность удаления ионов железа составляет 97,5 %, что позволяет снизить концентрацию загрязняющего вещества до нормативных значений.

Список литературы

1. Атаманова О.В. Адсорбционный фильтр для очистки воды: пат. RU 182056 U1 / О.В. Атаманова; патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.); заявл. 10.01.2018; опубл. 01.08.2018, Бюл. №22. — 8 с.
2. Мингазетдинов И.Х. Адсорбер с регенерацией сорбента в псевдосжиженном слое : пат. на полезную модель RU 219803 U1 / И.Х. Мингазетдинов, Ю.А. Тунакова, Г.Н. Габдрахманова ; патентообладатель ФГБОУ ВО « Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ» - № 2023111926 ; заявл. 10.05.2023; опубл. 08.08.2023, Бюл. №22. — 10 с.
3. Атаманова О.В. Сорбционный фильтр : пат. на полезную модель RU 169004 U1 / О.В. Атаманова, А.В. Косарев, Е.И. Тихомирова, М.В. Истрашкина ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.). - №2016141893; заявл. 25.10.2016; опубл. 01.03.2017, Бюл. №7. - 8 с.

Очистка сточных вод от ионов металла с помощью комбинированного фильтроматериала

Рябова Т. А.

Студент

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ»

Габдрахманова Г. Н.

Старший преподаватель

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева-КАИ»

Аннотация: исследована эффективность очистки воды от ионов Cu(II) и Ni(II) комбинированным фильтроматериалом. Эксперименты на модельных растворах показали снижение концентрации металлов с увеличением времени контакта до 60 минут.

Ключевые слова: очистка, ионы металлов, адсорбция, активированный уголь, гидролизный лигнин, медь, никель

Сточные воды содержат большое количество металлов. Они попадают в стоки из промышленных процессов, бытовых отходов или атмосферных осадков. Эти вещества опасны для людей и природы, так как накапливаются в почве, воде и организмах, что приводит к необратимым последствиям [1]. Очистка сточных вод — критически важный процесс для снижения вредного воздействия промышленных отходов на окружающую среду [2, 3].

Целью экспериментальных исследований стало изготовление фильтроматериала и оценка его адсорбционной способности по отношению к ряду ионов металлов с течением времени.

Для создания фильтроматериала использовали активированный кокосовый уголь высшего сорта и гидролизный лигнин. Готовили комбинированный фильтроматериал из двух сорбентов в соотношении 1:1. Общая масса навески составила 0,5 г. Были подготовлены модельные растворы для ионов металлов Cu(II) и Ni(II) с концентрацией примерно 5 мг/л.

В стаканы емкостью 250 мл поместили полученный фильтроматериал массой по 0,5 г с модельными растворами каждого металла объемом 100 мл. Измеряли концентрации ионов металлов в течение 10, 30, 60 минут.

Определение концентрации металлов проводилось фотометрическим методом до и после очистки (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Концентрация ионов Cu (II) до и после адсорбции на фильтроматериале

Время, мин	Концентрация ионов Cu (II) до адсорбции, мг/л	Концентрация ионов Cu (II) после адсорбции, мг/л
10	5	3,6
30	5	3,6
60	5	1,8

Концентрация ионов Cu(II) после очистки спустя 10 минут уменьшилась, далее практически не изменялась начиная с 10 минут до 30 минут, по истечению следующих 30 минут концентрация уменьшилась в 2 раза.

Таблица 2

Концентрация ионов Ni (II) до и после адсорбции на фильтроматериале

Время, мин	Концентрация ионов Ni (II) до адсорбции, мг/л	Концентрация ионов Ni (II) после адсорбции, мг/л
10	5	2,4
30	5	1,7
60	5	0,94

Концентрация ионов Ni(II) с увеличением времени контакта уменьшалась, таким образом концентрации ионов Ni(II) в растворах с фильтроматериалами, выдержанными 10, 30 и 60 минут уменьшалась соответственно с увеличением времени контакта.

Для оценки адсорбционной способности проводился расчет емкости по формуле:

$$A_e = \frac{C_0 - C_e}{m} V \quad (1)$$

где A_e – адсорбционная емкость адсорбента (мг/г), C_o – начальная концентрация металла в растворе (мг/л), C_e – конечная концентрация металла в растворе после адсорбции на сорбенте (мг/л), V – объем раствора (л), m – масса адсорбента (г).

Построена зависимость адсорбционной емкости комбинированного фильтроматериала по отношению к ионам металлов от времени контакта (рис. 1).

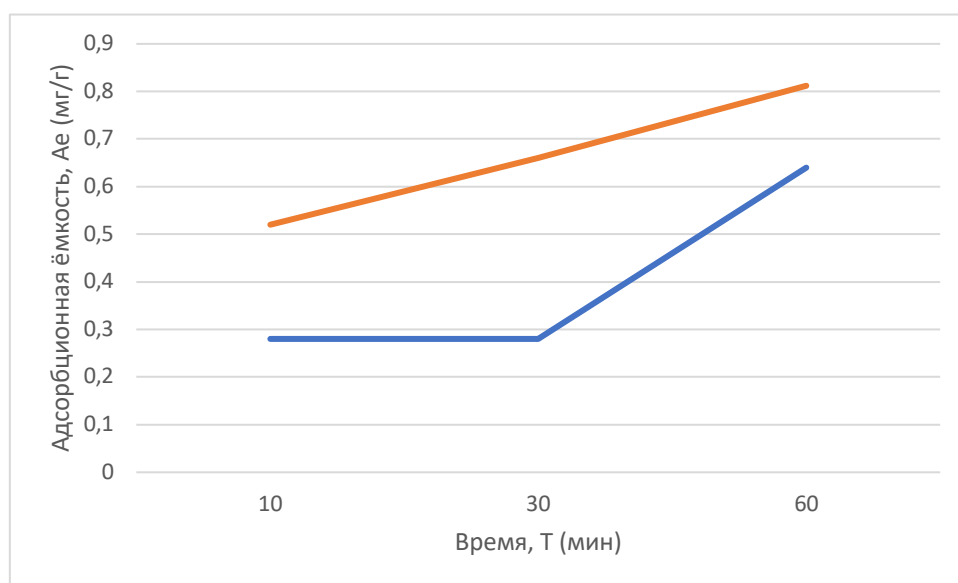


Рис. 1. График зависимости адсорбционной ёмкости комбинированного фильтроматериала по отношению к ионам металлов от времени контакта (красная линия – $Ni(II)$; синяя линия – $Cu(II)$)

Таким образом, мы выяснили, что адсорбционная ёмкость фильтроматериала увеличивается, и по графику установлено, что адсорбционная емкость фильтроматериала по отношению к ионам никеля выше, чем по отношению к ионам меди.

Вывод:

Комбинированный фильтроматериал эффективно удаляет ионы тяжелых металлов, установлено снижение концентрации за 60 минут для ионов $Cu(II)$ в 2,7 раза и для ионов $Ni(II)$ — в 5,3 раза. Адсорбционная ёмкость фильтроматериала увеличивается, а концентрация ионов металлов уменьшается с течением времени.

Комбинированный фильтроматериал эффективно удаляет ионы тяжелых металлов: за 60 минут концентрация $Cu(II)$ снизилась с 5 до 1,8 мг/л, $Ni(II)$ — до

0,94 мг/л. Высокая адсорбционная емкость фильтроматериала подтверждает перспективность его применения для очистки вод от металлов.

Список литературы

1. Шатрова А.С., Богданов А.В., Тюкалова О.В. Сорбция тяжелых металлов лигнинсодержащими осадками целлюлозно-бумажной промышленности // Известия томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 5. – С. 66–74.
2. Линник В.Н., Линник Л.И., Молоток Е.В., Галушков П.А. Концентрационная зависимость сорбции ионов никеля (II) сульфированным гидролизным лигнином // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2004. – № 4. – С. 56–58
3. Линников О.Д., Родина И.В., Бакланова И.В., Сунцов А.Ю. Сорбция ионов Cu (II) активированным углём марки БАУ-А // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 554–562.

Применение мембранного биореактора в схеме очистки сточных вод участка НиОПСВ ПАО «Казаньоргсинтез»: сравнительный анализ вариантов модернизации и перспективы организации оборотного водоснабжения

Ряписова Л. В.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Рахматуллин Р. Р.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Иванов С. С.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье рассмотрены два технологических варианта модернизации биологических очистных сооружений участка нейтрализации и очистки промышленных сточных вод (НиОПСВ) ПАО «Казаньоргсинтез» с применением мембранного биореактора (МБР): полная замена вторичных отстойников на мембранный модуль и установка МБР в качестве ступени доочистки после существующих отстойников. Проведён анализ текущей эффективности работы сооружений, выявлены ограничения традиционной схемы гравитационного разделения иловой смеси. Обоснованы технологические преимущества и недостатки каждого из вариантов модернизации. Показано, что оба решения позволяют стабилизировать качество очищенной воды на уровне, соответствующем нормативам рыбохозяйственных водоёмов, и создают предпосылки для организации замкнутого оборотного водоснабжения предприятия. Выполнена сравнительная оценка ожидаемой эффективности очистки по основным показателям. Даны рекомендации по выбору оптимальной схемы для условий действующего производства.

Ключевые слова: мембранный биореактор, ультрафильтрация, биологическая очистка сточных вод, вторичные отстойники, активный ил, доочистка, оборотное водоснабжение

Современные требования к охране водных объектов и рациональному использованию водных ресурсов ставят перед промышленными предприятиями задачу не только обеспечения стабильного качества очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоёмы рыбохозяйственного назначения, но и внедрения

технологий, позволяющих повторно использовать очищенную воду в производственных циклах. Традиционные биологические очистные сооружения, включающие аэротенки и вторичные отстойники, в условиях переменных нагрузок и изменяющихся свойств активного ила не всегда способны гарантированно обеспечивать требуемую глубину удаления взвешенных веществ и растворённых органических соединений [1, 2]. Кроме того, качество воды после вторичного отстаивания зачастую оказывается недостаточным для её возврата в систему оборотного водоснабжения, что ограничивает возможности снижения водопотребления.

Одним из наиболее эффективных направлений интенсификации и модернизации биологической очистки является применение мембранных биореакторов (МБР), в которых процесс биологического окисления совмещён с ультра- или микрофльтрационным разделением иловой смеси [1, 2]. МБР позволяют полностью исключить или существенно дополнить стадию гравитационного осаждения, обеспечивая значительно более высокую и стабильную степень очистки, а также получение воды, пригодной для технического повторного использования [3, 4].

Целью настоящей работы является сравнительный анализ двух вариантов интеграции МБР в технологическую схему участка НиОПСВ ПАО «Казаньоргсинтез»: 1) замена существующих вторичных отстойников на мембранный биореактор; 2) установка МБР в качестве дополнительной ступени доочистки после вторичных отстойников. На основе анализа эффективности действующих сооружений и литературных данных по применению МБР для очистки промышленных стоков обосновывается оптимальный подход к модернизации, обеспечивающий выполнение нормативных требований и создание условий для организации оборотного водоснабжения.

Объектом исследования является действующая схема биологической очистки производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод участка НиОПСВ ПАО «Казаньоргсинтез», включающая механическую очистку, биологическую очистку в аэротенках I, II и III очередей и последующее разделение иловой смеси во вторичных отстойниках. Для оценки эффективности существующей схемы использовались данные производственного лабораторного контроля и результаты дополнительных исследований, включавших определение физико-химических показателей сточных вод (взвешенные вещества, ХПК, БПК,

соединения азота и фосфора) и характеристик активного ила (доза, иловый индекс, зольность). Нормативные требования к качеству очищенной воды приняты в соответствии с действующими предельно допустимыми концентрациями (ПДК) для водоёмов рыбохозяйственного значения.

Внутренний анализ технологических параметров работы участка НиОПСВ показал, что эффективность процесса очистки в значительной степени лимитируется стадией вторичного отстаивания. Колебания состава поступающих стоков, периодическое изменение седиментационных свойств активного ила (значения илового индекса варьируются в широком диапазоне, достигая значений $250 \text{ см}^3/\text{г}$) и неравномерность гидравлической нагрузки приводят к нестабильности качества осветлённой воды. Хотя средние значения основных показателей (взвешенные вещества $\leq 13,4 \text{ мг/дм}^3$, БПК₅ $\leq 2,3 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$) формально соответствуют нормативам для рыбохозяйственных водоёмов, при залповых нагрузках и ухудшении седиментационных свойств ила возможны превышения. Кроме того, существующая схема не обеспечивает условий для гарантированного возврата очищенной воды в производственный цикл, так как требования к качеству воды для оборотного водоснабжения значительно жёстче, чем для сброса в водоём.

Дальнейшее увеличение дозы активного ила в аэротенках с целью интенсификации биологической очистки ограничено риском ухудшения седиментационных характеристик иловой смеси и возрастания выноса взвешенных веществ с очищенной водой. В связи с этим модернизация узла разделения иловой смеси представляется ключевым этапом повышения эффективности работы всего комплекса очистных сооружений.

Рассматриваются два принципиально различных подхода к интеграции МБР в существующую технологическую цепочку.

Вариант 1. Замена вторичных отстойников на мембранный биореактор. В этом варианте иловая смесь из аэротенков направляется непосредственно в мембранный модуль, где происходит её разделение на очищенную воду (пермеат) и концентрированную суспензию активного ила, возвращаемую в аэротенки. Вторичные отстойники полностью исключаются из технологической схемы. Данный подход позволяет максимально использовать преимущества МБР: возможность поддержания высоких доз активного ила (до $15\text{--}20 \text{ г/дм}^3$) без риска ухудшения качества очищенной воды, повышение окислительной

мощности сооружений, сокращение занимаемых площадей, стабильно низкие концентрации взвешенных веществ в пермеате (менее 3 мг/дм³) [6, 7]. Кроме того, полное исключение вторичных отстойников снимает проблему нестабильности осаждения.

Недостатком данного варианта является необходимость значительных капитальных затрат на установку мембранных модулей достаточной производительности для обработки всего объёма иловой смеси, а также более высокие эксплуатационные расходы, связанные с регенерацией мембран и предотвращением их загрязнения. Также потребуются адаптация системы рециркуляции ила к новым условиям.

Вариант 2. Установка МБР в качестве ступени доочистки после вторичных отстойников. В этом варианте существующие вторичные отстойники сохраняются, а на мембранную фильтрацию подаётся осветлённая вода после них. Таким образом, МБР выполняет функцию глубокой доочистки, удаляя остаточные взвешенные вещества, коллоидные и растворённые органические соединения, а также микроорганизмы. Нагрузка на мембраны по взвешенным веществам существенно снижается, что уменьшает скорость их загрязнения и увеличивает межрегенерационный период. Капитальные затраты на мембранное оборудование в этом варианте ниже, поскольку требуется меньшая площадь фильтрации. Кроме того, сохраняется возможность использования существующей инфраструктуры отстойников, что упрощает поэтапную модернизацию и снижает риски остановки производства.

К недостаткам варианта можно отнести сохранение всех проблем, связанных с работой вторичных отстойников (необходимость контроля иловой зоны, удаления осадка, периодическое ухудшение качества осветлённой воды при залповых нагрузках), что, впрочем, в значительной степени компенсируется последующей мембранной фильтрацией. Также общая занимаемая площадь сооружений не сокращается, а увеличивается за счёт добавления нового узла.

В таблице приведены ожидаемые значения основных показателей качества очищенной воды для обоих вариантов модернизации в сопоставлении с текущими усреднёнными данными и нормативными требованиями. Оценка выполнена на основе литературных данных по применению МБР для очистки промышленных сточных вод [2, 4].

**Сравнение текущего и ожидаемого качества очищенной воды
при различных вариантах модернизации**

Показатель	Текущее значение (мг/дм ³)	Ожидаемое при замене отстойников на МБР (мг/дм ³)	Ожидаемое при установке МБР после отстойников (мг/дм ³)	ПДК (мг/дм ³)
Взвешенные вещества	≤13,4	≤ 2	≤ 3	13,4
БПК ₅	≤2,3	≤ 1,5	≤ 2,0	2,3
Аммоний-ион (NH ₄ ⁺)	≤ 0,5	≤ 0,3	≤ 0,4	0,5
Фосфат-ион (PO ₄ ³⁻)	≤0,61	≤ 0,08	≤ 0,1	0,61

Как видно из таблицы, оба варианта обеспечивают достижение качества очищенной воды, соответствующего нормативам рыбохозяйственных водоёмов, с существенным запасом по основным показателям. Вариант с полной заменой отстойников на МБР демонстрирует несколько более высокую эффективность удаления органических веществ и биогенных элементов, что связано с возможностью поддержания более высокой концентрации активного ила и, соответственно, более глубокой биологической очистки. Однако оба варианта позволяют получить воду, пригодную для возврата в систему оборотного водоснабжения предприятия, что является важным шагом к снижению водопотребления и экологической нагрузки [3, 5].

С учётом специфики действующего производства, необходимости минимизации остановок и поэтапного внедрения изменений, вариант установки МБР в качестве ступени доочистки после существующих вторичных отстойников представляется более предпочтительным на первом этапе модернизации. Он позволяет:

1. сохранить работоспособность существующих сооружений и накопленный опыт их эксплуатации.
2. снизить капитальные затраты и риски, связанные с полной заменой оборудования;

3. обеспечить стабильно высокое качество очищенной воды, достаточное как для сброса в водоём, так и для организации оборотного водоснабжения;

4. в дальнейшем, при необходимости, перейти к полной замене отстойников на МБР с использованием уже имеющегося опыта эксплуатации мембранных модулей.

Проведённый анализ работы биологических очистных сооружений участка НиОПСВ ПАО «Казаньоргсинтез» показал, что существующая схема с вторичными отстойниками обеспечивает требуемую стабильность качества очищенной воды, но не обеспечивает возможность ввода очищенного стока в систему оборотного водоснабжения. Сравнение двух вариантов модернизации с применением мембранного биореактора — полной замены отстойников и установки МБР в качестве ступени доочистки — свидетельствует, что оба подхода позволяют достичь нормативных показателей и создать условия для повторного использования воды в производственном цикле. Для условий действующего участка НиОПСВ на начальном этапе рекомендуется реализация варианта с доочисткой осветлённой воды после вторичных отстойников, что обеспечивает оптимальный баланс между капитальными затратами, эксплуатационной надёжностью и достигаемым качеством очистки. Дальнейшее развитие системы может предусматривать поэтапный переход к полной замене отстойников на МБР с учётом накопленного опыта.

Список литературы

1. Герасимов Г.Н. Мембранный биологический реактор BRM (опыт обработки промышленных и городских сточных вод) / Г.Н. Герасимов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 4, ч. 1. – С. 43–47.
2. Ильиных А.С. Мембранный биореактор в оборотном водоснабжении промышленных предприятий / А.С. Ильиных, Е.В. Мигалатий // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 10–14 дек. 2018 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – С. 676–679.
3. Мишуков Б.Г. Мембранные биологические реакторы для глубокой очистки сточных вод: учеб. пособие / Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2017. – 64 с.

4. Степанов А.С. Биомембранная и биосорбционно-мембранная очистка сточных вод нефтехимического производства / А.С. Степанов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 4 (26). – С. 258–262.
5. Степанов С.В. Технологический расчет аэротенков и мембранных биореакторов: учеб. пособие / С.В. Степанов. – Самара: СГАСУ, 2015. – 96 с.
6. Ходневский А.В. Аппаратурное оформление процесса очистки сточных вод в мембранных биореакторах / А.В. Ходневский, В.В. Кузьмин, В.С. Францевич // Нефтегазохимия – 2023: материалы VI Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и нефтегазопереработке (Минск, 1–3 нояб. 2023 г.). – Минск: БГТУ, 2023. – С. 184–188.
7. Ягафарова Г.Г. Совершенствование биологических очистных сооружений нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятий / Г.Г. Ягафарова, Л.Р. Акчурина, Л.А. Насырова, А.Х. Сафаров // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2019. – № 4. – С. 159–166.

Сравнительный анализ каталитического эффекта Cu^{2+} и Ni^{2+} , содержащихся в гальваностоках, в процессе окисления компонентов сернисто-щелочных сточных вод

Савельева А. В.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Савельев С. Н.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: исследовано влияние различных концентраций Cu^{2+} и Ni^{2+} , содержащихся в гальваностоках на интенсивность окисления поллютантов сернисто-щелочной сточной воды (СЩСВ). Выявлены оптимальные условия очистки СЩСВ – окисление поллютантов озоном в течение 60 минут с содержанием 200 мг/дм³ Cu^{2+} , которые позволили достичь наилучшую степень очистки, равную 85,8 %.

Ключевые слова: сернисто-щелочная сточная вода, очистка, углеводороды, Cu^{2+} -содержащий гальваносток, Ni^{2+} -содержащий гальваносток, окисление, кислород воздуха, озono-воздушная смесь

Химическая и нефтехимическая отрасли промышленности оказывают значительное воздействие на окружающую среду, особенно за счёт высококонцентрированных сточных вод, включая сернисто-щелочные (СЩСВ), содержащие в своем составе токсичные углеводороды (бензол, толуол, стирол и др.) [1–7]. Непосредственный сброс указанных вод на биологические очистные сооружения (БОС) без предварительной очистки невозможен ввиду высоких показателей химического потребления кислорода (ХПК), pH и щёлочности [8–10].

Недостаточная очистка сточных вод приводит к поступлению загрязняющих веществ в поверхностные воды. Это провоцирует дефицит растворённого кислорода и нарушает способность водоёмов к естественному самоочищению, создавая угрозу для водных экосистем [11, 12].

Традиционные методы очистки СЩСВ энергозатратны, требуют дорогих реагентов или образуют токсичные газы. Перспективной альтернативой является жидкофазное каталитическое окисление с использованием ионов тяжёлых

металлов из промышленных отходов. Такой подход повышает эффективность очистки и способствует утилизации образующихся токсичных отходов [13–36].

Цель исследования – сравнить каталитический эффект Cu^{2+} и Ni^{2+} , содержащихся в гальваностоках, в процессе окисления компонентов сернисто-щелочных сточных вод.

Объектами исследования являлась СЩСВ, прошедшая стадию высаждения сульфид-ионов путем добавления Cu^{2+} , содержащихся в гальваностоке с последующем фильтровании раствора по методике, представленной в работе [5] и Ni^{2+} -, Cu^{2+} -содержащие гальваностоки. Исходное значение ХПК исследуемой СЩСВ составляло 1049 мг О/дм³, а значение свободной щелочности – 293 мг-экв/дм³.

Характеристика объектов исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика СЩСВ и Cu^{2+} -, Ni^{2+} -содержащих гальваностоков

Виды сточных вод	ХПК, мг О/дм ³	Щелочность/ кис- лотность*, мг-экв/ дм ³	Концентрация ИТМ, мг/дм ³
СЩСВ после стадии высажде- ния сульфид-ионов	1049	293	–
Ni^{2+} -содержащий гальвано- сток	497	885,5*	23600
Cu^{2+} -содержащий гальвано- сток	275	279,8*	8238

Обработка сточной воды озono-воздушной смесью (ОВС) осуществлялась на лабораторной установке, состоящей из узла компримирования, блока осушки и очистки воздуха, озонатора, реактора-окислителя [8].

В отобранных пробах после 15, 30, 45, 60 минут обработки окислителем определяли значения ХПК и щелочности. Эксперименты по каталитическому окислению компонентов СЩСВ отличались от контрольного только добавленным количеством Cu^{2+} или Ni^{2+} , содержащихся в гальваностоках.

Результаты окисления углеводов ОВС в течение 60 минут, с добавлением различных концентраций Cu^{2+} и Ni^{2+} , содержащихся в гальваностоках представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты обработки компонентов СЦСВ озono-воздушной смесью (ОВС)
с применением Cu^{2+} и Ni^{2+} -содержащихся гальваностоках в качестве
катализаторов в течение 60 минут**

Вид металла	Концентрация металла, мг/дм ³	ХПК, мг О/дм ³	Степень очистки по значению ХПК на стадии окисления
Cu^{2+}	0	518,3	50,6
	12,5	296	71,8
	25	296	71,8
	50	352	66,4
	200	149	85,8
	400	215,2	79,5
	600	215,2	79,5
	800	448	57,3
	1000	368	64,9
Ni^{2+}	0	606	42,2
	12,5	334	68,1
	25	372	64,5
	50	523	50,1
	200	310	70,4
	400	222	78,8
	600	543	48,2
	800	489	53,4
	1000	277	73,6

Исходя из данных таблицы видно, что наибольшие степени очистки по значению ХПК, равные 85,8 % и 78,8 %, в процессе окисления компонентов СЦСВ в течение 60 минут достигаются при применении в качестве катализатора Cu^{2+} и Ni^{2+} в концентрации 200 и 400 мг/дм³ соответственно.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что при обработке СЦСВ ОВС наилучший каталитический эффект в процессе окисления поллютантов выявлен при добавлении Cu^{2+} , по сравнению с Ni^{2+} , поскольку разница степеней очистки составила 7%.

Таким образом, в настоящей работе показана перспективность применения в процессе окисления углеводородов сточных вод Ni^{2+} и Cu^{2+} , содержащихся в гальваностоках. Установлено, что наибольший эффект очистки выявлен при использовании в качестве катализатора Cu^{2+} в концентрации 200 мг/дм³, по сравнению с применением Ni^{2+} , позволивший достичь наибольшую степень очистки по значению ХПК на стадии окисления углеводородов ОВС в течение 60 мин, равной 85,8 %.

Список литературы

1. Савельев С.Н. Интенсификация очистки сточных вод химических производств от углеводородов окислительными методами. Дисс. канд. тех. наук. КГТУ, Казань, 2008. – 125 с. – Текст: непосредственный.
2. Ягафарова Г.Г. Биоаккумуляция органических загрязнений с использованием высших водных растений / Г.Г. Ягафарова, Ю.А. Сухарева, Л.Ф. Коржова, Н.И. Фатихова, С.В. Леонтьева, В.В. Микулик // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – №1. – С. 169-172. – Текст: непосредственный.
3. Савельев С.Н. Исследование коагуляционно-флокуляционной очистки сточной воды производства органического синтеза / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Вестник Казанского технологического университета. – 2018. – № 1. – С. 173–176. – Текст: непосредственный.
4. Савельев С.Н. Оценка возможности совместной очистки сернисто-щелочных сточных вод и отработанных гальванических растворов / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, О.О. Тазова, С.В. Фридланд // Безопасность жизнедеятельности. – 2018. – № 6. – С. 48–50. – Текст: непосредственный.
5. Savelyev S.N. Integrated sulfide alkali wastewater treatment using spent galvanic solutions / S.N. Savelyev, A.V. Savelyeva, R.R. Anamova, S.V. Fridland // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – 815(1). – 012035. – Текст: непосредственный.
6. Савельева А.В. Исследование влияния сверхнизких концентраций N,N'-дифенилгуанидиниевой соли ди(гидроксиметил)фосфиновой кислоты на интенсивность окисления углеводородов, содержащихся в сернисто-щелочной сточной воде / А.В. Савельева, С.Н. Савельев, А.Ф. Загитова, С.В. Фридланд, Е.А. Дмитриева // Вестник Казанского технологического университета. – 2017 – № 13. – С. 137–139. – Текст: непосредственный.

7. Савельев С.Н. Совместная очистка сточных вод пиролиза углеводородного сырья и гальваносток / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Журнал экологии и промышленной безопасности. – 2016. – № 2. – С. 15–18. – Текст: непосредственный.
8. Савельева А.В. Очистка сернисто-щелочных сточных вод органического синтеза с применением гальваносток. Дисс. канд. тех. наук. КНИТУ, Казань, 2020. – 144 с. – Текст: непосредственный.
9. Савельев С.Н. Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод озонированием с добавлением оксида никеля (II) / С.Н. Савельев, Р.Р. Ахметова, А.В. Савельева, И.Г. Шайхиев // Материалы Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка технологического сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология», г. Белгород. – 2021 г. – С. 152–155. – Текст: непосредственный.
10. Савельев С.Н. Исследование влияния ионов никеля (II), содержащихся в отработанных гальванических растворах, на эффективность очистки сернисто-щелочной сточной воды окислительными методами / Савельев С.Н., Савельева Р.И., Савельева А.В. // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 2. – С. 30–33. – Текст: непосредственный.
11. Шейнкман Л.Э. Усовершенствованные окислительные процессы очистки промышленных сточных вод / Л.Э. Шейнкман, Л.Н. Савинова, Д.В. Дергунов, В.Б. Тимофеева // Экология и промышленность России. 2015. №6. С. 32-36. – Текст: непосредственный.
12. Zheng C. Treatment technologies for organic wastewater // Water treatment / Book edited by Walid Elshorbagy and Rezaul Kabir Chowdhury. InTech. 2013. С. 249-286. – Текст: непосредственный.
13. Савельева А.В. Исследование процесса окисления компонентов сернисто-щелочной сточной воды с использованием в качестве катализатора Ni²⁺-содержащего гальваностока / А.В. Савельева, С.Н. Савельев, А.С. Левин, С.В. Фридланд // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. – 2019. – № 4. – С. 415–420. – Текст: непосредственный.
14. Савельев С.Н. Очистка сернисто-щелочных сточных вод с применением в качестве реагентов медьсодержащих сточных вод гальванического

- производства / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд, И.Г. Шайхиев // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды», г. Белгород. – 2018 г. – С. 194–199. – Текст: непосредственный.
15. Савельев С.Н. Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод от сульфидов с применением гальваносток / С.Н. Савельев, Савельева А.В., С.В. Фридланд // Материалы XVII Международной научной конференции «Химия и инженерная экология», г. Казань. – 2017 г. – С.311–314. – Текст: непосредственный.
 16. Ямалтдинова Э.Ф. Очистка сернисто-щелочных сточных вод окислительными методами / Э.Ф. Ямалтдинова, С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Вестник Технологического университета. – 2019. – № 8. – С. 117–119. – Текст: непосредственный.
 17. Савельев С.Н. Влияние ионов меди (II), содержащихся в отработанных гальванических растворах, на эффективность очистки сточных вод производства этилена окислительными методами / С.Н. Савельев, В.С. Измайлова, Савельева А.В. // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т.26, № 7. – С. 37-42. – Текст: непосредственный.
 18. Савельев С.Н. Исследование процесса окисления углеводородов в сточных водах органического синтеза кислородом воздуха с применением железосодержащего гетерогенного катализатора / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 18. – С. 182–184. – Текст: непосредственный.
 19. Савельев С.Н. Интенсификация очистки сточных вод пиролиза / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Материалы V Международной научной конференции «Теория и практика массообменных процессов химической технологии. (Марушкинские чтения)», г. Уфа. – 2016. – С. 203–204. – Текст: непосредственный.
 20. Савельев С.Н. Интенсификация очистки сточной воды от углеводородов окислительными методами применением в качестве катализатора стоков гальванопроизводства / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Безопасность жизнедеятельности. – 2015. – № 1. – С. 40–44. – Текст: непосредственный.

21. Савельева А.В. Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод окислительными методом с применением гетерогенного катализатора / А.В. Савельева, С.Н. Савельев // Сборник докладов VII Всероссийской научно-практической конференции «Техносферная безопасность в XXI веке» г. Иркутск. – 2017 г. – С. 308–311. – Текст: непосредственный.
22. Конорев О.А. Переработка отходов хлорорганических производств методом каталитического окисления / О.А. Конорев, Л.Н. Занавескин, А.Л. Сурис, Я.Л. Ускач // Экология и промышленность России. – 2003. – № 1. – С. 8–11. – Текст: непосредственный.
23. Галстян С. Г. Кинетика и механизм каталитической реакции озона с толуолом в среде уксусного ангидрида / С.Г. Галстян, Н.Ф. Тюпало, А.Г. Галстян // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 1/9. – С. 27–29. – Текст: непосредственный.
24. Савельев С.Н. О влиянии природы катализаторов на результат озонирования углеводородов в сточной воде / С.Н. Савельев, Р.Н. Зиятдинов, С.В. Фридланд // Безопасность жизнедеятельности. – 2008. – №11. – С. 35–40. – Текст: непосредственный.
25. Фаттахова А. М. Катализаторы для процесса окисления в водной среде / А.М. Фаттахова, Ю.Ф. Абдрахманова, А.Г. Кирсанова, Р.И. Хангильдин, В.А. Мартяшева, Г.М. Шарафутдинова // Башкирский химический журнал. – 2010. – № 5. – С. 16–20. – Текст: непосредственный.
26. Савельев С.Н. Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод и медьсодержащих отработанных гальванических растворов химическими методами / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, Биктагиров А.Э., С.В. Фридланд // Вода: химия и экология. – 2018. – № 1–3. – С. 55–61. – Текст: непосредственный.
27. Савельев С.Н. Исследование очистки сернисто-щелочной сточной воды от углеводородов окислительными методами / С.Н. Савельев, Е.О. Якушина, А.В. Савельева // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования», г. Белгород. – 2020. – С. 75–77. – Текст: непосредственный.
28. Савельев С.Н. Интенсификация очистки сернисто-щелочных сточных вод применением соединений металлов переменной валентности /

- С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире», г. Казань. – 2021 г. – С. 390–395. – Текст: непосредственный.
29. Савельев С.Н. Интенсификация очистки сточных вод процесса пиролиза углеводородного сырья / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии», г. Нижнекамск. – 2016. – С. 253–254. – Текст: непосредственный.
30. Савиных Д.С. Синтез и исследование катализаторов для жидкофазного окисления органических веществ / Д.С. Савиных, Конькова Т.В., Либерман Е.Ю., Почиталкина И. А., Перешивко О. П. // Успехи в химии и химической технологии. – 2008. – № 9. – С. 87–91. – Текст: непосредственный.
31. Мубаракшин А.А. Влияние оксида меди (II) и оксида никеля (II) на эффективность окисления углеводородов сернисто-щелочной сточной воды / А.А. Мубаракшин, С.Н. Савельев, А.В. Савельева // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2024. – С. 148-151. – Текст: непосредственный.
32. Савельева А.В. Влияние оксида меди (II) и оксида никеля (II) на эффективность окисления углеводородов сернисто-щелочной сточной воды / А.В. Савельева, С.Н. Савельев // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2024. – С. 189-192. – Текст: непосредственный.
33. Сиделева А.А. Влияние ионов никеля (II) и меди (II) на эффективность окисления загрязняющих веществ сточной воды производства тиокола / А.А. Сиделева, С.Н. Савельев, А.В. Савельева // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2024. – С. 223-226. – Текст: непосредственный.
34. Акберова А.Р. Влияние ионов никеля (II) и меди (II) на эффективность окисления углеводородов сернисто-щелочной сточной воды / А.Р. Акберова, С.Н. Савельев, А.В. Савельева // Материалы Всероссийской научной

конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2024. – С. 31-33. – Текст: непосредственный.

35. Савельева А.В. Очистка сернисто-щелочных сточных вод окислительным методом с применением ионов металлов, содержащихся в гальванических сточных водах/ А.В. Савельева, С.Н. Савельев // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2025. – С. 214-223. – Текст: непосредственный.
36. Савельева А.В. Интенсификация очистки сточных вод производства этилена окислительным методом применением Cu^{2+} -содержащего гальваностока / А.В. Савельева, С.Н. Савельев // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2025. – С. 224-232. – Текст: непосредственный.

Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод химическими методами с применением каталитических систем

Савельева А. В.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Савельев С. Н.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: показано, что применение Cu^{2+} -содержащего ОГР в качестве катализатора окислительного процесса приводит к увеличению эффективности окисления кислородом воздуха поллютантов сернисто-щелочной сточной воды на 4,2 %, по сравнению с контрольным экспериментом.

Ключевые слова: сернисто-щелочные сточные воды, Cu^{2+} -содержащий отработанный гальванический раствор, очистка, сульфид-ионы, углеводороды, окисление, кислород воздуха

Особо значимую экологическую проблему представляет очистка сернисто-щелочных сточных вод (СЩСВ), образующихся после промывки пирогаза от углеводородов и кислых компонентов на предприятиях химической и нефтехимической отраслей промышленности [1–4].

Ввиду того, что СЩСВ содержат высокие концентрации органических веществ, сульфидов, которые обуславливают высокие значения ХПК и щелочность, отправлять такие сточные воды на дальнейшую доочистку на биологические очистные сооружения недопустимо. В связи с этим, предприятие должно предусмотреть узлы локальной очистки указанных сточных вод [5–12].

Ранее проведенными работами показано, что использование окислительных методов позволяет эффективно очищать СЩСВ от углеводородов и сульфидов-ионов [13–30].

В настоящее время также особую актуальность приобретают исследования в области применения ионов металлов переменной валентности, содержащихся в отходах гальванического производства в качестве катализатора [31–35].

Целью настоящей работы являлось изучение эффективности очистки СЩСВ от углеводов химическим методом с применением Cu^{2+} , содержащего в отработанном гальваническом растворе (ОГР).

Объектом исследования являлась СЩСВ, прошедшую стадию осаждения сульфид-ионов Cu^{2+} -содержащим гальваностоком по методике, представленной в работе [5]. Исходное значение ХПК исследуемой воды составляло 1049 мг $\text{O}/\text{дм}^3$, а значение свободной щелочности – 293 мг-экв/ дм^3 .

Обработка сточной воды кислородом воздуха осуществлялась на лабораторной установке, состоящей из узла компримирования, блока осушки и очистки воздуха, озонатора, реактора-окислителя [9].

Определяли значения ХПК в исходном образце, а также в отобранных пробах через каждые 15 минут в течение одного часа обработки окислителями исследуемой сточной воды.

Проведенные исследования показали, что добавление Cu^{2+} -содержащего ОГР приводит к наибольшему снижению значения ХПК с 1049 до 983 мг $\text{O}_2/\text{дм}^3$, что на 4,2 % больше по степени очистки по сравнению с контрольным экспериментом.

Таким образом показано, что применение Cu^{2+} -содержащего ОГР в качестве катализатора окислительного процесса приводит к увеличению эффективности окисления кислородом воздуха поллютантов сернисто-щелочной сточной воды на 4,2 %, по сравнению с контрольным экспериментом.

Список литературы

1. Бадикова А.Д. Поиск путей очистки сернисто-щелочных стоков нефтеперерабатывающих предприятий / А.Д. Бадикова, А.Р. Мурзакова, Ф.Х. Кудашева, М.А. Цадкин, Р.Н. Гимаев – Текст электронный // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело» – 2005. – № 2. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Badikova/Badikova_1.pdf (дата обращения: 02.07.2019).
2. Савельев С.Н. Интенсификация очистки сточных вод химических производств от углеводов окислительными методами. Дисс. канд. тех. наук. КГТУ, Казань, 2008. – 125 с. – Текст непосредственный.
3. Ягафарова Г.Г. Биоаккумуляция органических загрязнений с использованием высших водных растений / Г.Г. Ягафарова, Ю.А. Сухарева,

- Л.Ф. Коржова, Н.И. Фатихова, С.В. Леонтьева, В.В. Микулик // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – №1. – С. 169-172. – Текст непосредственный.
4. Савельев С.Н. Исследование коагуляционно-флокуляционной очистки сточной воды производства органического синтеза / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Вестник Казанского технологического университета. – 2018. – № 1. – С. 173–176. – Текст непосредственный.
 5. Савельев С.Н. Оценка возможности совместной очистки сернисто-щелочных сточных вод и отработанных гальванических растворов / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, О.О. Тазова, С.В. Фридланд // Безопасность жизнедеятельности. – 2018. – № 6. – С. 48–50. – Текст непосредственный.
 6. Савельева А.В. Исследование влияния сверхнизких концентраций N,N/-дифенилгуанидиеновой соли бис(гидроксил)метиловой кислоты на интенсивность окисления углеводов, содержащихся в сернисто-щелочной сточной воде / А.В. Савельева, С.Н. Савельев, А.Ф. Загитова, С.В. Фридланд, Е.А. Дмитриева // Вестник Казанского технологического университета. – 2017 – № 13. – С. 137–139. – Текст непосредственный.
 7. Savelyev S.N. Integrated sulfide alkali wastewater treatment using spent galvanic solutions / S.N. Savelyev, A.V. Savelyeva, R.R. Anamova, S.V. Fridland // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – 815(1). – 012035. – Текст непосредственный.
 8. Савельев С.Н. Совместная очистка сточных вод пиролиза углеводородного сырья и гальваностокков / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Журнал экологии и промышленной безопасности. – 2016. – № 2. – С. 15–18. – Текст непосредственный.
 9. Савельева А.В. Очистка сернисто-щелочных сточных вод органического синтеза с применением гальваностокков. Дисс. канд. тех. наук. КНИТУ, Казань, 2020. – 144 с. – Текст непосредственный.
 10. Савельев С.Н. Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод озонированием с добавлением оксида никеля (II) / С.Н. Савельев, Р.Р. Ахметова, А.В. Савельева, И.Г. Шайхиев // Материалы Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка технологического сырья: фундаментальные проблемы науки,

- материаловедение, химия и биотехнология», г. Белгород. – 2021 г. – С. 152–155. – Текст непосредственный.
11. Савельев С.Н. Исследование влияния ионов никеля (II), содержащихся в отработанных гальванических растворах, на эффективность очистки сернисто-щелочной сточной воды окислительными методами / Савельев С.Н., Савельева Р.И., Савельева А.В. // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 2. – С. 30–33. – Текст непосредственный.
 12. Ямалтдинова Э.Ф. Очистка сернисто-щелочных сточных вод окислительными методами / Э.Ф. Ямалтдинова, С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Вестник Технологического университета. – 2019. – № 8. – С. 117–119. – Текст непосредственный.
 13. Савельев С.Н. Влияние ионов меди (II), содержащихся в отработанных гальванических растворах, на эффективность очистки сточных вод производства этилена окислительными методами / С.Н. Савельев, В.С. Измайлова, Савельева А.В. // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т.26, № 7. – С. 37-42. – Текст непосредственный.
 14. Савельев С.Н. Исследование процесса окисления углеводов в сточных водах органического синтеза кислородом воздуха с применением железосодержащего гетерогенного катализатора / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – № 18. – С. 182–184. – Текст непосредственный.
 15. Савельев С.Н. Интенсификация очистки сточных вод пиролиза / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Материалы V Международной научной конференции «Теория и практика массообменных процессов химической технологии. (Марушкинские чтения)», г. Уфа. – 2016. – С. 203–204. – Текст непосредственный.
 16. Савельева А.В. Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод окислительными методом с применением гетерогенного катализатора / А.В. Савельева, С.Н. Савельев // Сборник докладов VII Всероссийской научно-практической конференции «Техносферная безопасность в XXI веке» г. Иркутск. – 2017 г. – С. 308–311. – Текст непосредственный.
 17. Савельев С.Н. Особенности каталитической очистки сточных вод озонированием / С.Н. Савельев, Р.Н. Зиятдинов, С.В. Фридланд // Вестник

Казанского технологического университета. – 2008. – №6. – С. 48–54. – Текст непосредственный.

18. Арбузова П.О. Интенсификация биологической очистки сернисто-щелочных сточных вод предварительным озонированием / П.О. Арбузова, С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей среды: фундаментальные и прикладные исследования», г. Белгород. – 2019. – С. 125–130. – Текст непосредственный.
19. Савельев С.Н. Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод и медьсодержащих отработанных гальванических растворов химическими методами / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, Биктагиров А.Э., С.В. Фридланд // Вода: химия и экология. – 2018. – № 1–3. – С. 55–61. – Текст непосредственный.
20. Савельева А.В. Исследование процесса окисления компонентов сернисто-щелочной сточной воды с использованием в качестве катализатора Ni^{2+} -содержащего гальваностока / А.В. Савельева, С.Н. Савельев, А.С. Левин, С.В. Фридланд // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. – 2019. – № 4. – С. 415–420. – Текст непосредственный.
21. Савельев С.Н. Очистка сернисто-щелочных сточных вод с применением в качестве реагентов медьсодержащих сточных вод гальванического производства / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд, И.Г. Шайхиев // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды», г. Белгород. – 2018 г. – С. 194–199. – Текст непосредственный.
22. Савельев С.Н. Исследование очистки сернисто-щелочных сточных вод от сульфидов с применением гальваносток / С.Н. Савельев, Савельева А.В., С.В. Фридланд // Материалы XVII Международной научной конференции «Химия и инженерная экология», г. Казань. – 2017 г. – С.311–314. – Текст непосредственный.
23. Савельев С.Н. О влиянии природы катализаторов на результат озонирования углеводов в сточной воде / С.Н. Савельев, Р.Н. Зиятдинов,

- С.В. Фридланд // Безопасность жизнедеятельности. – 2008. – №11. – С. 35-40. – Текст непосредственный.
24. Савельев С.Н. Исследование очистки сернисто-щелочной сточной воды от углеводородов окислительными методами / С.Н. Савельев, Е.О. Якушина, А.В. Савельева // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования», г. Белгород. – 2020. – С. 75–77. – Текст непосредственный.
25. Савельев С.Н. Интенсификация очистки сернисто-щелочных сточных вод применением соединений металлов переменной валентности / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире», г. Казань. – 2021 г. – С. 390–395. – Текст непосредственный.
26. Савельев С.Н. Интенсификация очистки сточных вод процесса пиролиза углеводородного сырья / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, С.В. Фридланд // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии», г. Нижнекамск. – 2016. – С. 253–254. – Текст непосредственный.
27. Мубаракшин А.А. Влияние оксида меди (II) и оксида никеля (II) на эффективность окисления углеводородов сернисто-щелочной сточной воды / А.А. Мубаракшин, С.Н. Савельев, А.В. Савельева // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2024. – С. 148-151. – Текст непосредственный.
28. Савельева А.В. Влияние оксида меди (II) и оксида никеля (II) на эффективность окисления углеводородов сернисто-щелочной сточной воды / А.В. Савельева, С.Н. Савельев // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2024. – С. 189-192. – Текст непосредственный.
29. Сиделева А.А. Влияние ионов никеля (II) и меди (II) на эффективность окисления загрязняющих веществ сточной воды производства тиокола / А.А. Сиделева, С.Н. Савельев, А.В. Савельева // Материалы Всероссийской

- научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2024. – С. 223-226. – Текст непосредственный.
30. Акберова А.Р. Влияние ионов никеля (II) и меди (II) на эффективность окисления углеводородов сернисто-щелочной сточной воды / А.Р. Акберова, С.Н. Савельев, А.В. Савельева // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2024. – С. 31-33. – Текст непосредственный.
31. Сиделева А.А. Утилизация гальванических отходов для интенсификации очистки сточных вод от углеводородов / А.А. Сиделева, С.Н. Савельев, А.В. Савельева // Материалы Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология», г. Белгород. – 2024. – С. 140–142. – Текст непосредственный.
32. Мубаракшин А.А. Получение катализаторов оксида меди (II) и оксида никеля (II) из отходов производств и изучение их эффективности в процессе окисления углеводородов / А.А. Мубаракшин, С.Н. Савельев, А.В. Савельева // Материалы Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология», г. Белгород. – 2024. – С. 100–102. – Текст непосредственный.
33. Акберова А.Р. Очистка сточных вод от углеводородов с использованием отработанных гальванических растворов / А.Р. Акберова, С.Н. Савельев, А.В. Савельева // Материалы Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология», г. Белгород. – 2024. – С. 74–76. – Текст непосредственный.
34. Савельева А.В. Очистка сернисто-щелочных сточных вод окислительным методом с применением ионов металлов, содержащихся в гальванических сточных водах/ А.В. Савельева, С.Н. Савельев // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные

технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2025. – С. 214-223. – Текст: непосредственный.

35. Савельева А.В. Интенсификация очистки сточных вод производства этилена окислительным методом применением Cu^{2+} -содержащего гальваностока / А.В. Савельева, С.Н. Савельев // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», г. Казань. – 2025. – С. 224-232. – Текст: непосредственный.

Опыт флокуляционной очистки речной воды

Садоян Р. Б.

Преподаватель

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Карловская И. В.

Студент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Сомин В. А.

Заведующий международной кафедрой ЮНЕСКО «Инженерная экология»

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Аннотация: проведен анализ проб воды рек Барнаулки и Оби на наличие взвешенных веществ, органических примесей, а также светопропускаемость на спектрофотометре ПЭ-5400УФ турбидиметрическим методом. Изучена возможность применения флокулянтов полиакриламид и полиДАДМАХ для снижения показателей мутности речной воды.

Ключевые слова: флокулянты, мутность, взвеси, полиакриламид, полиДАДМАХ

В современном мире невозможно переоценить важность такого ресурса, как пресная вода, которая используется в промышленности, сельском хозяйстве и для удовлетворения бытовых нужд населения. Основными источниками пресной воды в Алтайском крае являются поверхностные и подземные водные источники. В черте города Барнаула протекают 2 реки: Обь и Барнаулка. Из них отбирались пробы воды и анализировались на наличие взвесей, органических примесей, а также уровень светопропускаемости. Пробы были отобраны из каждой реки в разных местах в мае 2025 года.

Отдельно оценивалось уплотнение илового осадка под влиянием различных флокулянтов. Очистка воды с использованием флокулянтов основана на эффекте укрупнения взвешенных частиц путем создания между ними молекулярных мостиков, которыми выступают высокомолекулярные соединения (флокулянты) [1].

Флокуляцию можно рассматривать как отдельный метод очистки, так и совместно с коагуляцией, при которой сначала взвеси дестабилизируются коагулянтom, а затем укрупняются путем добавления флокулянта.

По происхождению флокулянты можно разделить на 3 основные группы: основанные на активной кремниевой кислоте, полученные путем полимерного синтеза, и основанные на естественных природных соединениях [2].

Первая группа флокулянтов применяется достаточно редко и в основном в условиях естественных водоемов, так как оказывают меньшее влияние на окружающую среду, чем синтетические аналоги. Вторая группа находит наибольшее применение в промышленной очистке сточных вод. К третьей группе относятся флокулянты на основе крахмалов, хитина, и целлюлозы; они являются наиболее безопасными для окружающей среды. В данной работе исследовались флокулянты полиакриламид (ПАА) и полиДАДМАХ (ПДД). Несмотря на то, что синтетические флокулянты нежелательно применять для осаждения примесей в естественных водоемах, они часто используются для водоподготовки различных предприятий [3].

Анализ воды на общую минерализацию проводили согласно ПНД Ф 14.1:2:4.114-97 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации сухого остатка в питьевых, поверхностных и сточных водах гравиметрическим методом». Результаты анализа проб воды по сухому остатку представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание сухого остатка в пробах речной воды

Наименование образца	Сухой остаток (мг/дм ³)
Обь 1	380
Барнаулка 1	80
Обь 2	340
Барнаулка 2	170

Анализ воды на наличие взвешенных и прокаленных взвешенных веществ проводим согласно: ПНД Ф 14.1:2:4.254-09 ФР 1.31.2018.29036 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом». Усредненные из двух параллельных проб данные по содержанию взвешенных веществ представлены в таблице 2, по наличию прокаленных взвешенных веществ – в таблице 3.

Таблица 2

Содержание взвешенных веществ

Наименование пробы	Содержание взвешенных веществ (мг/дм ³)
Обь 1	93,2
Обь 2	104,8
Барнаулка 1	43,6
Барнаулка 2	57,2

Таблица 3

Содержание взвешенных прокаленных веществ

Наименование пробы	Содержание прокаленных взвешенных веществ (мг/дм ³)
Обь 1	17,12
Обь 2	16,72
Барнаулка 1	5,92
Барнаулка 2	7,52

Определение мутности проводили согласно ПНД Ф 14.1:2:3:4.213-05 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений мутности проб питьевых, природных поверхностных, природных подземных и сточных вод турбидиметрическим методом по коалину и по формазину» с применением формазина (ГСО 7271-96). Для разбавления использовалась бидистиллированная вода.

Для анализа воды на мутность использовали спектрофотометр ПЭ-5400УФ, измеряли в единицах мутности по формазину (ЕМФ). Полученные данные представлены в таблице 4.

Таблица 4

Показатели мутности воды в реках

Наименование образца	Показания спектрофотометра	Мутность (ЕМФ)
Обь 1	0,317	76,4
Обь 2	0,284	67,2
Барнаулка 1	0,142	27,6
Барнаулка 2	0,114	20,2

Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Общая минерализация рек соответствует показателям пресной воды.
2. Содержание взвешенных веществ в реке Обь почти в 2 раза превышает данный показатель в реке Барнаулка.
3. Показатель мутности в Оби значительно превышает этот показатель в Барнаулке, что коррелирует с показателями содержания взвешенных веществ. Хотя показатели мутности для технической воды не нормируются, обычно они находятся в пределах от 2, до нескольких десятков ЕМФ, в зависимости от специфики предприятия. Сама по себе мутность не является основной проблемой, однако она напрямую зависит от наличия в воде взвешенных веществ: песка, ржавчины, ила, что связано с риском преждевременного износа оборудования, а также необходимости постоянной его очистки.

Для снижения мутности речной были использованы следующие методы:

- отстаивание без добавления флокулянта;
- добавление полиакриламида;
- добавление полиДАДМАХа.

Процесс флокуляции проводился в течение 20 минут, доза флокулянта была подобрана в количестве 20 мг/л. Эффективность очистки оценивали по остаточной мутности. Результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5

Эффективность снижения мутности речной воды при использовании разных флокулянтов

Наименование пробы	Схема обработки	Остаточная мутность (ЕМФ)	Эффективность (%)
Обь 1	отстаивание	71,8	6,2
Обь 1	добавление ПАА	25,3	66,8
Обь 1	добавление ПДД	28,4	62,8
Обь 2	отстаивание	64,1	4,6
Обь 2	добавление ПАА	18,4	71,1
Обь 2	добавление ПДД	23,2	65,4

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что использование флокулянтов ПАА и ПДД способно значительно снизить показатели мутности, и, следовательно, содержание взвешенных веществ в речной воде.

Большую эффективность в данных условиях показал ПАА, эффективность очистки при использовании которого составила (65-75) %, против (60-70) % для ПДД. Полученную в ходе очистки воду, можно использовать в качестве технической на производстве.

Список литературы

1. Никаноров А.В., Минеева Т.С., Федоров С.Н. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ФЛОКУЛЯНТОВ «BESFLOC» // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=8207> (дата обращения: 3.04.2026).
2. Жолдакова З.И. Оценка санитарно-эпидемиологической безопасности флокулянтов, используемых для очистки питьевой воды / З. И. Жолдакова, О. О. Синицына, Е. А. Тульская // Гигиена и санитария. №5.– Москва, 2006. – С 44-46.
3. Ульрих Е. В. Использование флокулянтов для очистки сточных вод / Е.В. Ульрих, А. С. Баркова // Трансформация экосистем. №1. – Череповец, 2023. – С. 168-177.

Очистка модельных вод модифицированным глинистым сорбентом

Сапронова Ж. А.

Заведующий кафедрой промышленной экологии, доцент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Мурзаханов Я. А.

Аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Красникова Н. А.

Старший преподаватель
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Грибинюк Д. Е.

Студент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: показано, что загрязнение воды тяжелыми металлами является одной из наиболее острых экологических проблем в современном мире. Сорбционная очистка при помощи недорогих и распространенных материалов, таких как природные глины, является одним из наиболее распространенных методов удаления поллютантов. В работе проводились исследования по очистке модельных вод от ионов меди и никеля глиной, модифицированной УФ-излучением.

Ключевые слова: сорбент, глина, ионы меди и никеля, сточные воды

Загрязнение воды является одной из наиболее острых экологических проблем в современном мире. Основными источниками загрязнения являются промышленные стоки, сельскохозяйственные удобрения и бытовые отходы. В результате в водоёмах накапливаются тяжелые металлы, пестициды, органические соединения и патогенные микроорганизмы, что наносит ущерб экосистемам и здоровью человека [1].

На рис. 1, 2 приведены данные об уровнях загрязнения некоторых водных объектов Российской Федерации [2].

Проблема загрязнения тяжелыми металлами становится все более распространенной в глобальном масштабе. Тяжелые металлы устойчивы к разложению и могут накапливаться в организме людей и животных при попадании в пищевую цепь. Металлы могут попадать в окружающую среду естественным путем или в результате деятельности человека, включая утилизацию отходов, промышленное производство и добычу полезных ископаемых [3].

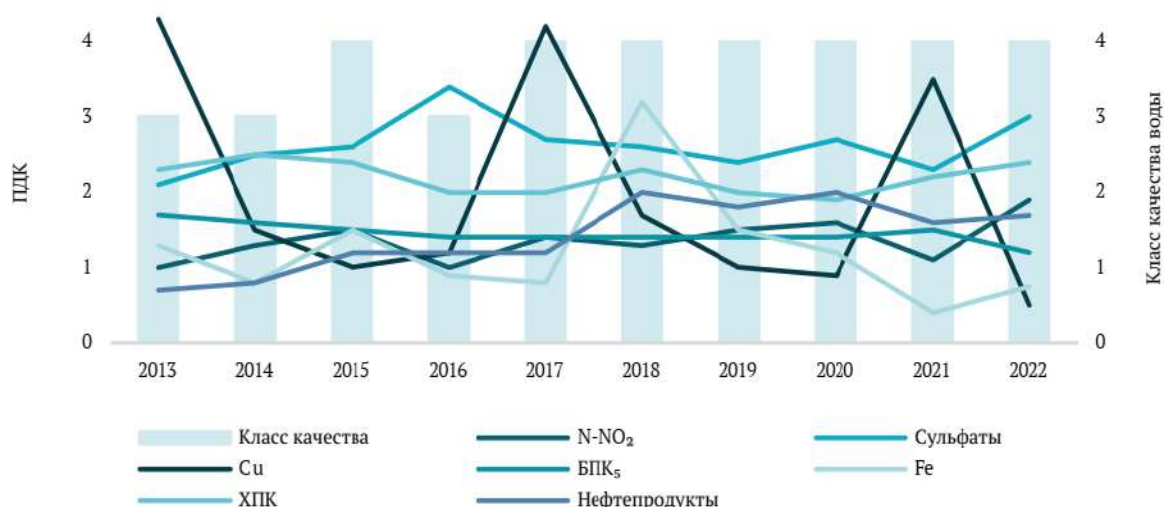


Рис. 1. Динамика среднегодовых концентраций отдельных загрязняющих веществ и качества воды р. Дон, ниже г. Ростова-на-Дону



Рис. 2. Динамика среднегодовых концентраций отдельных веществ и качества воды р. Волга, 5,5 км ниже г. Астрахани

Загрязнение тяжелыми металлами в водных источниках, особенно в грунтовых и поверхностных водах, представляет серьезную угрозу для населения [4].

Адсорбция является наиболее востребованным методом удаления ионов тяжёлых металлов благодаря своей высокой эффективности, простоте эксплуатации, наличию альтернативных адсорбентов, не образующих токсичных загрязнителей и её способности удалять загрязнители в экологически значимых концентрациях. Исследователи сосредоточились на поиске материалов с низкой стоимостью и высокой доступностью для использования в водоочистке [5].

Глинистые материалы достаточно дешевы и широко распространены, поэтому являются одними из лучших вариантов адсорбентов [6].

В ряде работ [7–9] подробно рассмотрено влияние различных методов активации на пористость, структурные характеристики и сорбционную способность глинистых минералов. Было установлено, что исходный минеральный и химический состав глины оказывает существенное влияние на эффективность модификации. Например, трепел легко активируется минеральными кислотами, при этом наиболее результативным является комбинированный кислотно-щелочной метод. Также отмечено, что температурные и кислотно-щелочные обработки позволяют регулировать размер пор и увеличить площадь активной поверхности в несколько раз.

Перспективным и экологически безопасным методом модификации природных глин является электромагнитная обработка, в частности ультрафиолетовое облучение. УФ-излучение, с длиной волн от 10 до 400 нм, способно активировать структуру глинистых минералов, увеличивая их сорбционную емкость [10].

Объектом исследований являлась глина месторождения Белгородской области пос. Орловка, которая имеет зеленоватый цвет и обладает тонкодисперсной структурой.

В качестве загрязнителей выступали ионы меди и никеля – распространенные поллютанты сточных вод.

Модельные растворы, содержащие ионы Ni^{2+} и Cu^{2+} , готовили путем растворения навесок солей, взятых на аналитических весах с точностью до 0,0002 г в дистиллированной воде. Для приготовления раствора, содержащего ионы Ni^{2+} , использовали соль $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, квалификация “Х.Ч.”. Для приготовления

раствора, содержащего ионы Cu^{2+} , использовали соль $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$, квалификация “Х.Ч.”.

Очистка модельных и сточных вод проводилась на лабораторной установке, работа которой базировалась на следующем принципе. В ёмкость с мешалкой заливался заранее подготовленный объём раствора или эмульсии с известной концентрацией загрязняющего вещества. В эту же ёмкость вводили реагентно-сорбционный материал. Время перемешивания фиксировалось с помощью секундомера. Контроль pH раствора осуществлялся при помощи pH-метра-милливольтметра (pH-150). После завершения процесса очистки модельные воды либо фильтровались через бумажный фильтр, либо оставлялись в отстойных цилиндрах объёмом 500 мл для осаждения взвешенных частиц.

Для расчёта степени очистки применялась следующая формула:

$$Y = \frac{C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}}{C_{\text{нач}}} * 100\%, \quad (1)$$

где Y – степень очистки раствора, %; $C_{\text{нач}}$ и $C_{\text{кон}}$ – концентрации загрязняющих веществ в растворе, мг/дм³, до и после очистки.

С целью увеличения сорбционной способности глины проводилось ее УФ-облучение при помощи медицинского кварцевого облучателя (модель ОУФК-01) с диапазоном длины волны 230-400 нм.

Для оценки влияния УФ-обработки глины на эффективность очистки проводились соответствующие эксперименты.

В экспериментах использовали медь- и никельсодержащие растворы исходной концентрации 20 мг/дм³, применяли фракцию глины $0,25 < \phi < 0,5$ мм, масса добавки навески составляла 1 г на 100 мл. Продолжительность УФ-обработки 10 мин, расстояние от источника УФ-излучения 8 см.

Результаты исследований, представленные на рис. 3, показывают, что после УФ-обработки наблюдается повышение эффективности очистки.

Целью дальнейшего исследования было исследование влияния продолжительности ультрафиолетовой обработки глины на эффективность водочистки медь- и никельсодержащих растворов.

Продолжительность ультрафиолетовой обработки глины 10 - 60 мин. Результаты исследований представлены на рис. 4.

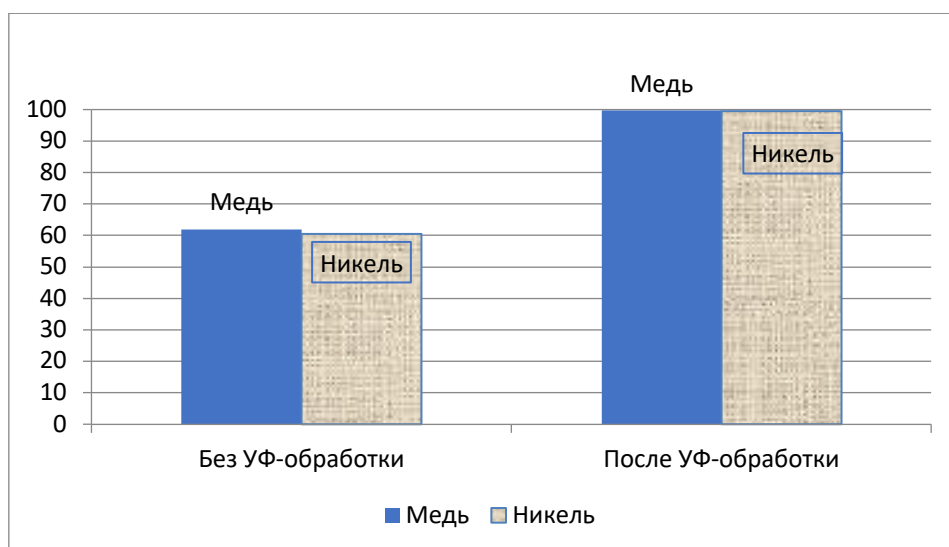


Рис. 3. Влияние УФ-обработки глины на эффективность очистки модельных растворов

Результаты экспериментов показывают, что для обоих исследуемых растворов с концентрациями ионов $[\text{Ni}^{2+}]$ и $[\text{Cu}^{2+}] = 10 \text{ мг/дм}^3$ высокая степень очистки достигается при продолжительности УФ-обработки за первые 15 мин контакта.

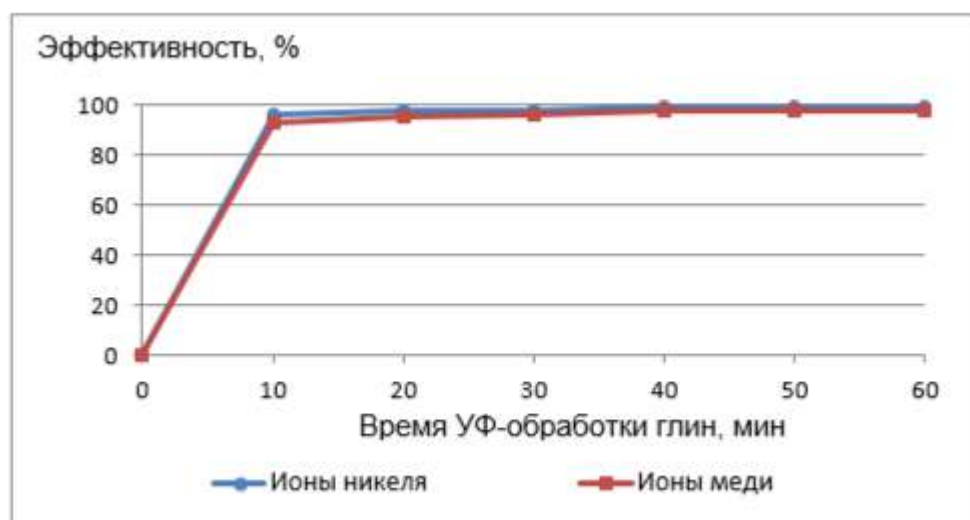


Рис. 4. Влияние длительности УФ-обработки глины на степень очистки модельных растворов

Таким образом, было установлено, что УФ-обработка глины месторождения Орловка Белгородской области значительно повышает эффективность

удаления ионов меди и никеля из водных растворов: примерно в 1,6 раз для обоих загрязнителей. Рекомендуемым временем облучения является 15 мин.

Такой способ модификации материалов является экологически безопасным, простым в оформлении и не создает вторичного загрязнения.

Список литературы

1. Water Quality and Wastewater / UN-Water. – 2025. – Режим доступа: <https://www.unwater.org/water-facts/water-quality-and-wastewater>
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023. – 686 с.
3. Singh V. Toxic heavy metal ions contamination in water and their sustainable reduction by eco-friendly methods: isotherms, thermodynamics and kinetics study / V. Singh, G. Ahmed, S. Vedika и др. // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – Art. 7595. – 14 p.
4. Zhang P. Water Quality Degradation Due to Heavy Metal Contamination: Health Impacts and Eco-Friendly Approaches for Heavy Metal Remediation / P. Zhang, M. Yang, J. Lan и др. // Toxics. – 2023. – Vol. 11. – Art. 828. – 20 p.
5. Khoshraftar Z. An insight into the potential of dolomite powder as a sorbent in the elimination of heavy metals: A review / Z. Khoshraftar, H. Masoumi, A. Ghaemi // Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. – 2023. – Vol. 7. – Art. 100276. – 21 p.
6. Reta Y.D. Adsorption of heavy metal ions from wastewater: a critical review / Y.D. Reta, T.D. Debelo Desissa, Y.M. Molla Desalegn // Desalination and Water Treatment. – 2023. – Vol. 315. – С. 413–431.
7. Трофимова Ф.А. Структурное и кристаллохимическое обоснование технологического модифицирования щелочноземельных бентонитов и бентонитоподобных глин: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.05 / Ф.А. Трофимова. – М., 2006. – 24 с.
8. Санников М.И. Химическое модифицирование бентонитов / М.И. Санников, М.С. Малеванный, И.М. Петрушка, О.П. Чайка // Вестник нац. ун-та «Львовский политехник». – 2001. – № 426.
9. Комаров В.С. Влияние условий синтеза на физико-химические свойства сорбентов на основе монтмориллонита и основных солей железа /

В.С. Комаров, А.С. Панасюгин, Н.И. Трофименко и др. // Коллоидный журнал. – 1995. – Т. 57. – № 1. – С. 51–54.

- 10 Дудина С.Н. Повышение сорбционной способности природных глин электромагнитной активацией: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.11 / С.Н. Дудина. – Белгород, 2008. – 156 с.

Сорбционная очистка воды от ионов никеля

Сапронова Ж. А.

Заведующий кафедрой промышленной экологии, доцент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Сафонов И. В.

Аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Михайлов В. Г.

Аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Хубатхузин А. А.

Доцент
Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье рассмотрена проблема загрязнения пресноводных экосистем ионами никеля, обладающими выраженным токсическим и канцерогенным действием, и обоснована необходимость разработки эффективных методов их удаления из сточных вод. Показано, что адсорбционная очистка является перспективным и универсальным подходом, особенно при использовании дешёвых и доступных материалов природного происхождения. В качестве сорбционного материала исследованы опилки дуба черешчатого (*Quercus robur*), модифицированные низкотемпературной плазмой пониженного давления. Установлено, что плазменная обработка позволяет увеличить сорбционную ёмкость опилок по ионам Ni^{2+} в 1,5 раза и достичь значения 0,142 ммоль/г. Исследовано влияние pH среды на эффективность очистки, при этом наилучшие показатели извлечения никеля наблюдаются в диапазоне pH 6–9. Показано, что температура раствора существенно влияет на сорбционный процесс, а оптимальный диапазон температур составляет 20–40 °С.

Ключевые слова: опилки дуба, сорбционный материал, обработка плазмой, очистка сточных вод, ионы никеля

Вода – необходимый ресурс для существования и базовая потребность как людей, так и всех живых организмов. Однако за последние годы качество воды серьёзно ухудшилось из-за постоянного роста населения, быстрой

механизации, разрастания городов и небрежного обращения с отходами. Тяжёлые металлы считаются одним из основных загрязнителей окружающей среды из-за их способности к накоплению в экосистемах [1].

Согласно данным Международного агентства по изучению рака, большинство соединений никеля, включая его сульфаты, хлориды, карбонаты и нитраты, классифицируются как токсичные и канцерогенные. В связи с этим возникает необходимость разработки эффективных методов удаления его избыточных концентраций из водных систем [2,3].

Традиционные методы обработки сточных вод, включая биологическую очистку и глубокое окисление, часто сталкиваются с ограничениями по эффективности, стоимости или адаптивности. В этом контексте адсорбционная технология становится принципиально важным и универсальным подходом к очистке сточных вод [4].

Адсорбция определяется как процесс, в котором адсорбат из газовой или жидкой фазы прикрепляется к поверхности твердой фазы (адсорбента) при контакте адсорбата с твердой фазой. Адсорбция является важным аспектом многих разнообразных процессов в химической и перерабатывающей промышленности, включая химические и биохимические реакции, очистку и фильтрацию, обработку газов и жидкостей и др. [5].

Опилки известны как широко распространенный природный адсорбент, поэтому их обычно используют для очистки почвы или воды от загрязняющих веществ. Этот материал привлекает большое внимание ученых, поскольку пригоден для удаления ионов тяжелых металлов, красителей, токсичных солей и т. д.

Использование опилок не только может быть полезным для очистки окружающей среды, но и открывает новый рынок для этих ценных отходов [6].

В работе в качестве сорбционного материала исследовались опилки дуба черешчатого (*Quercus robur*) крупностью 1-3 мм. Опилки подвергались обработке низкотемпературной плазмой пониженного давления на установке, изготовленной специалистами Казанского национального исследовательского технологического университета при следующих условиях: газ-носитель газ-носитель – воздух, расход газа 1500 см³/мин, давление 26,6 кПа, мощность 2250 Вт, время обработки – 5 минут. После обработки в плазмотроне, навески опилок помещались в сосуды с модельными растворами, содержащими ионы никеля,

и проводилась сорбционная очистка воды в статическом одноступенчатом режиме.

Концентрацию ионов Ni^{2+} в растворах до и после очистки определяли фотокolorиметрическим методом с диметилглиоксимом при длине волны 445 нм по методике РД 52.24.494-2006.

Было установлено, что величина сорбционной емкости при указанном режиме обработки составила 0,142 ммоль/г, что в 1,5 раз больше, чем у нативных опилок, поэтому дальнейшие исследования проводились с модифицированным материалом.

Значение pH оказывает влияние на множество аспектов сорбционного процесса: поверхностный заряд на частицах твердого вещества, состояние и реакционную способность загрязнителя, растворимость веществ и др.

Известно, что ионы тяжелых металлов при повышении pH начинают образовывать нерастворимые соединения, выпадающие в осадок.

На рис. 1 представлены данные об очистке модельных растворов никеля с использованием модифицированных опилок. Исходная концентрация ионов никеля – 91 мг/дм³. Количество добавляемого сорбента составляло 3 г/дм³.

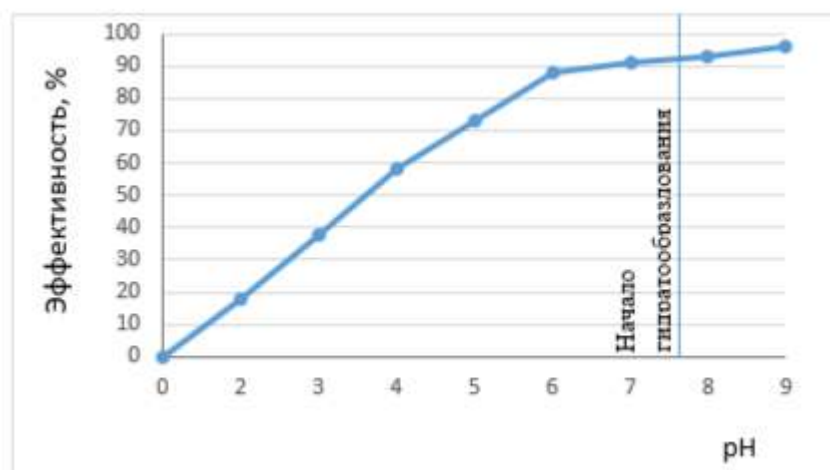


Рис. 1. Зависимость эффективности извлечения ионов никеля опилками дуба от pH среды

Лучшие показатели эффективности очистки находятся в диапазоне pH 6-9. После pH=7,7, происходит гидратообразование, что влияет на общую картину водоочистки. После pH=9,5 использование сорбционного материала не имеет смысла, поскольку ионы никеля должны перейти в осадок.

Температура раствора является одним из критически важных факторов, поскольку оказывает влияние на молекулярную подвижность, ускоряя или замедляя диффузию загрязнителей к поверхности сорбента; на сорбционную емкость сорбента; может повлиять на структуру сорбента и его пор, на активные центры на поверхности.

На рис. 2 представлены полученные результаты очистки растворов от ионов никеля при различных температурах водной среды.

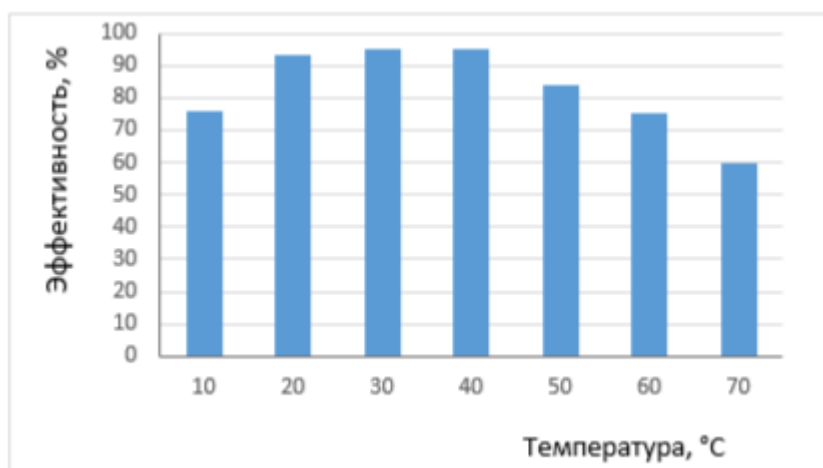


Рис. 2. Зависимость эффективности извлечения ионов никеля от температуры раствора

Как видно из полученных результатов, наиболее эффективно сорбционное взаимодействие происходит в диапазоне температур 20–40 °C, хотя при 50 °C эффективность все еще достаточно высока. Согласно современным представлениям о механизмах сорбционных взаимодействий, в указанном диапазоне для данного сорбционного материала скорость сорбции, обусловленная скоростью движения ионов и молекул сорбата в растворе, намного превышает скорость десорбции. При повышении температуры выше 50 °C, энергия движения становится столь значительна, что десорбция происходит более активно, ухудшая показатели эффективности водоочистки.

Таким образом, в ходе проведенного исследования подтверждена актуальность проблемы удаления ионов никеля из водных систем вследствие их высокой токсичности и канцерогенного воздействия. В качестве эффективного и экономически целесообразного сорбционного материала были изучены опилки дуба черешчатого, модифицированные низкотемпературной плазмой пониженного давления. Плазменная обработка позволила существенно

повысить сорбционную способность материала, увеличив сорбционную ёмкость по ионам Ni^{2+} в 1,5 раза по сравнению с нативными опилками. Установлено, что pH среды оказывает определяющее влияние на процесс адсорбции, а максимальная эффективность очистки достигается в диапазоне pH 6–9. Показано, что при значениях pH выше 9,5 сорбционный механизм теряет практическое значение вследствие осаждения соединений никеля. Исследование температурного фактора выявило оптимальный диапазон 20–40 °C. Использование древесных опилок позволяет одновременно решать задачи очистки вод и утилизации древесных отходов.

Список литературы

1. Saravanan P. Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment / P. Saravanan, V. Saravanan, R. Rajeshkannan и др. // *Environmental Research*. – 2024. – Vol. 258. – Art. 119440. – 20 p.
2. Li X. Adsorption of aqueous nickel ion by biomass carboxymethyl cellulose-doped boron nitride composites and its subsequent energy storage / X. Li, B. Wang, W. Zhang и др. // *Polymers*. – 2025. – Vol. 17. – Art. 567.
3. Kumar A. Remediation of nickel ion from wastewater by applying various techniques: a review / A. Kumar, A. Balouch, A.A. Pathan и др. // *Acta Chemica Malaysia (ACMY)*. – 2019. – Vol. 3. – Issue 1. – 15 p.
4. Hu Q. Adsorption technologies in wastewater treatment processes / Q. Hu, L. Hao // *Water*. – 2025. – Vol. 17. – Art. 2335.
5. Saleh T.A. Adsorption technology and surface science / T.A. Saleh // *Interface Science and Technology*. – 2022. – Vol. 34. – С. 39–64.
6. Mallakpour S. Sawdust, a versatile, inexpensive, readily available bio-waste: from mother earth to valuable materials for sustainable remediation technologies / S. Mallakpour и др. // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2021. – Vol. 295. – Art. 102492.

Методы очистки речных систем и их особенности

Сафиуллин Д. Ф.

Аспирант

ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Сафарова В. И.

Профессор

ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Фатьянова Е. В.

Доцент

ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Хатмуллина Р. М.

Доцент

ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Шайдулина Г. Ф.

Начальник отдела

ГБУ РБ Управление государственного аналитического контроля, г. Уфа

Аннотация: проведен обзор методов и способов очистки русел рек от загрязненных донных отложений. Описаны различные подходы и технологии: механизированная и гидромеханизированная, с применением различного оборудования, для разных условий и объемов работ. Показано, что методы очистки могут иметь как положительные, так и негативные последствия для речной экосистемы. В связи с этим подчёркивается важность учёта возможного негативного влияния на водоем при очистке водоёмов.

Ключевые слова: донные отложения, очистка русла реки, земснаряды

Ущерб, нанесенный хозяйственной деятельностью речным системам, в некоторых случаях достиг такого масштаба, что возникла острая необходимость не столько сохранять, сколько уже восстанавливать экосистемы. Экологическая реабилитация включает удаление мусора и донных отложений, аэрацию, внесение водорослей для предотвращения цветения и другие биологические методы, такие как создание биоплато и укрепление берегов.

Полное восстановление рек невозможно из-за необратимых изменений, но реки обладают способностью к самовосстановлению. Для этого необходимо

решать гидрологические, морфологические, биологические, химические и социальные проблемы в пределах водосборов.

Восстановление рек возможно в разных масштабах. Сначала решались проблемы очистки сточных вод и сохранения водных биоразнообразий. Однако даже полная очистка сточных вод не всегда приводит к нормативному качеству воды из-за длительного загрязнения водоемов.

Одним из эффективных методов улучшения экологии рек является удаление донных отложений. Физическое удаление ила считается наиболее действенным способом.

В некоторых странах, таких как Германия (река Рейн) и США (Великие Озера), оздоровление рек осуществлялось путем сокращения вредных стоков и очистки русел от загрязненных отложений. Этот двусторонний подход доказал свою эффективность.

Удаление донных отложений необходимо, когда их объем препятствует использованию водоема, содержит опасные концентрации загрязняющих веществ и вызывает вторичное загрязнение. Методы зависят от загрязненности, объема и распределения отложений, а также предварительной оценки экологической опасности.

После решения об изъятии донных отложений нужно определить объем и сроки работ по очистке водоема, выбрать метод земляных работ, место для временного хранения извлеченных отложений и так далее.

Сначала определяют объем донных отложений, подлежащих разработке, их распределение по руслу и глубине реки, а также степень загрязненности. Для этого в ключевых точках водоема бурят скважины, отбирая керны из каждого слоя донных отложений. Одновременно берут пробы воды и измеряют глубину.

Лабораторный анализ кернов включает определение химического состава донных отложений, уровня их загрязненности, в том числе тяжелыми металлами. Также измеряют удельный вес, гранулометрический состав, пределы текучести и пластичности.

На основе полученных данных строят геологические профили дна водоема. По этим профилям рассчитывают проектную отметку дна, до которой будут извлекаться донные отложения. Зная среднюю толщину и площадь залегания, вычисляют общий объем донных отложений.

$$V_{д.о} = h_{ср} \times \Omega, \quad (1)$$

где $V_{д.о}$ – объем донных отложений, подлежащих удалению, m^3 ; $h_{ср.}$ – мощность донных отложений, подлежащих удалению, m ; Ω – площадь залежи донных отложений, подлежащих удалению, m^2 .

В [1] предложен метод расчета объема загрязненных донных отложений в проточных водных объектах. Он основан на среднем годовом показателе взвесей, поступающих с территории города на одного жителя. Этот показатель учитывает плотность населения, хозяйственно-бытовые стоки, поверхностный сток, техногенную и антропогенную нагрузку, а также промышленные сточные воды. Объем аккумулированных отложений V_{oc} в водотоках урбанизированной территории можно определить по формуле:

$$V_{oc} = qNT, \quad (2)$$

где N – численность жителей города; T – период накопления загрязнений; q – среднестатистическая величина годового твердого стока равная $0,02 m^3$ на одного жителя в год.

Используя значение V_{oc} , можно вычислить толщину слоя отложений и протяженность загрязненных участков русла.

Методики расчета объема донных отложений в малых реках, куда сбрасывают сточные воды крупные промышленные предприятия, нет.

Для оценки экологической опасности загрязненных отложений, изымаемых при очистке речных русел, применяют методы биотестирования. Они включают оценку токсичности [2] и анализ изменений в составе биоты и токсичности проб ила [3].

На основании анализа состава, степени загрязненности и объема извлекаемых донных отложений разрабатывается стратегия их дальнейшего применения или утилизации.

Извлечение техногенных или природных донных отложений из водоема включает полное или частичное удаление наносов, накопившихся за определенное время [4]. Цели таких работ могут быть разными: углубление мелководных водоемов, удаление токсичных веществ и биогенных элементов, защита от наводнений и т.д. Очистка донных отложений может проводиться механизированным или гидромеханизированным способом [5]. Важно отметить, что это

дорогостоящее мероприятие [4], поэтому необходимость его проведения должна быть обоснована и подкреплена результатами предварительного обследования.

Механизированная разработка включает полное осушение водоема и извлечение обнажившихся донных отложений с помощью строительной техники. Воду откачивают промышленными насосами или компактными мотопомпами, которые перемещают вдоль реки. Донные отложения разрабатывают одноковшовыми экскаваторами типа драглайн и обратная лопата. Эти материалы перевозят самосвалами. В результате токсичные вещества вместе с отложениями вывозят за пределы водоема.

Этот метод действенный, но дорогостоящий. Он требует много техники, что увеличивает расходы на топливо и аренду. К тому же, он подходит только для зарегулированных водоемов и полностью разрушает сложившуюся экосистему.

При транспортировке часть донных отложений самосвалами или другими транспортными средствами до места захоронения теряется. Потери составляют от 1,5 % до 3 % от общей массы. Это может привести к загрязнению территории токсичными веществами, которые содержатся в донных отложениях.

Донные отложения удаляют и без полного опорожнения водоема с помощью гидромеханизации. Этот процесс включает выемку грунта со дна, что приводит к взмучиванию воды и загрязнению места проведения работ.

В последние десять лет прошлого века техника для гидромеханизированных работ на водных объектах почти не совершенствовалась. Применялись в основном старые машины, установленные на массивных металлических платформах. Работы проводились с использованием следующих методов:

- Канатно-скреперным методом с помощью лебедок и трелевочных машин. Этот способ применялся на малых реках и небольших водоемах.
- С использованием стандартной строительной техники: экскаваторы, бульдозеры, грузоподъемные механизмы. Этот метод применялся на водоемах с свободным доступом.
- С помощью технического флота: плавкраны, плавучие манипуляторы, землечерпательные снаряды. Этот метод использовался для очистки открытых участков рек и водоемов.

- С применением земснарядов и инжекторных машин. Этот способ подходит для транспортировки донных отложений по трубопроводам.

Сегодня существуют технологии, которые помогают снизить распространение взвешенных частиц в водоемах. Например, можно использовать защитные экраны из полимеров, которыми окружают зону работ [4].

Гидромеханизированная разработка с помощью земснарядов объединяет добычу донных отложений и их транспортировку на большие расстояния. Для рыхления грунта применяются вращающиеся фрезы с электрическим или гидравлическим приводом. Разрыхленный грунт вместе с водой всасывается грунтовыми насосами и по напорным трубам доставляется на иловые карты, предотвращающие растекание отложений. Скорость всасывания зависит от состава грунта, его связанности, наличия водной растительности и других факторов.

При гидромеханизированном удалении донных отложений водоем и прилегающая территория испытывают меньший стресс. Однако для того, чтобы донные отложения стали пригодными для гидротранспортировки, их нужно разбавлять водой. Это увеличивает объем перекачиваемых отложений в 2–5 раз по сравнению с естественным состоянием. Обычно содержание сухого вещества в пульпе не превышает 10%. Поэтому для работы земснаряда необходимо достаточное количество воды в водоеме.

В последние годы, из-за роста спроса на расчистку русел рек, особенно малых, а также на дноуглубительные работы, начали использовать более эффективную технику как импортного, так и отечественного производства [5].

Современные малогабаритные земснаряды отвечают следующим требованиям:

- Свободно перемещаться по суше, обводненному грунту и воде.
- Обладать запасом плавучести.
- Иметь прочное днище и рабочие органы, устойчивые к коррозии.
- Быть компактными.
- Легко обслуживаться и ремонтироваться.

Эти устройства идеально подходят для извлечения донных отложений из мелких рек, особенно при работе с песчаными, илистыми и супесчаными грунтами.

Земснаряды состоят из одного или нескольких понтонов с грунтовым насосом, грунтозаборной рамой, механизмами передвижения и системой управления.

Для небольших объемов работ лучше использовать миниземснаряды. Они разрабатывают и транспортируют грунт по пульпопроводу на место складирования. В этих устройствах в качестве грунтового насоса служат. Миниземснаряды перекачивают до 120 м³ пульпы в час и до 30 м³ песка. Их преимуществом является мобильность, точность и экономичность топлива [5].

Для очистки и углубления дна водоемов применяются землесосы с шнековым грунтозаборным устройством. Эти машины эффективно работают в водоемах с сильно загрязненными донными отложениями, предотвращая их попадание в окружающую среду.

Технология основана на аккуратном снятии тонких слоев грунта с точностью до 5 см. При этом образуется пульпа более высокой плотности по сравнению с обычным земснарядом. Загрязняющие вещества не перемешиваются интенсивно, что исключает их распространение по акватории.

Использование земснарядов оправдано, если работы ведутся долго, так как их транспортировка и установка стоят дорого.

Аналогичные результаты при изъятии донных отложений можно получить, предварительно понизив уровень воды в водоеме, чтобы она промёрзла вместе с грунтом. Однако этот метод менее эффективен: степень очистки русел ниже, а глубина меньше.

Существуют и другие способы извлечения донных осадков. Например, экскаватор закрепляют на понтоне — плавучем дноуглубительном комплексе. Этот вариант подходит для разработки подводных грунтов на глубине 3–4 метра. Извлечённый грунт загружают на плавающие грузоотвозные понтоны. Метод достаточно производительный, но дорогой из-за транспортировки донных осадков.

В другом варианте гидромеханизированная разработка сочетается с установкой экскаватора на понтоне. Эта комбинация позволяет выполнять работы быстро и экономично. Экскаватор эффективно разрабатывает грунт, а гидромеханизация транспортирует его по трубам с минимальными затратами в любое время суток.

Для расчистки участка русла реки Упы в Тульской области, подверженного воздействию сбросов ОАО «Тулачермет» и завода стройматериалов, после исследований было рекомендовано использовать экскаватор на понтоне ПСР 120. Грунт из ковша подаётся в ёмкость рядом с понтоном. Через отверстие в торце

ёмкости в него поступает вода, разжижающая грунт. Затем насос по шламопроводу перекачивает пульпу к месту складирования. Основную часть русла очистили от донных отложений с помощью малогабаритного эжекторного земснаряда ПМТ100 [5].

Для очистки водоемов от иловых отложений эффективно использовать пневмонасосы, такие как PNEUMATM и Oozertm. Они подходят для работы как на больших (до 100 м), так и на малых глубинах. Эти устройства отличаются низкой стоимостью по сравнению с обычными грунтовыми насосами. Пневматические насосы соответствуют строгим экологическим стандартам при выполнении подводных земляных работ. В отличие от центробежных грунтовых насосов, они меньше изнашиваются, сохраняя при этом сопоставимый КПД [4].

В работе [6] предлагается расчищать заиленные русла с помощью земснарядов. В качестве оборудования могут использоваться пневматические камерные насосы (ПКН) или землесосные установки с ПКН на базе гидравлических экскаваторов. При применении ПКН образуется гидросмесь с высоким содержанием взвешенных частиц. Это позволяет подавать её не на стандартные иловые карты, а прямо в транспортные средства: цистерны, кузова или вагоны. Японские экологи считают ПКН самыми экологически чистыми в мире. Они утверждают, что мутность в зоне разработки донных отложений с их помощью почти в 20 раз ниже, чем при использовании традиционных земснарядов.

ОАО «НИИ ВОДГЕО» и ООО «Экология воды» очищают русла рек и водоемов с помощью понтонных механизмов. Они снимают грунт послойно, не размывая его, в отличие от земснарядов. Этот метод экологичен, так как работы ведутся на воде, а не на берегу. Это сохраняет береговую линию в первоначальном виде.

Вода не спускается до полного удаления донных отложений. Такой подход дешевле и эффективнее, чем гидромеханизированный метод.

Широкое распространение получили земснаряды-амфибии, которые эффективно работают как на суше, так и в воде. Их активно изготавливают в Финляндии, Швеции, США и Японии. В разных странах мира успешно используют универсальные земснаряды финского производства Watermaster и шведские амфибии Truxor. Эти многофункциональные машины способны косить тростник и водоросли, углублять дно, перекачивать донные отложения и собирать мусор с поверхности. Земснаряды-амфибии, благодаря своей высокой

производительности, рекомендованы для восстановления малых рек Самарской области после обследования и анализа условий их очистки. Эти машины передвигаются на гусеничном ходу или сваях, а плавучесть обеспечивают водонепроницаемые корпуса. В России земснаряды-амфибии успешно применяют для удаления иловых отложений и подъема затонувшей древесины.

Сегодня существует более 600 проверенных технологий для очистки и углубления водоемов. За рубежом для этих работ часто используют драги и, иногда, ковшовые экскаваторы. Выбор оборудования зависит от типа грунта и задач: выемка иловых, гравийных или песчаных отложений, а также удаление водной растительности. Драги оснащают помпами, ножами, шнеками и черпаками. Большинство традиционных методов очистки водоемов от донных отложений с загрязняющими веществами имеют один существенный недостаток: они могут привести к вторичному загрязнению токсичными веществами как самого водоема, так и окружающей среды. Загрязнение происходит как во время работ, так и после очистки.

При удалении донных отложений с помощью землесосных снарядов токсичные вещества, содержащиеся в них, вместе с отложениями и водой попадают в грунтозаборное устройство. Проходя через пульпопровод, отложения диспергируются, а часть токсичных веществ растворяется в воде. Эта смесь поступает в илохранилище, где вода отделяется, осветляется и возвращается в водоем вместе с оставшимися токсинами. Загрязнение также происходит из-за протечек и неплотностей в пульпопроводе. Ил, осевший в илохранилище, со временем загрязняет подземные воды. Это происходит из-за выщелачивания токсичных веществ фильтрационными водами и атмосферными осадками.

Анализ методов очистки водоемов выявил, что при механизированной выемке грунта вторичное загрязнение воды минимально по сравнению с гидромеханизированным способом. Важно тщательно контролировать транспортировку и хранение донных отложений, которые могут содержать токсичные вещества.

Работы по расчистке русел рек не всегда приносят положительные результаты. Помутнение воды и увеличение количества взвешенных частиц во время извлечения и складирования донных отложений негативно влияют на бентофауну. Во время землечерпания мелкофракционный грунт смешивается с водой и оседает на дно, уничтожая зообентос. Это обедняет видовой состав или

полностью его уничтожает. По наблюдениям, для восстановления донных сообществ требуется от 2 до 4 лет после завершения работ. Полное восстановление биоценозов может занять не менее 10 лет, а иногда этот процесс становится необратимым.

Эффективность очистки русла реки Усмань (приток Воронежа) оценили, сравнив результаты химических анализов воды в 1991–1993 годах в створах выше и ниже расчищенного участка. Выяснилось, что работы улучшили качество воды: содержание кислорода выросло на 9%, концентрация взвешенных веществ снизилась на 12%, а нефтепродуктов — на 50%. По другим показателям вода осталась на уровне фонового створа.

Однако гидротехнические мероприятия имели и негативные последствия. Вместо русла шириной 5–15 метров появились каналы шириной 40 метров и более, средняя глубина увеличилась с 0,61 до 4 метров, что нарушило естественный режим реки. Такие расчищенные русла заиливаются за 7–10 лет, не оправдывая затрат. Более того, такие работы не устраняют причины деградации рек, а наоборот, приводят к их истощению из-за увеличения дренирующей способности с ростом глубины.

Таким образом, каждый метод расчистки русла имеет свои плюсы и минусы. Чтобы выбрать оптимальный способ, нужно внимательно изучить условия и особенности предстоящей работы. Стоит отметить, что в научных статьях, опубликованных в отечественных журналах мало информации об очистке малых рек от донных отложений, сильно загрязненных из-за техногенного воздействия.

Список литературы

1. Курочкина В.А. Формирование и экологические свойства русловых отложений в водотоках на урбанизированных территориях: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.36 / Курочкина В.А. — Москва, 2012. — 20 с. — Текст: непосредственный.
2. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. — Москва: РЭФИА, НИА–Природа, 2002. — 118 с. — Текст: непосредственный.
3. ФР.1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод,

отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. – Москва : АК-ВАРОС, 2007. – [б. с.]. – Текст: непосредственный.

4. Ярыгина А.А. Очистка водных объектов от донных отложений / А.А. Ярыгина, С.В. Ермолаев, О.О. Орлова // Экология производства. – Москва, 2010. – № 12. – С. 41–44. – Текст: непосредственный.
5. Лапко А.В. Методы и применяемые технические средства расчистки русел малых рек / А.В. Лапко // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2014. – № 1 (14). – С. 74–78. – Текст: непосредственный.
6. Политова Н.В. Использование инструмента инженерно-геологического районирования для разработки мероприятий по восстановлению естественной гидросети мегаполисов / Н.В. Политова // ГИАБ. – 2011. – № 6. – С. 67–71. – Текст: непосредственный.

Сорбционные материалы, применяемые для очистки сточных вод

Свергузова С. В.

Профессор

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Воронина Ю. С.

Ассистент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Лукашин Е. А.

Магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Мирошников К. С.

Магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: в статье рассматривается актуальная проблема загрязнения водных объектов тяжелыми металлами, обладающими способностью к биоаккумуляции и оказывающими токсическое, мутагенное и канцерогенное воздействие на организм человека. Приведен анализ влияния различных металлов на здоровье населения. Проведен обзор современных методов сорбционной очистки сточных вод, включая использование природных минералов и активированных углей. Отмечены преимущества и недостатки данных сорбентов, такие как высокая эффективность, но сложность утилизации или высокая себестоимость. Обоснована перспективность использования отходов переработки кукурузы в качестве доступного и возобновляемого сорбционного материала.

Ключевые слова: сорбционный материал, поллютанты, очистка воды, отходы, кукуруза

Серьезной экологической проблемой современности является загрязнение вод тяжелыми металлами. В природных водах тяжелые металлы не разрушаются, лишь перераспределяются между составляющими водоемов. Соединяясь с биомолекулами (белками, липидами и др.), они образуют комплексные

соединения. Из водных систем тяжелые металлы могут включаться в круговорот веществ и мигрировать по трофическим цепям, попадая в организм человека при употреблении в пищу продуктов [1-3].

Большинство тяжелых металлов являются микроэлементами, обеспечивающими протекание ряда биохимических процессов в организме человека. Однако чрезмерное их накопление может привести к нарушению обмена веществ. При кумулятивном действии металлы могут обладать канцерогенными, мутагенными и тератогенными свойствами. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами приводит к увеличению заболеваемости населения хроническими дерматозами, экземами, атипичными дерматитами и токсидермами. Выявлено пагубное влияние тяжелых металлов на функциональное состояние щитовидной железы. В таблице 1 приведено влияние некоторых металлов на организм [4,5].

Таблица 1

Влияние некоторых тяжелых металлов на организм

Вещество	ПДК в воде, мг/л	Класс опасности	Воздействие на организм
Медь Cu^{2+}	1,0	3	Мутагенное и токсичное действия. Оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки верхних дыхательных путей.
Цинк Zn^{2+}	5,0	3	Вредно действует на сельскохозяйственные культуры. Малотоксичен для людей, теплокровных животных и много раз токсичнее для рыб. Токсичное действие: язва желудка, анемия, лихорадка, тошнота, рвота, дыхательная недостаточность
Кадмий Cd^{2+}	0,001	2	Болезнь "итай-итай", увеличение кардиоваскулярной заболеваемости, почечной, онкологической заболеваемости, нарушение течения беременности

			и увеличение мертворождаемости, повреждение костной ткани
Никель Ni ²⁺	0,02	2	Повышение возбудимости центральной и вегетативной нервной системы, отек легких и мозга, тахикардия, анемия, рак легких

В последние годы большинство научных работ направлены на изучение свойств дешевых и доступных природных материалов, пригодных для извлечения загрязняющих веществ из водных сред.

Помимо низкой стоимости и доступности природных сорбционных материалов, также можно отметить возобновляемость природного материала и легкость утилизации отработанных реагентов.

Изучены сорбционные свойства природных минералов по отношению к загрязняющим веществам, таким как: шунгит, цеолит, клиноптилолит, мусковит, кварц, бентонит, монтмориллолит-каолинит, карбонатные породы и многие другие. Глины являются альтернативными сорбционными материалами, так как их поверхность заряжена отрицательно и способна притягивать к себе фенольные соединения, а также благодаря высокоразвитой поверхности сорбента и высокой ёмкости.

Также изучены сорбционные свойства материалов, изготовленных на основе нескольких природных минералов, совместное использование которых приводит к эффекту синергизма [6-9].

На данный момент, сорбционные свойства большого количества природных минералов по отношению к загрязняющим веществам изучены достаточно хорошо.

Установлено, что природные минералы обладают достаточно хорошей сорбционной ёмкостью по отношению к загрязняющим веществам загрязняющим веществам.

Недостатком использования природных минералов для сорбционного извлечения загрязняющих веществ является сложность утилизации отработанных реагентов, а именно, необходимость их захоронения, что приводит к отторжению большой площади земель и протеканию процессов десорбции, а также попаданию веществ в почву.

Активированный (или активный) уголь – адсорбент – вещество с высоко развитой пористой структурой, который получают из различных углеродсодержащих материалов органического происхождения, таких как древесный уголь, каменноугольный кокс, нефть, скорлупа кокоса, грецкого ореха, косточки абрикоса, маслины и других плодовых культур. Наилучшим по качеству очистки и сроку службы считается активированный уголь (карболен), изготовленный из скорлупы кокоса, благодаря высокой прочности его можно многократно регенерировать.

Активированные угли нашли широкое применение при сорбционной очистке сточных вод от загрязняющих веществ, благодаря ряду преимуществ: высокая степень очистки сточных вод при широком диапазоне начальных концентраций, возможность регенерации углей для повторного использования. Недостатки: высокая себестоимость активированных углей, за счет необходимости активации поверхности сорбента на стадии подготовки, регенерации сорбента, а также стоимость процесса регенерации [10,11].

К одним из распространенных и крупнотоннажных отходов относятся отходы, образующиеся при переработке кукурузы [12,13].

Кукуруза – одна из важнейших культур в мировом сельском хозяйстве и используется для различных целей. Около 20 % семян кукурузы используется для продовольствия, 15-20% – для технических целей и около 20 % – для переработки. Две трети используются в качестве корма для животных.

Кукуруза – это однолетняя культура, принадлежащая к семейству Pinaceae. Это однодольное, размножаемое и перекрестно опыляемое растение. Самостоятельно в дикой среде не произрастает. Стебли кукурузы толщиной 1,5-7 см, кустистые, прямостоячие, круглые и гладкие. Высота растений колеблется от 50 см до 7 м. Чем выше стебель, тем медленнее он созревает.

Формирование урожая семян зависит от фотосинтетической активности побега. Продолжительность вегетационного периода зависит от сорта и гибрида; он может длиться от 90 до 150 дней. Раннеспелые сорта наиболее популярны в России, так как 95 % территории страны находится в зоне риска. В этом случае семена успевают созреть до наступления холодов.

На Урале кукурузу выращивают в качестве зеленого удобрения, так как при выращивании в открытом грунте даже раннеспелые сорта не успевают вызреть. Для производства зерна используется предпосевная обработка почвы, но этот

метод не является обширным; рассаду высаживают с конца мая, а первые всходы в первой половине года и первые всходы во второй половине года. Сбор урожая происходит в августе/сентябре. На северо-западе, особенно в Ленинградской области, для выращивания кукурузы используются гибриды первого поколения с коротким вегетационным периодом (F1Свеча, Спирит, Трофи и т.д.), где зерна созревают через 70-75 дней после прорастания. На небольших участках можно выращивать кукурузу методом проращивания. В южной части области можно выращивать сорта с периодом созревания 90-100 дней. Кукуруза, выращиваемая в Псковской области, высевается в открытый грунт в мае и убирается в первую неделю сентября.

Широкий выбор гибридов и районированных сортов позволяет сеять кукурузу во многих регионах Российской Федерации. В основном ее выращивают на Северном Кавказе, в Поволжье, центрально-черноземном регионе, на юге Дальнего Востока и в Сибири. Ее также выращивают для силоса и корма для животных. Регионы, где в России выращивают кукурузу, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Регионы, в которых выращивают кукурузу

Регион	Валовый сбор, тыс. т	Площадь, %
Краснодарский край	3 368,2	34,3
Ставропольский край	932,2	9,5
Белгородская область	747,1	7,6
Ростовская область	632,1	6,4
Курская область	529	5,4
Воронежская область	517,9	5,3
Кабардино-Балкарская Республика	396,9	4,0
Тамбовская область	296,7	3,0
Республика Татарстан	277,5	2,8
Липецкая область	230,7	2,3
Республика Северная Осетия -Алания	214	2,2
Саратовская область	192,7	2,0
Республика Мордовия	192	2,0
Республика Адыгея	145,8	1,5

Волгоградская область	142,3	1,4
Орловская область	137,1	1,4
Брянская область	127,4	1,3
Карачаево-Черкесская Республика	101,9	1,0
Рязанская область	79,5	0,8
Нижегородская область	79,5	0,8

Перед началом экспериментов по очистке масляных эмульсий были изучены физико-химические свойства биомассы стебля кукурузы.

Насыпную плотность материала, влажность, потери при прокаливании, pH водной вытяжки биомассы стебля кукурузы определяли по методикам. Так же изучили справочные характеристики материалы.

Полученные физико-химические свойства биомассы кукурузы представлены в таблице 3.

Таблица 3

Физико-химические свойства биомассы кукурузы

Характеристика	Ед. изм.	Значения
Агрегатное состояние и форма	-	волокно
Насыпная плотность	г/см ³	0,285
Влажность	%	9
Потери при прокаливании	%	97
pH водной вытяжки	-	6,7
Зольность	%	2,97

Для изучения структуры экспериментального материала использовали TESCAN MIRA 3 – сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), позволяющий исследовать поверхность на уровне разрешения до 1-2 нм.

Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) — это многофункциональное оборудование, которое далеко выходит за рамки устройства для получения увеличенных изображений. Микроскоп состоит из электронно-оптической колонны, блока электроники и управляющего компьютера (иногда колонна и блок электроники объединены).

Принцип работы микроскопов основан на физических эффектах взаимодействия поверхности твердого образца со сфокусированным пучком

электронов. В качестве источника электронов в микроскопах MIRA, LYRA и FERA используется электронная пушка с катодом Шоттки с полевой эмиссией, что позволяет получать изображения с более высоким разрешением, чем при использовании вольфрамового термоэмиссионного катода при больших токах пучка. Исследуемые образцы устанавливают в вакуумную камеру с помощью держателей. Стандартный держатель выполнен в виде диска диаметром 12.5 мм с ножкой для фиксации диаметром 3 мм. Для повышения производительности и удобства работы к микроскопам может подключаться выносная панель с ручками и ЖК-дисплеем, предназначенная для быстрого изменения и контроля основных параметров.

Полученные микрофотографии представлены на рис. 1-4.

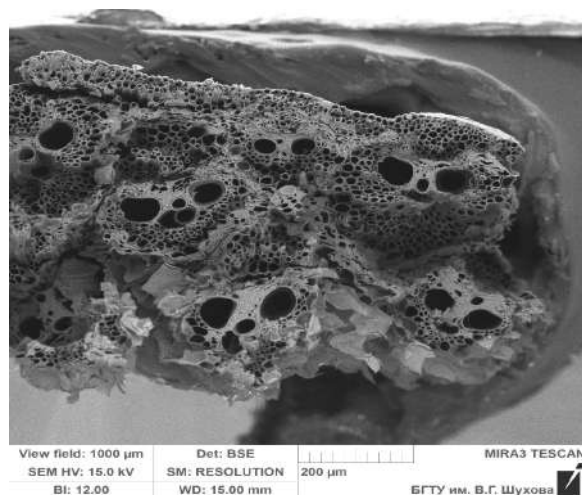


Рис. 1. Микрофотография структуры биомассы стебля кукурузы с разрешением 200 мкм

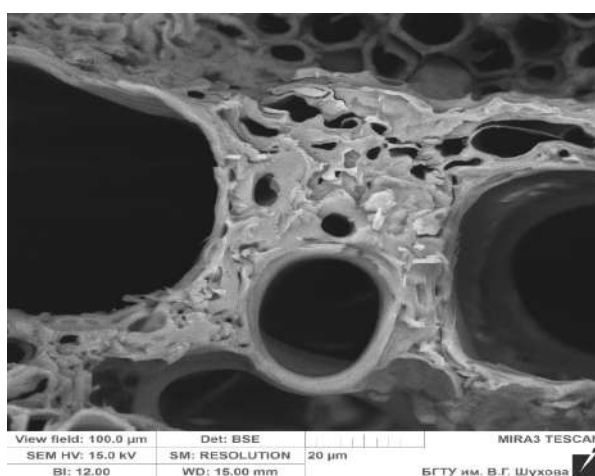


Рис. 2. Микрофотография структуры биомассы стебля кукурузы с разрешением 20 мкм

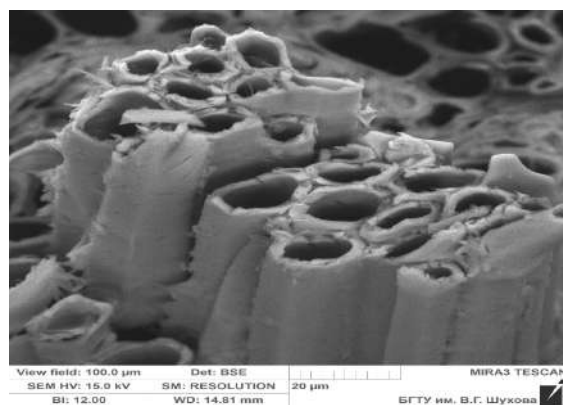


Рис. 3. Микрофотография структуры биомассы стебля кукурузы с разрешением 20 мкм

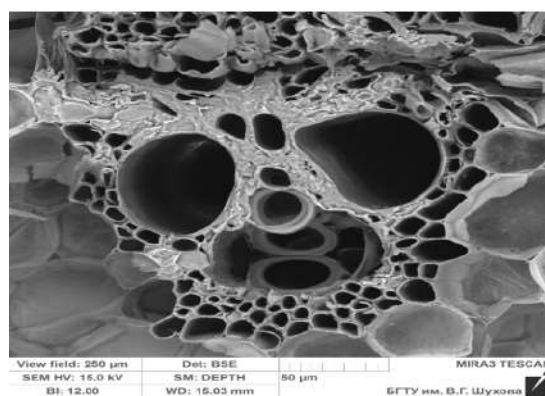


Рис. 4. Микрофотография структуры биомассы стебля кукурузы с разрешением 50 мкм

Исследования структуры показали, что материал биомассы стебля кукурузы содержит большое количество пор, каналов, что свидетельствует о возможности поглощения данным материалом частиц загрязняющего вещества из водной среды.

Список литературы

1. Тихомирова В.В. Загрязнение поверхностных и сточных вод Российской Федерации тяжелыми металлами / В.В. Тихомирова, П.С. Смирнова // МНИЖ. 2022. №10 (124).
2. Свергузова С.В. Тяжелые металлы в окружающей среде и их трансформация / С.В. Свергузова, Л. Хунади, Ю.С. Воронина // Chemical bulletin. - 2019. Т. 2. № 2. С. 9-14.
3. Подольян Д.М. Снижение экологической опасности металлосодержащих сточных вод / Д.М. Подольян // Вестник науки. №5 (86). Том 3. С. 2064-2069.

4. Скугорева С.Г. Химические основы токсического действия тяжёлых металлов (обзор) / С.Г. Скугорева, Т.Я. Ашихмина, А.И. Фокина, Е.И. Лялина // Теоретические проблемы экологии. 2016. № 1. С.4-13
5. Борисов П.О. Влияние тяжелых металлов на организм человека / П.О. Борисов // Вестник науки. 2019. №12 (21). том 3. С. 6-8.
6. Малышкина Е.С. Использование природных сорбентов в процессе очистки воды от нефтепродуктов / Е.С. Малышкина, Е.И. Вялкова, Е.Ю. Осипова // Вестник ТГАСУ. 2019. №1.
7. Климов Е.С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод / Е.С. Климов, М.В. Бузаева. Ульяновск: УлГТУ, 2011. 201 с.
8. Смятская Ю.А. Композиционные сорбционные материалы для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / Ю.А. Смятская, Н.А. Политаева, И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова // Вестник технологического университета (Казань). 2018. Т.21, № 2. С. 215-219
9. De Gisi S., Lofrano G., Grassi M., Notarnicola M. Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review // Sustainable Materials and Technologies. 2016. vol. 9. P. 10-40.
10. Краснова Т.А. Использование активных углей в процессах водоподготовки и водоотведения / Т.А. Краснова, О.В. Беляева, М.П. Кирсанов // Техника и технология пищевых производств. 2012. №3 (26).
11. Цуканова А.Н. Применение активного угля на основе каменноугольного сырья в сорбционных фильтрах очистки сточных вод нефтеперерабатывающей промышленности / А.Н. Цуканова, И.С. Глушанкова, Е.А. Фарберова, Е.А. Перевозчикова, А.В. Кузьмин // Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 6. С. 37–42.
12. Свергузова С.В. Очистка водных эмульсий индустриального масла биомассой стеблей кукурузы / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, Е.С. Антюфеева, К.В. Чехунова // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: сб. докл. Междунар. науч. конф. (Алушта-Белгород, 30 мая–3 июня, 2022 г.) – Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. – С. 263-268.
13. Свергузова С.В. Использование отходов переработки кукурузы для очистки водных сред от красителя «Метиленовый голубой» /

С.В. Свергузова, Ж.А. Сапронова, И.Г. Шайхиев., Д.В. Сапронов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 5. Т. 17. С. 173-175.

Влияние типа источника излучения и дозы пероксида водорода на эффективность фотохимического окисления сернисто-щелочного стока

Селезнева М. А.

Студент

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

Иванцова Н. А.

Доцент

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

Аннотация: в работе исследовано влияние концентрации пероксида водорода и типа УФ-источника на фотохимическое окисление сульфид-анионов в сернисто-щелочном стоке (СЩС). Установлено, что с увеличением дозы H_2O_2 концентрация сульфид-ионов снижается, а концентрация сульфат-анионов увеличивается независимо от типа лампы. Эффективность фотохимического удаления сульфид-анионов при обработке СЩС составила 83–91 %.

Ключевые слова: сульфид-анион, сульфат-анион, очистка, фотоокисление, пероксид водорода

Рациональное использование водных ресурсов является одной из самых актуальных проблем современного мира. С развитием промышленности увеличивается разнообразие загрязняющих веществ в сточных водах предприятий. Эти загрязняющие вещества оказывают негативное действие на окружающую среду. Среди таких сточных вод можно выделить сернисто-щелочные стоки нефтегазохимических предприятий.

Сернисто-щелочной сток (СЩС) является серьезной экологической проблемой из-за большого количества разнообразных загрязняющих веществ, входящих в состав сточных вод. В СЩС присутствуют трудноокисляемые органические и токсичные неорганические вещества [1, 2]. СЩС содержит большое количество сернистых соединений, таких как сероводород и меркаптаны. Данные соединения обладают высокой токсичностью, поэтому СЩС должны быть доведены до приемлемых к сбрасыванию концентраций как минимум по сульфидам [3].

В последнее время фотохимические методы очистки сточных вод становятся все более популярными из-за их высокой эффективности. Использование УФ-излучения в комбинации с пероксидом водорода имеет большие перспективы в очистке СЩС [4].

Поэтому целью данной работы было исследование эффективности фотохимического окисления СЩС в присутствии пероксида водорода по определению динамики снижения концентрации сульфид-анионов при различных источниках излучения.

Эксперимент проводился на лабораторной установке производства НПО «Мелитта». Для генерации излучения использовались два типа ламп: импульсная ксеноновая лампа (ИКЛ, модель ФП-05/120), работающая с частотой 6,6 Гц, и ртутная лампа низкого давления (РЛНД) (ЛРУ-V-36-001 и ЛРУ-V-36-002). Детальные технические спецификации этих источников света изложены в источнике [5]. Объект исследования - разбавленный СЩС нефтегазохимического предприятия. Для интенсификации процесса фотоокисления использовался пероксид водорода (3 %) в дозировке от 0,1 до 1 г/л. Для определения сульфат-ионов применяли турбодиметрический метод (формирование суспензии сульфата бария в кислой среде и измерение светорассеяния), для сульфид-ионов — фотометрический (с образованием метиленового синего). Массовую концентрацию обоих ионов вычисляли по градуировочной зависимости и указывали в мг/дм³.

Первым этапом эксперимента являлось фотохимическое окисление СЩС с использованием РЛНД. Время фотоокисления составляло 30 мин. На рис. 1 представлены результаты эксперимента.

По графику видно, что концентрация сульфат-ионов растет с увеличением концентрации пероксида водорода. В исходном стоке концентрация сульфат-ионов составляла 81 мг/л. После фотоокисления СЩС с концентрацией пероксида водорода 1 г/л через 30 минут обработки концентрация сульфат-ионов возросла до 595 мг/л (количество ионов возросло в 7 раз). Концентрация сульфид-ионов резко упала при проведении фотоокисления стока с концентрацией пероксида в нем 1 г/л при тех же условиях проведения эксперимента. Начальная концентрация сульфид-ионов составляла 900 мг/л, после окисления она составила 81 мг/л (концентрация уменьшилась в 11 раз).

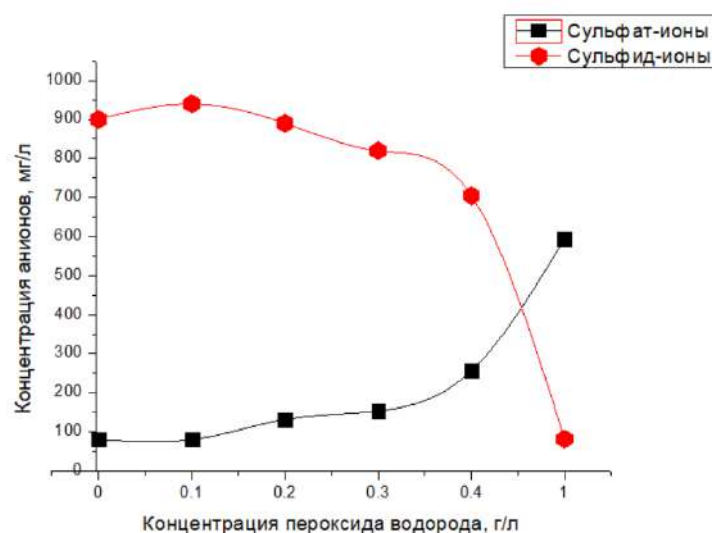


Рис. 1. Изменение концентрации сульфид- и сульфат-анионов от концентрации пероксида водорода при фотохимическом окислении СЩС при использовании РЛНД

На втором этапе исследования проводилось фотохимическое окисление СЩС с использованием ИКЛ в качестве источника излучения (рис. 2). Условия и ход проведения эксперимента те же, что и при использовании РЛНД.

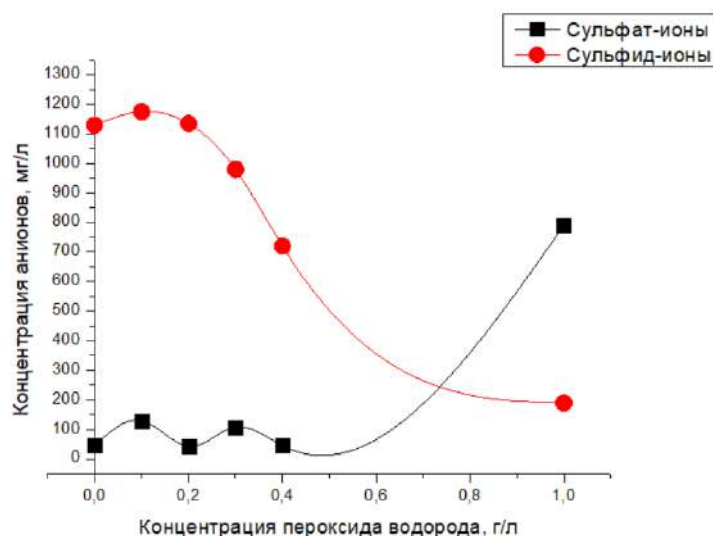


Рис. 2. Изменение концентрации сульфид- и сульфат-анионов от количества пероксида водорода при фотохимическом окислении СЩС с источником излучения ИКЛ

По полученным данным видно, что при фотоокислении СЩС с концентрацией пероксида водорода 1 г/л с источником излучения ИКЛ концентрация анионов в сернисто-щелочном стоке резко увеличивается (у сульфат-ионов)/уменьшается (у сульфид-ионов). В исходном растворе содержание сульфат-ионов

составляет 46 мг/л, сульфид-ионов - 1130 мг/л. После проведения очистки фотоокислительным методом концентрация сульфат-ионов увеличилась до 790 мг/л, а сульфид-ионов снизилась до 189 мг/л. Содержание сульфат-ионов возросло в 17 раз, сульфид-ионов уменьшилось в 6 раз.

Эффективность фотохимического удаления сульфид-анионов при использовании РЛНД составила – 91 %, при использовании ИКЛ – 83 %.

Установлено (рис. 1, 2), что независимо от типа источника излучения с увеличением дозы пероксида водорода концентрация сульфид-ионов снижается. Определено, что в дозе пероксида водорода до 0,3 г/л эффективность снижения сульфид-ионов незначительна. Графики демонстрирует S-образную зависимость: начальный участок (до 0,3 г/л) характеризуется слабым снижением концентрации сульфидов, что типично для многих окислительных процессов, где эффект становится заметным только после достижения пороговой концентрации реагента. Кинетика изменения сульфат-анионов демонстрирует монотонный рост с увеличением концентрации пероксида водорода. Это отражает прямую зависимость между дозой H_2O_2 и интенсивностью окисления — чем больше пероксида водорода, тем больше образуется сульфат-анионов.

Метод фотохимического окисления сточных вод, содержащих сульфиды и щелочи (СЩС), с применением пероксида водорода демонстрирует значительный потенциал. Этот подход отличается высокой окислительной способностью по отношению к сульфидам. Путем подбора оптимального УФ-источника и концентрации пероксида водорода возможно достичь повышения избирательности и ускорения реакции, одновременно минимизируя потребление энергии и образование нежелательных побочных продуктов. Исследования в области изучения возможности применения высокоинтенсивных окислительных процессов в технологии очистки сернисто-щелочных сточных вод продолжаются.

Список литературы

1. Иванцова Н.А., Шлыкова А.Ю., Заричный А.И. Очистка сернисто-щелочных сточных вод с помощью озонирования // Химическая безопасность. - 2025. - Т.9. - №2. - С. 151-161.
2. Будник В. А., Бобровский Р. И., Бабкин Д. Е. Комплексные методы очистки сернисто-щелочных сточных вод нефтеперерабатывающих производств //

Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2019. – №. 5. – С. 58-85.

3. Кочеткова Р.П., Кочетков А.Ю., Резников С.А., Коваленко Н.А. Каталитическая очистка сточных вод процессов нефтепереработки от сероводорода // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. - 2009. - N.5(17). - С. 12-22.
4. Шлыкова А.Ю., Селезнева М.А., Иванцова Н.А. Фотоокислительная очистка сернисто-щелочных сточных вод от сульфид- и сульфат-анионов: Материалы IX Международного молодежного экологического форума, 12-14 ноября 2025 года. - Кемерово, ФГБОУ ВО "Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева". - С.436.
5. М. А. Ветрова, Н. А. Иванцова, П. С. Астахов, Л. Л. Кениг. Оценка эффективности окисления нитрофурала под воздействием импульсного и непрерывного УФ-излучения // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. — 2024. — № 4. — С. 29–38.

Плазмохимическая модификация конопляной костры для повышения сорбционной активности по отношению к ионам никеля

Хабибрахманова Е. Н.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: исследовано влияние плазмохимической обработки низкотемпературной плазмой пониженного давления на сорбционные свойства конопляной костры по отношению к ионам Ni^{2+} . Установлено, что плазменная активация позволяет повысить максимальную сорбционную емкость до 96,8 мг/г. Методами ИК-спектроскопии и РФА показано, что обработка удаляет аморфные компоненты поверхности при сохранении кристаллической структуры целлюлозы. Процесс сорбции описывается моделью Ленгмюра, кинетика – моделью псевдо-второго порядка. Плазмохимическая обработка является быстрым, экологичным и безреагентным методом получения эффективных сорбентов из отходов АПК.

Ключевые слова: конопляная костра, плазмохимическая модификация, низкотемпературная плазма, ионы никеля, сорбция, очистка воды, утилизация отходов АПК

Рациональное использование побочных продуктов и отходов агропромышленного комплекса (АПК) является одной из ключевых задач в контексте перехода к экономике замкнутого цикла. В качестве перспективного направления рассматривается разработка сорбционных материалов (СМ) на основе растительного сырья для очистки водных сред от ионов тяжелых металлов [1, 2].

В последние годы внимание исследователей привлекают методы плазмохимической обработки СМ, в частности, воздействие низкотемпературной высокочастотной плазмой пониженного давления [3-5]. Данная технология обладает преимуществами: безреагентность и экологичность, высокая скорость процесса (секунды–минуты), локальность воздействия, универсальность и управляемость [6–8].

В качестве объекта использовалась нативная конопляная костра, полученная при трепании стеблей технической конопли (*Cannabis sativa*). Модификация

проводилась на установке для генерации низкотемпературной плазмы пониженного давления с высокочастотным индукционным разрядом. Плазмообразующий газ – атмосферный воздух.

Изучались четыре режима обработки:

- Режим Р-1: мощность 1750 Вт, время 5 мин;
- Режим Р-2: мощность 1750 Вт, время 10 мин;
- Режим Р-3: мощность 2250 Вт, время 5 мин;
- Режим Р-4: мощность 2250 Вт, время 10 мин.

Изотермы сорбции получали при начальных концентрациях ионов Ni^{2+} 5–2000 мг/дм³, навеске СМ 1 г/дм³, объеме раствора 100 см³, времени контакта 5 ч. Остаточную концентрацию определяли фотометрическим методом с диметилглиоксимом (ПНД Ф 14.1:2.46–96) [9]. Кинетику процесса изучали при начальной концентрации 150 мг/дм³, времени – от 5 до 180 мин.

Обработка данных проводилась с использованием моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина, Дубинина–Радужкевича, а также кинетических моделей псевдо-первого (PFO) и псевдо-второго (PSO) порядка и модели Вейбера–Морриса.

На основании изотерм сорбции и их обработки в рамках модели Ленгмюра определены значения A_{max} для всех плазмообработанных образцов конопляной костры по ионам Ni^{2+} (табл. 1).

Таблица 1

Максимальная сорбционная емкость конопляной костры по ионам Ni^{2+}

Образец	A_{max} , мг/г	A_{max} , ммоль/г
Нативный образец	46	0,784
Плазма Р-1	85,1	1,450
Плазма Р-2	89,7	1,528
Плазма Р-3	92,4	1,575
Плазма Р-4	96,8	1,650

Все изотермы имеют форму, характерную для L-типа (тип I по IUPAC), что свидетельствует о мономолекулярной адсорбции на однородных центрах (рис.1). Обработка в рамках модели Ленгмюра показала высокую адекватность ($R^2 > 0,98$).

Модель псевдо-второго порядка лучше всего описывает экспериментальные данные ($R^2 = 0,99$). Это указывает, что лимитирующей стадией является химическое взаимодействие между ионами металла и активными центрами биополимеров костры. Константа скорости k_2 возрастает с интенсификацией плазменного воздействия, достигая 1,312 г/(ммоль·мин) для режима Р-4, что свидетельствует об ускорении процесса сорбции.

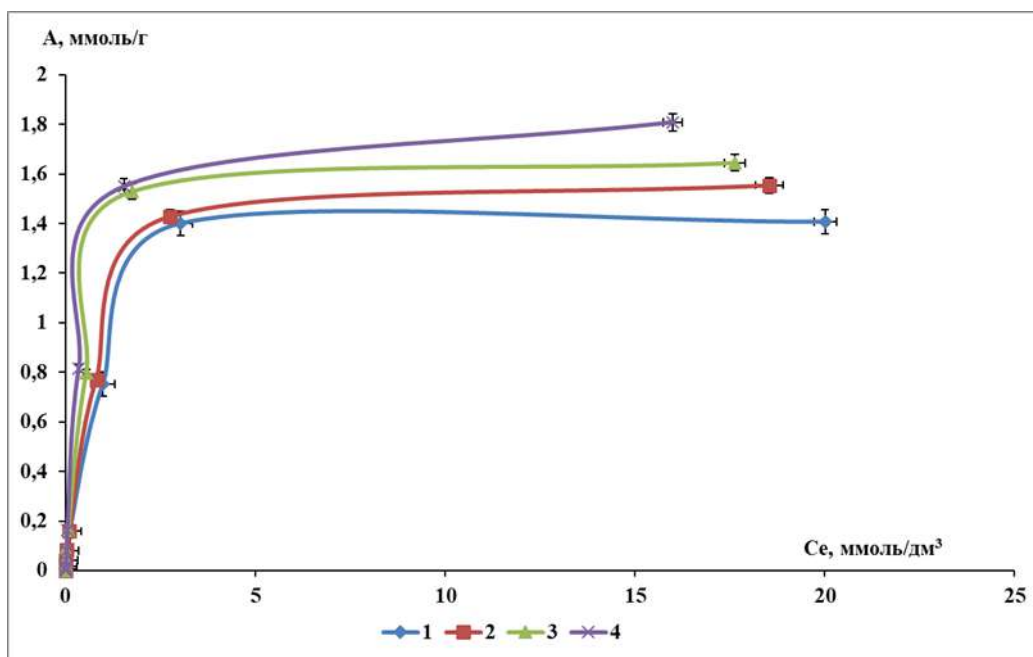


Рис. 3. Изотермы адсорбции ионов Ni^{2+} образцами костры конопли: 1 - Плазма Р-1, 2 - Плазма Р-2, 3 - Плазма Р-3, 4 - Плазма Р-4

Проведенные исследования продемонстрировали высокую эффективность плазмохимической обработки низкотемпературной плазмой пониженного давления как метода направленной модификации конопляной костры.

Плазмохимическая модификация превосходит по эффективности химические методы. Максимальная сорбционная емкость для режима Р-4 (2250 Вт, 10 мин) составила 96,8 мг/г, что более чем в 2 раза превышает показатель нативного материала (46,0 мг/г). Процесс сорбции описывается моделью Ленгмюра ($R^2 > 0,99$), кинетика – моделью псевдо-второго порядка ($R^2 = 0,99$). Константа скорости k_2 возрастает с интенсификацией обработки, достигая значения 1,312 г/(ммоль·мин).

Плазмохимическая обработка является быстрым (минуты), безреагентным и экологичным методом, что отличает ее от традиционной химической

модификации. Для практического внедрения рекомендуется режим Р-3 (2250 Вт, 5 мин), обеспечивающий прирост емкости на 100% при вдвое меньшем времени обработки.

Полученные результаты позволяют рассматривать плазмохимическую технологию как перспективный метод глубокой переработки отходов коноплеводства для создания высокоэффективных сорбентов, востребованных для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.

Список литературы

1. Шайхиев И.Г., Хабибрахманова Е.Н., Шайхиева К.И., Дебердеев Т.Р. Использование компонентов биомассы конопли (*Cannabis sativa*) и активированных углей из них для удаления загрязняющих веществ из водных сред. 1. Ионы металлов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2025. № 4. С. 2–11.
2. Осокин В.М., Сомин В.А. Исследования по получению новых сорбентов из растительного сырья для очистки воды // Ползуновский вестник. 2013. № 1. С. 45–49.
3. Влияние плазменной обработки льняной костры на удаления розливов девонской нефти с водной поверхности и гидрофобные характеристики / И.Г. Шайхиев, Э.М. Хасаншина, И.Ш. Абдуллин, С.В. Степанова // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 8. С. 165-171.
4. Модификация альтернативного сорбента плазменной обработкой для увеличения нефтеемкости и гидрофобности / И.Г. Шайхиев, Р.Х. Низамов, И.Ш. Абдуллин, С.В. Фридланд // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 4. С. 24-27.
5. Влияние параметров обработки ВЧ плазмой пониженного давления на нефте- и водопоглощение компонентов *Larix sibirica* / Е.Э. Мурашко, З.Т. Санатуллова, И.Г. Шайхиев, С.В. Садыкова // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 17. С. 121-126.
6. Христюкова В.И., Хубатхузин А.А., Абдуллин И.Ш. Применение высокочастотной плазмы пониженного давления для модификации внутренних поверхностей изделий // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 12. С. 110-113.

7. Обеззараживание и стимулирование всхожести сельскохозяйственных культур методом воздействия вч плазмы пониженного давления /И.Ш. Абдуллин, Ф.С. Шарифуллин, Р.Р. Галиуллин, С.Ю. Грузкова // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 164-167.
8. Техничко-экономические аспекты применения плазмы ВЧ разрядов пониженного давления для получения пищевых сорбентов из отходов АПК / И.Ш. Абдуллин, И.Г. Гафаров, И.Х. Исрафилов и др. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2002. № 5-6. С. 5-8.
9. ПНД Ф 14.1:2.46–96. Методика измерений массовой концентрации никеля в природных и сточных водах фотометрическим методом с диметилг-лиоксимом. М.: Изд-во стандартов, 2013. 22 с.

Использование компонентов биомассы конопли (*cannabis sativa*) для удаления ионов металлов из водных сред (краткий обзор)

Хабибрахманова Е. Н.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в кратком обзоре обобщены сведения из литературных источников по использованию в качестве сорбционных материалов компонентов биомассы конопли культурной (*Cannabis sativa* L.) – стеблей, костры, волокон, оболочек семян, а также изделий из них (фетровое полотно) для удаления ионов различных металлов (Ag^+ , Al^{3+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Cr(III) , Cr(VI) , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn(II) , Ni^{2+} , Pb^{2+} , U(VI) , Zn^{2+}) из водных сред. Приведены параметры процессов адсорбции. Показано, что химическая модификация исходных материалов позволяет существенно повысить их сорбционную емкость. Изотермы адсорбции чаще всего описываются моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка. Наибольшую эффективность компоненты биомассы конопли проявляют по отношению к ионам Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} .

Ключевые слова: конопля культурная, *Cannabis sativa*, биомасса, ионы металлов, адсорбция, химическая модификация, очистка сточных вод

Конопля культурная (*Cannabis sativa* L.) – однолетнее лубоволокнистое растение, возделываемое для получения волокна, масла и других ценных продуктов. Согласно данным ФАО, мировые посевные площади конопли составляют около 300–400 тыс. га, при этом Россия входит в число ведущих производителей [1].

В стеблях конопли современных сортов содержание целлюлозы достигает 55–65 %, стебель на 65–75 % состоит из костры. Помимо целлюлозы, в биомассе *Cannabis sativa* идентифицировано более 550 различных химических соединений, включая спирты, альдегиды, кетоны, эфиры, терпены и др. [2, 3].

Благодаря богатому химическому составу и доступности, компоненты биомассы конопли находят широкое применение в качестве сорбционных

материалов для удаления загрязняющих веществ из водных сред. В данном обзоре кратко обобщены сведения об использовании продуктов переработки конопли для извлечения ионов различных металлов.

Ионы Ag(I), Cd(II), Pb(II). Исследована адсорбция ионов серебра, кадмия и свинца нативными волокнами конопли. Установлено, что максимальная сорбционная емкость ($Q_{\max}$) по ионам Ag^+ составляет 1,23 мг/г [4]. Введение сульфгидрильных групп ($-\text{SH}$) позволило повысить $Q_{\max}$ по ионам Ag^+ до 10,75 мг/г, по ионам Cd^{2+} – с 2,59 до 14,05 мг/г, по ионам Pb^{2+} – до 23,00 мг/г [5, 6]. Изотермы адсорбции во всех случаях адекватно описываются моделью Ленгмюра ($R^2 > 0,999$).

Ионы Co(II). При адсорбции ионов Co^{2+} стеблями конопли в статических условиях значение $Q_{\max}$ составило 13,58 мг/г, в динамических условиях – 15,44 мг/г. Изотерма адсорбции соответствует модели Ленгмюра ($R^2 = 0,9956$), кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка ($R^2 = 0,9932$) [7].

Ионы Cr(III). Нативные стебли конопли имеют значение $Q_{\max}$ по ионам Cr(III) 4,0 мг/г. Пропитка красителем Alizarine S повышает этот показатель до 8,63 мг/г в статических и 6,16 мг/г - в динамических условиях [8, 9].

Ионы Cu(II). Нативная конопляная костра демонстрирует значения $Q_{\max}$ по ионам Cu^{2+} от 3,91 до 89,96 мг/г в зависимости от условий эксперимента. Модификация 1,6 М NaOH повышает емкость до 4,45 мг/г [10, 11]. Пропитка α -бензоинноксимумом увеличивает $Q_{\max}$ с 9,07 до 13,81 мг/г [12]. Обработка растворами Na_2CO_3 и прививка карбоксильных групп позволяют достичь эффективности извлечения до 95% [13]. Установлено, что основным механизмом связывания ионов Cu^{2+} при этом является хемосорбция [14].

Ионы Ni(II). Для нативного волокна конопли и костры значение $Q_{\max}$ по Ni^{2+} составляют 206 и 160 мг/г соответственно. Модификация растворами NaOH и лимонной кислотой повышает эти значения до 242 и 237 мг/г. Изотермы адсорбции описываются моделью Ленгмюра–Фрейндлиха ($R^2 = 0,996\text{--}0,999$), кинетика процесса – моделью псевдо-второго порядка [15].

Ионы Pb(II). При извлечении ионов свинца натуральными конопляными волокнами значение $Q_{\max}$ достигает 18,2 мг/г при pH=5. Изотермы адсорбции описываются моделью Ленгмюра, кинетика – моделью псевдо-первого порядка [16, 17].

Ионы U(VI). Модификация волокон конопли имидазол-4,5-дикарбоновой кислотой позволяет получить $Q_{\max}$ по уранил-ионам 469,48 мг/г при pH = 7 [18]. Функционализация диаминоксидом дает $Q_{\max}$ = 220 мг/г [19]. В реальной морской воде эффективность извлечения ионов U^{6+} достигает 77,5 %.

Ионы Zn(II). Для нативных волокон конопли $Q_{\max}$ по ионам Zn^{2+} составляет 12,0 мг/г. Термодинамические параметры указывают на физическую адсорбцию [20]. Кислотная и щелочная активация повышают сорбционные характеристики, изотермы описываются моделью Ленгмюра, кинетика – моделью псевдо-второго порядка [21].

Проведенный анализ литературных данных показывает, что компоненты биомассы конопли (стебли, костра, волокна) являются эффективными сорбционными материалами для удаления широкого спектра ионов металлов из водных сред. Наибольшую эффективность они проявляют по отношению к ионам Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} и Zn^{2+} .

Химическая модификация исходных материалов (введение сульфгидрильных, карбоксильных групп, обработка кислотами и щелочами, прививка полимеров) позволяет существенно повысить их сорбционную емкость – в некоторых случаях в 5–10 раз.

Изотермы адсорбции в подавляющем большинстве исследований наиболее точно описываются моделью Ленгмюра. Кинетика процессов чаще всего соответствует модели псевдо-второго порядка, указывая на химическое взаимодействие как лимитирующую стадию.

Полученные результаты позволяют рассматривать отходы переработки конопли как доступное и эффективное сырье для производства недорогих сорбентов, предназначенных для очистки сточных вод от ионов металлов, что соответствует принципам экономики замкнутого цикла и рационального природопользования.

Список литературы

1. Кабунина И.В. Современная структура мирового рынка производства конопли // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 4. С. 40–44.
2. Pellati F., Brighenti V., Sperlea J. et al. New methods for the comprehensive analysis of bioactive compounds in *Cannabis sativa* L. (hemp) // *Molecules*. 2018. V. 23. No 10. Art. 2639.

3. Crini G., Lichtfouse E., Chanet G. et al. Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials... // *Environmental Chemistry Letters*. 2020. V. 18. P. 1451–1476.
4. Tofan L., Paduraru C. The hemp – a new fibrous natural unconventional sorbent // *Buletinul Institutului Politehnic Iasi*. 2000. Tome XLVI(L). P. 113–118.
5. Tofan L., Paduraru C. Sorption studies of Ag(I), Cd(II) and Pb(II) ions on sulphhydryl hemp fibres // *Croatica Chemica Acta*. 2004. V. 77. P. 581–586.
6. Paduraru C., Tofan L. Equilibrium studies for the sorption of metal ions onto hemp // *Cellulose Chemistry and Technology*. 2002. V. 36. P. 375–380.
7. Tofan L., Teodosiu C., Paduraru C. et al. Cobalt(II) removal from aqueous solutions by natural hemp fibers // *Applied Surface Science*. 2013. V. 285. P. 33–39.
8. Tofan L., Paduraru C., Toma O. Hemp fibers impregnated with alizarine S as unconventional material for Cr(III) ions // *Scientific Annals of the State University of Moldavia*. 2001. P. 204–208.
9. Tofan L., Paduraru C., Teodosiu C. et al. Fixed bed columns study on the removal of chromium(III) ions by hemp fibres // *Cellulose Chemistry and Technology*. 2015. V. 49. P. 219–229.
10. Balintova M., Holub M., Stevulova N. et al. Sorption in acidic environment – biosorbents comparison // *Chemical Engineering*. 2014. V. 39. P. 625–630.
11. Liu J., Beckerman J. Application of sustainable biosorbents from hemp for remediation copper(II)-containing wastewater // *J. of Environmental Chemical Engineering*. 2022. V. 10. No 3. Art. 107494.
12. Tofan L., Paduraru C. Removal of copper(II) ions in traces from waste waters by sorption on hemp modified with alpha-benzoinoxime // *Journal of Balkan Ecology*. 1999. V. 2. No 3. P. 106–112.
13. Mongiovi C., Lacalamita D., Morin-Crini N. et al. Use of chénevotte as adsorbent for copper ions: Kinetic studies // *Arabian Journal of Chemistry*. 2022. V. 15. No 4. Art. 103742.
14. Mongiovi C., Crini G., Gabrion X. et al. Revealing the adsorption mechanism of copper on hemp-based materials // *Chemical Engineering Journal Advances*. 2022. V. 10. Art. 100282.
15. Kyzas G.Z., Terzopoulou Z., Nikolaidis V. et al. Low-cost hemp biomaterials for nickel ions removal // *J. of Molecular Liquids*. 2015. V. 209. P. 209–218.

16. Tofan L., Paduraru C., Volf I. et al. Removal of lead(II) from aqueous solution by sorption on natural hemp fibres // Scientific Papers. Agronomy Series. 2010. V. 53. P. 150–153.
 17. Tofan L., Paduraru C., Volf I. et al. Kinetic and thermodynamic profile of Pb(II) sorption by untreated hemp fibres // Scientific Papers. Agronomy Series. 2010. V. 53. P. 146–150.
 18. Bai Z., Liu Q., Zhang H. et al. High efficiency biosorption of Uranium(VI) ions by hemp fibers functionalized with imidazole-4,5-dicarboxylic acid // J. of Molecular Liquids. 2020. V. 297. Art. 111739.
 19. Kaur M., Tewatia P., Rattan G. et al. Diamidoximated cellulosic bioadsorbents from hemp stalks for elimination of uranium(VI) // J. of Hazardous Materials. 2021. V. 417. Art. 126060.
 20. Paduraru C., Tofan L. Investigations on the possibility of natural hemp fibers use for Zn(II) ions removal // Environmental Engineering & Management Journal. 2008. V. 7. No 6. P. 687–693.
- Vukcevic M., Pejic B., Lausevic M. et al. Influence of chemically modified short hemp fiber structure on biosorption of Zn^{2+} ions // Fibers and Polymers. 2014. V. 15. P. 687–697.

Исследование сорбционных свойств материалов на основе плодовых оболочек зерен пшеницы для очистки вод от нефтяных загрязнений

Хисамова А. Ш.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Степанова С. В.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в работе рассмотрена возможность использования целлюлозосодержащих отходов агропромышленного комплекса – плодовых оболочек зерен пшеницы (ПОЗП) для получения сорбентов при очистки природных и сточных вод от нефти. Получены три типа сорбента: нативный, термически обработанный и кислотнo-модифицированный. Установлено, что кислотная модификация обеспечивает наибольший прирост сорбционной способности (до 6,61 г/г) за счёт развития иерархической пористой структуры.

Ключевые слова: очистка сточных вод, сорбционные материалы, плодовые оболочки пшеницы, нефтеёмкость, пористая структура, кислотная модификация

Современное развитие промышленности и транспорта сопровождается повышенными рисками загрязнения водных объектов нефтью и нефтепродуктами. Особую опасность представляют разливы, требующие оперативной локализации и ликвидации. Среди методов очистки вод сорбционный является одним из наиболее эффективных благодаря своей универсальности и возможности использования возобновляемого растительного сырья [1]. В связи с этим актуальной задачей выступает поиск доступных и экологически безопасных материалов на основе отходов агропромышленного комплекса.

Целью настоящей работы являлось получение сорбентов из плодовых оболочек зерен пшеницы (ПОЗП), оценка их нефтеёмкости по отношению к нефтям девонового и карбонового отложений Республики Татарстан, а также исследование структурных изменений, происходящих при термической и кислотной модификации.

Объектом исследования служили плодовые оболочки зерен пшеницы, выступающие в качестве вторичного целлюлозосодержащего сырья. Модельным загрязнителем являлась нефть с плотностью 876 кг/м³ (определено пикнометрическим методом).

На основе ПОЗП были изготовлены три типа образцов:

1. Нативный (исходный) – ПОЗП.
2. Термически обработанный – ТПОЗП (муфельная печь, 200±5 °С, 30 мин).
3. Кислотно-модифицированный – КПОЗП (обработка 1 %-ным раствором H₂SO₄, соотношение твёрдой и жидкой фаз 1:100, 20±5 °С, 60 мин, перемешивание) [2,3].

Результаты определения сорбционной ёмкости и параметров пористой структуры представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние способа модификации на свойства сорбентов

Образец	Суммарный объём пор, см ³ /г	Удельная поверхность, м ² /г	Нефтеёмкость, г/г
ПОЗП	1,52±0,03	2,56 ± 1,03	5,73±0,12
ТПОЗП	2,34±0,04	2,79 ± 0,6	4,55±0,09
КПОЗП	2,76±0,04	3,64 ± 0,9	6,61±0,13

Как видно из таблицы, кислотная обработка приводит к наиболее значительному развитию порового пространства и росту сорбционной способности. Термическая обработка также эффективна, однако в меньшей степени.

Структурные изменения оценивали методом электронной микроскопии (микроскоп «JCM-6000 Neoscope II»).

Микроскопическое исследование показало, что исходный ПОЗП характеризуется равномерным распределением замкнутых пор округлой формы со средним размером около 19 мкм (×150) и 16–17 мкм (×240). Для ТПОЗП фиксируется увеличение неоднородности: размер пор достигает 19–20 мкм, встречаются отдельные поры до 25 мкм, поверхность становится текстурированной за счёт частичной деструкции матрицы. Наиболее выраженные изменения

наблюдаются у КПОЗП: при увеличении $\times 150$ средний размер пор возрастает до ~ 33 мкм, формируется открытая иерархическая пористая структура, включающая как мелкие (12–18 мкм), так и крупные поры. Это подтверждает рост сорбционной ёмкости.

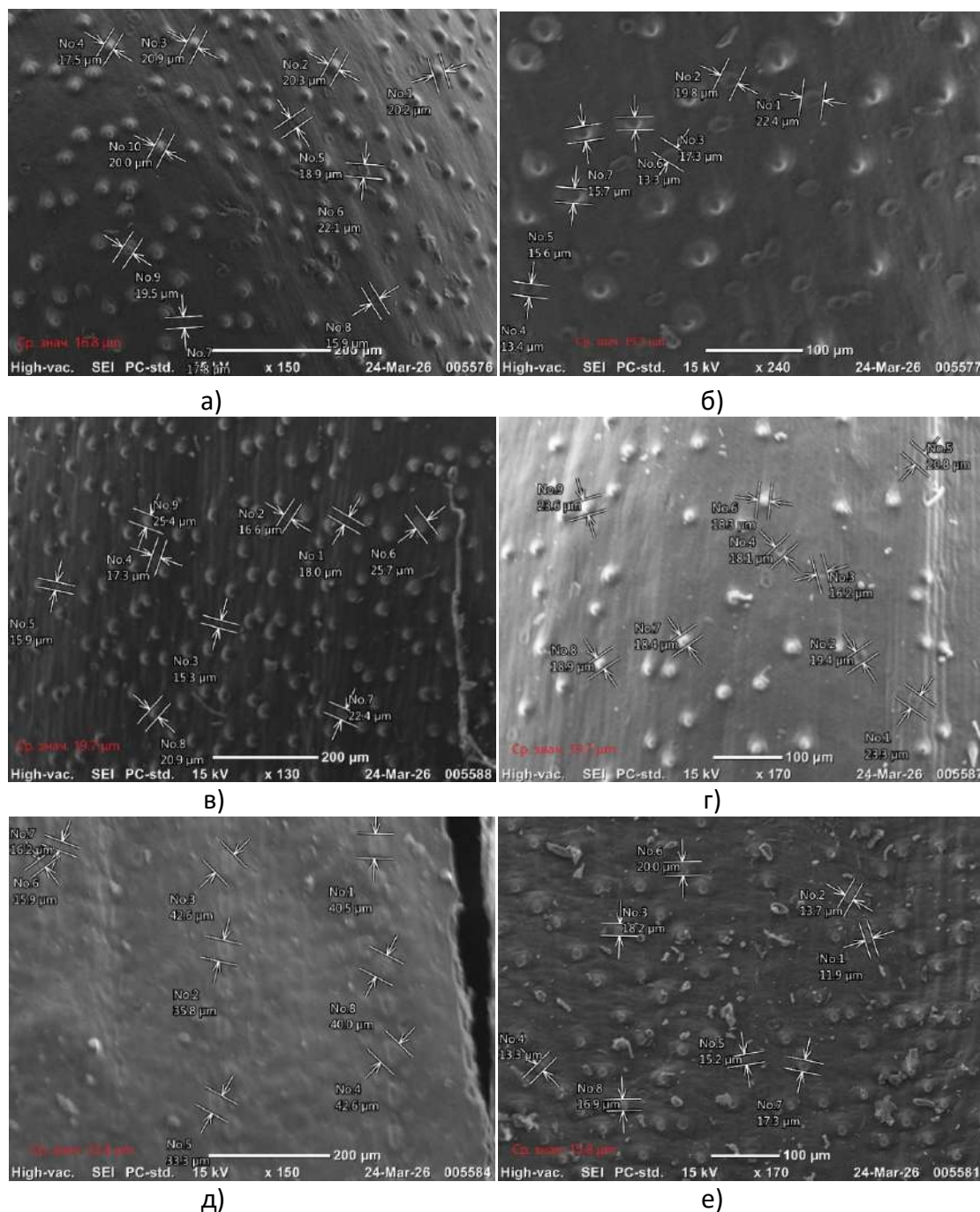


Рис. 1. Микроструктура поверхности образцов. а) ПОЗП ($\times 150$, масштаб 200 мкм), б) ПОЗП ($\times 240$, масштаб 100 мкм), в) ТПОЗП ($\times 130$, масштаб 200 мкм), г) ТПОЗП ($\times 170$, масштаб 100 мкм), д) КМПОЗП ($\times 150$, масштаб 200 мкм), е) КМПОЗП ($\times 170$, масштаб 100 мкм)

В результате проведённых исследований установлено, что плодовые оболочки зерен пшеницы, являющиеся целлюлозосодержащими отходами агропромышленного комплекса, могут эффективно использоваться в качестве сырья для получения сорбционных материалов, применяемых при очистке природных и сточных вод от нефтяных загрязнений. Сравнительный анализ трёх типов образцов (нативного, термически обработанного и кислотнo-модифицированного) показал, что кислотная модификация 1 %-ным раствором серной кислоты обеспечивает наибольшее развитие пористой структуры: суммарный объём пор возрастает с 1,52 до 2,76 см³/г, а удельная поверхность достигает 8,1 м²/г, что сопровождается максимальной нефтеёмкостью 6,61 г/г. Таким образом, предложенный способ переработки отходов переработки зерна позволяет получать экологически безопасные, доступные и высокоэффективные сорбенты для решения задач очистки вод в рамках обеспечения техносферной безопасности.

Список литературы

1. Кулакова И.И. Ликвидация аварийных разливов нефти. Сорбционная очистка поверхности акваторий от нефтяных загрязнений: учебное пособие к спецкурсам кафедры химии нефти и органического катализа «Переработка нефти» и «Нефтехимия» / И. И. Кулакова, Г. В. Лисичкин. — Москва : [б. и.], 2022. — 6 с. — Текст : непосредственный.
2. Хисамова А.Ш. Использование шелухи пшеницы в качестве природного сорбционного материала для ликвидации разливов нефти / А. Ш. Хисамова, С. В. Степанова, А. А. Алексеева // Ползуновский вестник. — 2025. — № 2. — С. 187–192. — DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.29. — Текст : непосредственный.
3. Латыпова А.Ш. Очистка сточных вод от ионов железа реагентом, полученным из плодовых оболочек пшеницы / А. Ш. Латыпова, С. В. Степанова // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования : сборник докладов всероссийской научной конференции. — 2019. — С. 171–172. — ISBN ????. — Текст : непосредственный.

Получение золя кремниевой кислоты на основе биогенного кремнезема

Чакилева Е. А.

Студент

Дальневосточный федеральный университет

Арефьева О. Д.

Профессор

Дальневосточный федеральный университет. Институт химии

Дальневосточного отделения Российской академии наук

Имшинецкий И. М.

Старший научный сотрудник лаборатории композиционных покрытий

биомедицинского назначения

Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук

Аннотация: в настоящей работе были получены золи кремниевой кислоты. Сырьевым источником был биогенный кремнезем из рисовой шелухи. Золи, синтезированные реакцией двойного обмена, были неустойчивыми во времени. Методом ионного обмена удалось получить стабильные во времени дисперсные системы, степень агрегации которых зависит от pH среды. Установлено, что щелочные золи имеют более низкое значение ζ -потенциала, которое препятствует укрупнению частиц.

Ключевые слова: золь, кремниевая кислота, диоксид кремния, рисовая шелуха, ионный обмен

Золи кремниевой кислоты представляют собой коллоидные системы, состоящие из мелкодисперсных частиц диоксида кремния, находящихся в дисперсионной среде [1]. Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам они находят широкое применение в различных областях, включая строительные технологии, производство стекла, фармацевтику и катализ [2].

Существует множество методов получения золь кремниевой кислоты, среди которых можно выделить гидролиз, ионный обмен, электродиализ, пептизацию гелей, а также реакцию двойного обмена [2, 3]. Наиболее распространёнными в промышленности являются методы двойного обмена и ионного обмена, позволяющие эффективно контролировать состав и свойства получаемых золь [4, 5]. Важнейшей характеристикой золь является их устойчивость,

которая определяется рядом факторов: значением pH, концентрацией электролитов, размером частиц, температурой и составом дисперсионной среды [2, 6].

В настоящее время золь кремниевой кислоты получают из растворимых силикатов или алкоксисиланов, в частности тетраэтоксисилана (ТЭОС) [7]. Однако всё больший интерес представляют альтернативные источники кремнезёма, в том числе биогенные, такие как отходы переработки риса (рисовая шелуха и солома). Использование подобных материалов соответствует принципам устойчивого развития, позволяет утилизировать отходы и получать доступный аморфный диоксид кремния с высокой реакционной способностью [8-10].

Цель работы – исследовать золи кремниевой кислоты, полученные из биогенного диоксида кремния.

В настоящей работе были синтезированы кислые (pH 1,35–3,69) и щелочные (pH 7–13) золи реакцией двойного обмена и ионообменным методом. В качестве прекурсора использовали биогенный кремнезем из рисовой шелухи. Контролируемыми параметрами для оценки устойчивости золь были относительная вязкость (η) и солесодержание (S).

Для характеристики золь была определена удельная поверхность по методу Сирса [11]. Содержание диоксида кремния было установлено гравиметрическим методом.

Параметры дисперсности суспензий и ζ -потенциал определяли на анализаторе Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, Великобритания) методом динамического светорассеяния.

Результаты исследований показали, что щелочные золи, полученные реакцией двойного обмена, были неустойчивыми. В течение двух суток мелкие частицы золь укрупнились в агрегаты, т.е. произошел процесс гелеобразования. Кислые золи были стабильны на протяжении 7 суток. Солесодержание кислых золь было в диапазоне 35–40 г/л, вязкость – 0,858-1,183 мПа·с. Далее частицы дисперсной фазы объединялись и образовывался гель.

Агрегативную устойчивость кремнезоль, полученных ионообменным методом, контролировали в течение двух недель. Солесодержание кислых золь варьировалось от 119 до 3000 мг/л, щелочных золь – от 503 до 1600 мг/л. Изменение вязкости золь во времени представлено на рис. 1. Как видно из рисунка 1а, вязкость щелочных золь к 3-4 дню увеличивается, а затем с течением времени стабилизируется и составляет 1,06–1,10 мПа·с. Вязкость кислых золь постепенно возрастает до 1,22-1,5 мПа·с, что больше, чем у щелочных золь.

Таким образом, кислые золи склонны к структурным изменениям, проявляя тенденцию к гелеобразованию и снижению ионной активности в ходе хранения, в отличие от щелочных зольей.

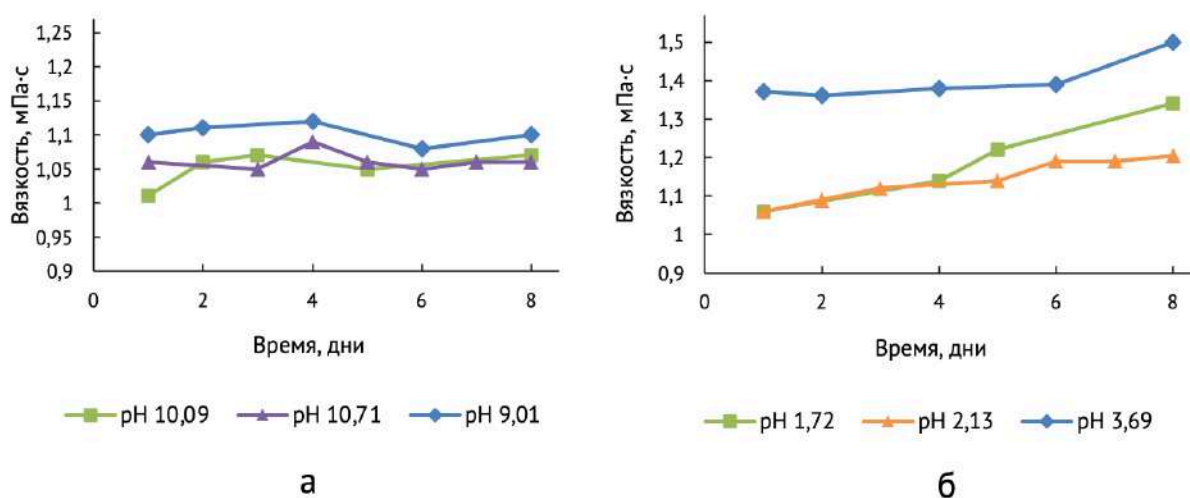


Рис. 1. Изменение вязкости зольей во времени, полученных ионообменным методом, с различным значением pH: а – щелочных зольей, б – кислых зольей

В таблице 1 представлена характеристика щелочных и кислых зольей, синтезированных ионным обменом. Из таблицы 1 видно, что содержание диоксида кремния в золях отличается незначительно и находится в области 0,02 г/мл. Частицы SiO_2 в кислых золях имеют более высокое значение удельной поверхности по сравнению с щелочными золями. Различие в удельной поверхности частиц SiO_2 между кислыми и щелочными золями может быть связано с условиями синтеза и степенью агрегации частиц. В кислой среде формируются более мелкие частицы, тогда как для щелочной характерна тенденция к агрегации частиц, что снижает их удельную поверхность.

Таблица 1

Содержание и удельная поверхность диоксида кремния в золях

Золь	Содержание SiO_2 , г/мл	Удельная поверхность SiO_2 , $\text{м}^2/\text{г}$
Кислый (pH 2,57)	0,016	348
Кислый (pH 1,93)	0,025	375
Щелочной (pH 10,09)	0,023	236
Щелочной (pH 10,36)	0,026	215

Методом динамического светорассеяния были определены ζ -потенциал (рис. 2) и распределение частиц по размерам (рис. 3) в щелочном (pH 10,36) и кислом золях (pH 1,93), полученных ионообменным методом.

Значение ζ -потенциала кислого золя является довольно низким (-1,56 мВ), что указывает на нестабильность системы. Такие частицы склонны к агрегации из-за слабого электростатического отталкивания. Для щелочного золя значение ζ -потенциала достигает -23,60 мВ, что является средним показателем для зольей. Поэтому щелочной золь является более стабильным, чем кислый золь, так как электростатическое отталкивание частиц с большим зарядом препятствует агрегации (рис. 2).

Для кислого золя средний размер частиц – 127,9 нм. Индекс полидисперсности равен 1, что указывает на высокую неоднородность частиц. На графике распределения частиц по интенсивности (рис. 3) видно неравномерное распределение, которое смещено вправо, что указывает на доминирование более крупных частиц с размером 348 нм (75 %). Доля мелких частиц с размером 36 и 8 нм в составе данного золя значительно меньше – 15 и 5 % соответственно.

Средний размер частиц щелочного золя – 136,5 нм. Индекс полидисперсности (0,554) меньше, чем у кислого золя и характеризует умеренную полидисперсность. На графике распределения частиц по интенсивности (рис. 3) наблюдается двупиковое распределение. Содержание крупных частиц с размером 269 нм – 93 %, мелких частиц с размером 26 нм – 7 %.

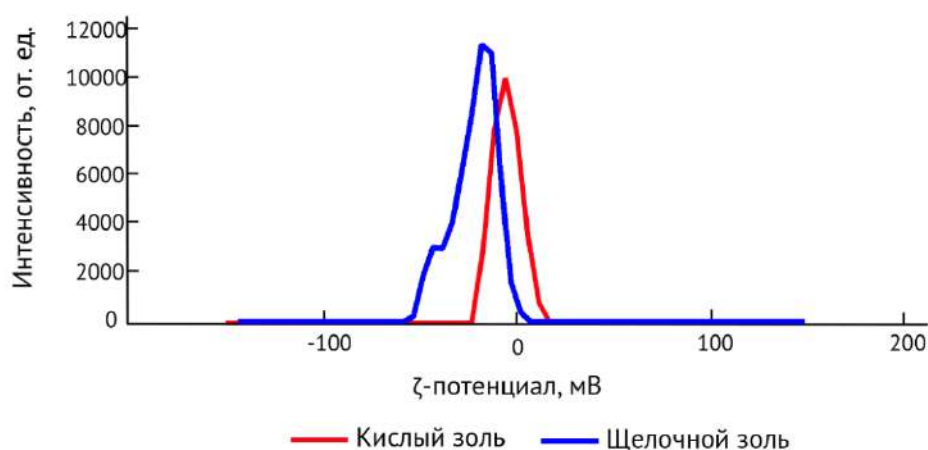


Рис. 2. ζ -потенциал щелочного и кислого зольей

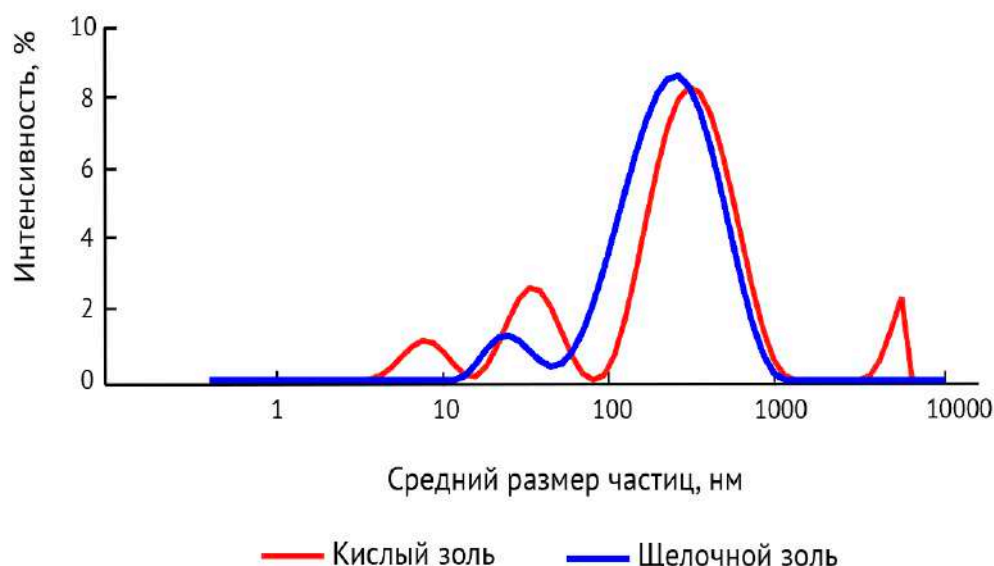


Рис. 3. Кривая распределение частиц кислого и щелочного золей по интенсивности

Таким образом, в работе синтезированы щелочные и кислые золи кремниевой кислоты ионообменным методом и реакцией двойного обмена. В качестве прекурсора использовали биогенный кремнезем из рисовой шелухи. Показано, что золи, полученные реакцией двойного обмена, являются неустойчивыми и склонными к гелеобразованию. Золи, синтезированные ионным обменом, обладают большей устойчивостью во времени, которая зависит от pH среды.

Список литературы

1. Роднова В.Ю. Гелеобразующие композиции на основе щелочного золя кремниевой кислоты для ремонтно-изоляционных работ : специальность 02.00.11 «Коллоидная химия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В.Ю. Роднова. – Москва, 2018. – 22 с. – URL:<https://www.dissercat.com/content/geleobrazuyushchie-kompozitsii-na-osnove-shchelochnogo-zolya-kremnievoi-kisloty-dlya-remontn> (дата обращения: 27.03.2026).
2. Кудрявцев П.Г. Золь-гель технология пористых композитов / П.Г. Кудрявцев, О.Л. Фиговский. – Германия : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 477 с. – ISBN 978-3-659-78529-0. – URL: https://www.researchgate.net/publication/295104610_Zol-gel_tehnologia_poristyh_kompozitov (дата обращения: 27.03.2026).

3. Айлер Р. Химия кремнезема. В 2 кн. Кн. 2 : Растворимость, полимеризация, коллоидные и поверхностные свойства, биохимия / Р. Айлер. – Москва : Мир, 1982. – 712 с.
4. Бурак Г. А. Способы получения кремнезоля / Г.А. Бурак, А.А. Меженцев // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 12-й Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2014. – Т. 3. – С. 494. – URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/13609> (дата обращения: 27.03.2026).
5. Литвинко В.Н. Способы получения золя кремниевой кислоты / В.Н. Литвинко; науч. рук. Г. А. Бурак // Новые материалы и технологии их обработки : сборник научных работ XV Республиканской студенческой научно-технической конференции, 22–25 апреля 2014 г. – Минск : БНТУ, 2014. – С. 192. – URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/13949> (дата обращения: 27.03.2026).
6. Кудрявцев П.Г. Получение неорганических композитов и керамики с использованием коллоидных растворов / П. Г. Кудрявцев. // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №4 (51). – С. 30. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-neorganicheskikh-kompozitov-i-keramiki-s-ispolzovaniem-kolloidnyh-rastvorov> (дата обращения: 27.03.2026).
7. Stöber W. Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range / W. Stöber, A. Fink, E. Bohn - DOI 10.1016/0021-9797(68)90272-5 // Journal of Colloid and Interface Science. – 1968. – Vol. 26, № 1. – P. 62 – 69.
8. Loganina V. Improving the Durability of Lime Finishing Mortars by Modifying Them with Silicic Acid Sol / V. Loganina, O. Davydova, R. Fediuk [et al.]. – DOI 10.3390/ma15072360 // Materials. – 2022. – Vol. 15, Art. 2360. – P. 14. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/7/2360> (дата обращения: 27.03.2026).
9. Логанина В.И. Известковые составы с применением модифицирующей добавки на основе золя кремниевой кислоты / В. И. Логанина, О. А. Давыдова. // Молодой учёный. – 2014. – № 5 (64). – С. 78–80. – URL: <https://moluch.ru/archive/64/> (дата обращения: 27.03.2026).
10. Логанина В.И. Структурообразование известковых композитов на основе модифицированного диатомита / В. И. Логанина, О. А. Давыдова, Е. Е. Симонов. // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 2 (22). – С. 68–72. –

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17876247> (дата обращения: 27.03.2026).

11. Sears G.W. Determination of Specific Surface Area of Colloidal Silica by Titration with Sodium Hydroxide / G. W. Sears. – DOI 10.1021/ac60120a048 // Analytical Chemistry. – 1956. – Vol. 28, № 12. – P. 1981-1983. – URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ac60120a048> (дата обращения: 27.03.2026).

Использование стеблей кукурузы (*Zea mays*) для удаления ионов Cr(VI) из водных сред (обзор литературы)

Шайхиева К. И.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Свергузова С. В.

Профессор

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: приведены данные литературных источников по использованию нативных и модифицированных стеблей кукурузы в качестве сорбционных материалов для удаления ионов Cr(VI) из водных сред. Приведены данные по объемам образования отходов от переработки биомассы кукурузы в мировом масштабе. Выявлено, что в процессе сорбции, часть ионов Cr(VI) восстанавливается в ионы Cr(III), которые также сорбируются биосорбентами на основе кукурузных стеблей.

Ключевые слова: стебли кукурузы (*Zea mays*), модификация, ионы Cr(VI), удаление

Ежегодно в мире образуется несколько миллиардов тонн сельскохозяйственных отходов, которые не находят должного применения. Как показывает, образуемые сельскохозяйственные отходы, в большинстве случаев, или банально запахиваются в почву для улучшения ее плодородия или сжигаются в местах образования. В тоже время, в литературных источниках показано, что сельскохозяйственные отходы являются ценным вторичным материальным ресурсом, которые могут найти применение во многих отраслях народного хозяйства [1–3].

Одним из направлений использования сельскохозяйственных отходов является их использование в качестве биосорбентов для очистки водных сред от различных загрязнений [4–10]. Различными исследователями показано, что отходы от переработки сельскохозяйственного сырья, такие как, в частности, жом сахарной свеклы [11], багасса сахарного тростника [12], солома злаковых культур [13, 14], косточки плодов деревьев [15–17], кожура фруктов [18] и многие

другие являются эффективными сорбционными материалами для извлечения поллютантов из природных и сточных вод.

Одной из распространенных сельскохозяйственных культур, выращивание которой повсеместно, является сахарная кукуруза (*Zea mays*), которая занимает второе место в мире среди сельскохозяйственных зерновых культур по объемам выращивания после пшеницы [19]. *Zea mays* - однолетнее травянистое культурное растение, единственный культурный представитель рода Кукуруза (*Zea*) семейства Злаки (*Poaceae*). Кукуруза - высокорослое однолетнее травянистое растение, достигающее высоты более 3 м. Растение имеет хорошо развитую мочковатую корневую систему, проникающую на глубину до 1,5 м. Стебель кукурузы прямостоячий, до 4 м в высоту и 7 см в диаметре, без полости внутри в отличие от большинства других злаковых. Листья крупные, линейно-ланцетные, до 10 см шириной и метр длиной. Их число колеблется от 8 до 42 [20].

Указывается, что в 2024 году площадь посевных земель в мире составила 201,6 млн. га, из них в Китае – 44,7 млн. га, в США – 33,23 млн. га, в Бразилии – 22,3 млн. га [4]. Кукуруза выращивается для употребления в пищу человека зерновок растения, которые находятся на наружной оболочке початка. Определено, что мировое производство зерновок кукурузы в 2023 г составило 1210 млн. тонн [21].

При уборке початков кукурузы на полях остаются два вида отходов – стебли и листья. Указывается, что масса сырых стеблей и листьев кукурузы к початку соотносится как 5,3:1, а в сухом виде соотношение имеет вид 9,2:1 [22]. Также выявлено, что при урожае 100 т зерновок кукурузы на полях остается от 450 до 600 т зеленой биомассы [23]. Т.е. при производстве зерновок кукурузы в мире в 2023 году более 1,2 млрд. тонн, масса остающихся на полях стеблей и листьев кукурузы в мире после уборки составляет миллиарды тонн.

Одним из поллютантов, который довольно часто присутствует в составе сточных вод различных производств являются ионы хрома (VI). Соединения хрома применяются во многих отраслях народного хозяйства. Соединения хрома используется при производстве нержавеющей стали, текстильных красок, консервантов для дерева, при хромировании, гальваническом, горячем цинковании, в кожевенной промышленности и пр. Следует отметить, что соединения хрома (VI) токсичны и их попадание в водные объекты негативно сказывается на жизнедеятельности гидробионтов.

В промышленности очистка сточных вод, содержащих ионы Cr(VI) , заключается в восстановлении ионов последних в кислой среде до ионов Cr(III) и последующей обработкой щелочными реагентами. Образующийся Cr(OH)_3 нерастворим в воде и выпадает в осадок, а затем удаляется известными методами. Недостатком химического метода удаления ионов Cr(VI) является многостадийность, большой расход дорогих реагентов, необходимость наличия дозирующего оборудования и др.

Альтернативным является сорбционный способ извлечения ионов Cr(VI) из водных сред [24, 25]. В настоящей работе обобщен мировой опыт сорбционного извлечения ионов Cr(VI) и Cr(III) из сточных вод стеблями кукурузы. Так, в работе [26] исследовалось извлечение ионов Cr(III) и Cr(VI) из модельных растворов биомассой измельченных стеблей *Zea mays*. Определено, что значения максимальной сорбционной емкости по названным ионам составили 87,4 и 62,3 $\text{мг}\cdot\text{г}^{-1}$, соответственно. Выявлено, что изотермы адсорбции ионов Cr(III) и Cr(VI) биомассой стеблей кукурузы наиболее точно описываются моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка. Уравнению псевдовторого порядка. Также определено, что влияние температуры на адсорбционную способность стеблей было незначительным. Выявлено, что в процессе адсорбции ионов хрома обеих валентностей соломой параллельно протекают физическая диффузия и химическая адсорбция, при этом химическая адсорбция является доминирующей, а влиянием физической диффузии на скорость химической адсорбции можно пренебречь [26].

Увеличить сорбционные характеристики стеблей кукурузы по ионам Cr(VI) , как показывает анализ литературных источников, возможно модификацией различными химическими реагентами. Так, в работе [27], показано, что обработка стеблей растения поли(диметиламиноэтилметакрилатом) с помощью радикальной полимеризации с переносом атомов позволила увеличить значение максимальной сорбционной емкости по ионам Cr(VI) с 56 мг/г до 145 мг/г . Определено, что время достижения сорбционного равновесия составило всего 10 минут.

Модифицированный адсорбент из стеблей кукурузы синтезирован реакцией между эпихлоргидрином и триэтиламином с использованием диэтилентриамина в качестве модифицирующего агента в присутствии N,N-диметилформамида (DMF). Результаты показали, что адсорбция ионов Cr(VI) незначительно

зависит от pH, но значительно – от температуры. Изотермы адсорбции более точно соответствовали модели Ленгмюра. Максимальная адсорбционная способность модификата по ионам Cr(VI) составила 200,00 мг/г при 303 К. Выявлено, что кинетические данные лучше всего аппроксимировались с помощью модели псевдо-второго порядка. Для исследования механизмов адсорбции была применена модель внутричастичной диффузии. Полученные термодинамические параметры показали, что адсорбция ионов Cr(VI) на адсорбенте является спонтанным и эндотермическим процессом [28]. Анализ ИК-спектров подтвердил наличие большого количества аминогрупп с положительным зарядом в структуре модифицированного стебля. Рамановский сдвиг пика иона Cr(VI) указывает на электростатическое притяжение между ионами Cr(VI) и положительно заряженными аминными группами биосорбента [29].

Стебли кукурузы модифицировались реакциями с эпихлоргидрином, N,N-диметилформамидом, триэтиламином и различными сшивающими агентами и оценивались на возможность удаления ионов Cr(VI). Полученные изотермы сорбции обрабатывались в рамках Ленгмюра, Фрейндлиха и Темкина. Экспериментальные результаты показали, что стебли *Zea mays*, модифицированные с использованием диэтилентриамина, обладают наилучшим эффектом модификации, адсорбционная способность данного модификата по ионам Cr(VI) достигает 227,27 мг/г при 323 К [30].

Этот же модификат стебля кукурузы исследовался для удаления ионов Cr(VI) в динамических условиях. Исследовалось влияние различных параметров, таких как глубина слоя адсорбента (1,4, 2,2 и 2,9 см), скорость потока (5, 10 и 15 см³/мин), концентрация ионов Cr(VI) в исходном растворе (100, 200 и 300 мг/дм³) и pH исходного раствора (pH = 2,66, 4,91 и 5,66). Определено, что время истощения увеличивалось с увеличением глубины слоя адсорбента, уменьшением скорости потока и концентрации исходного раствора. Определено, что в зависимости от условий проведения процесса, значения сорбционной емкости варьировались от 112 до 250 мг/г. Для прогнозирования кривых проскока и оценки параметров модели колонны с неподвижным слоем адсорбента использовались модели Адамса-Бохарта, Томаса и Юна-Нельсона при различных экспериментальных условиях. Выявлено, что модели Томаса и Юна-Нельсона хорошо согласовались с полученными экспериментальными данными [31]. Модифицированные стебли кукурузы в колонке могут быть легко

регенерирована с помощью 1,0 М раствора HCl примерно за 20 минут. Установлено, что ионы Cr(VI) частично восстанавливаются до ионов Cr(III) в колонке модификатом, который также проявляет способность удерживать ионы Cr(III) [32].

Выявлено, что модификация стеблей кукурузы раствором HCl способствует прививке на поверхность биосорбента хлора. Данное обстоятельство приводит к тому, что ионы Cr(VI), в основном, удаляются путем ионного обмена с ионом хлорида. При этом наблюдается и процесс восстановления ионов Cr(VI) до ионов Cr(III). Кинетические исследования показали, что в экспериментальных условиях восстановление Cr(VI) может достигать почти равновесного состояния примерно за 20-30 мин. Для описания реакции восстановления были предложены уравнения скорости, основанные на изменении величины Cr(III), а с кинетическим уравнением нулевого порядка были получены лучшие аппроксимации. Кроме того, активированная энергия реакции восстановления Cr(VI) оценивалась примерно в 36,8 кДж/моль [33].

Для отделения отработанного биосорбентов на основе кукурузного стебля из влажной среды предложено намагничивание последних с использованием различных соединений, обладающих магнетизмом [34, 35].

Таким образом, в статье кратко приведены данные мировых литературных источников по сорбционной очистке водных сред от ионов Cr(VI) нативными и модифицированными различными реагентами стеблей кукурузы. Определено, что все исследования проведены группами авторов из Китая.

Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение №10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025).

Список литературы

1. Nguyen H., Moghadam, M.J., Moayedi H. Agricultural wastes preparation, management, and applications in civil engineering: a review // Journal of Material Cycles and Waste Management. 2019. Vol. 21. No 5. P. 1039-1051.
2. Biomass conversion of agricultural waste residues for different applications: a comprehensive review / N. Gupta, B.K. Mahur, A.M.D. Izrayeel et al. //

- Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29. No 49. P. 73622-73647.
3. Nath A., Das K., Dhal G.C. Global status of agricultural waste-based industries, challenges, and future prospects // *Agricultural Waste to Value-Added Products: Technical, Economic and Sustainable Aspects*. 2023. P. 21-45.
 4. Шайхиев И.Г. использование отходов сельского хозяйства для очистки сточных вод гальванических производств // *Вестник машиностроения*. 2006. № 4. С. 73-77.
 5. Khatoon H., Rai J.P.N. Agricultural waste materials as biosorbents for the removal of heavy metals and synthetic dyes - a review // *Octa Journal of Environmental Research*. 2016. Vol. 4. No 3. P. 208-229.
 6. Modification of agricultural wastes to improve sorption capacities for pollutant removal from water—a review / G. Liu, Z. Dai, X. Liu et al. // *Carbon Research*. 2022. Vol. 1. No 1. P. 1-24.
 7. Шайхиев И.Г. использование растительных сельскохозяйственных отходов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Ч. I // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2010. № 3. С. 15-25.
 8. Шайхиев И.Г. использование растительных сельскохозяйственных отходов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Ч. II // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2010. № 4. С. 30-40.
 9. Bharathi K.S., Ramesh S.T. Removal of dyes using agricultural waste as low-cost adsorbents: a review // *Applied Water Science*. 2013. Vol. 3. No 4. P. 773-790.
 10. Using wastes of buckwheat processing as sorption materials for the removal of pollutants from aqueous media: a review // I.G. Shaikhiev, S.V. Sverguzoza, R.Z. Galimova, A.S. Grechina // *Conference Series: Materials Science and Engineering. Buildintech bit 2020. Innovations and Technologies in Construction*. 2020. Vol. 945. Article 012044. P. 1-11.
 11. Использование нативного и модифицированных образцов жома сахарной свеклы (*Beta vulgaris*) в качестве сорбционных материалов для удаления загрязняющих веществ из водных сред / К.И., Шайхиева, С.В. Степанова, И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова // *Химия растительного сырья*. 2024. № 3. С. 49-70.

12. Sugarcane bagasse: a potential low-cost biosorbent for the removal of hazardous materials / T.C. Sarker, S.M.G.G. Azam, A.M.A.G El-Gawad et al. // *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2017. Vol. 19. No 10. P. 2343-2362.
13. Использование отходов от переработки биомассы овса в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы) / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, А.С. Гречина, К.И. Шайхиева // *Экономика строительства и природопользования*. 2018. № 2 (67). С. 51-60.
14. Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents—a review of the recent literature / U. Farooq, J.A. Kozinski, M.A. Khan, M. Athar // *Bioresource Technology*. 2010. Vol. 101. No 14. P. 5043-5053.
15. Removing pollutants from sewage waters with ground apricot kernel shell material / I. Shaikhiev, K. Shaykhieva, S. Sverguzova et al. // *Materials*. 2022. Vol. 15. № 10. P. 1-21.
16. Использование скорлупы грецкого ореха (*Juglans regia*) в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из природных и сточных вод // И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова, К.И. Шайхиева, Ж.А. Сапронова // *Химия растительного сырья*. 2020. № 2. С. 5-18.
17. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzova S.V. Review of almond (*Prunus dulcis*) shell use to remove pollutants from aquatic environments // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2021. vol. 11. № 6. P. 14866-14880.
18. Использование кожуры мандаринов в качестве сорбционных материалов для удаления загрязняющих веществ из водных сред / И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова, К.И. Шайхиева и др. // *Химия растительного сырья*. 2023. № 1. С. 61-75.
19. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications / O. Erenstein, M. Jaleta, K. Sonder et al. // *Food Security*. 2022. Vol. 14. P. 1295–1319.
20. Shultz S. Corn // *Journal of Agricultural & Food Information*. 2008. Vol. 9. No 2. P. 101-114.
21. Historical changes and yield in the Ohio corn performance test: A 50-year summary / J.C. Medeiros, J. Zavala, M. Shahrokhi et al. // *Agronomy Journal*. 2025. Vol. 117. No 1. Article e21746. P. 1-19.

22. Табаленкова Г.Н., Дымова О.В., Головки Т.К. Продуктивность и состав биомассы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми // Аграрный вестник Урала. 2020. № 3 (194). С. 57-65.
23. Фоменко П.А., Богатырёва Е.В. Пищевая ценность кукурузного силоса, заготовленного в районах Вологодской области // Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 2(16). С. 55-65.
24. A review on recent advances of adsorption and photoreduction of Cr (VI) / W. Zeng, Y. Luo, C. Wang et al. // Environmental Pollutants and Bioavailability. 2025. Vol. 37. No 1. Article 2493057. P. 1-18.
25. Advances in sorptive removal of hexavalent chromium (Cr (VI)) in aqueous solutions using polymeric materials / X. Yuan, J. Li, L. Luo et al. // Polymers. 2023. Vol. 15. No 2. Article 388. P. 1-34.
26. Wheat straws and corn straws as adsorbents for the removal of Cr (VI) and Cr (III) from aqueous solution: kinetics, isotherm, and mechanism / Y. Chen, Q. Chen, H. Zhao et al. // ACS Omega. 2020. Vol. 5. No 11. P. 6003-6009.
27. Rapid removal of Cr (VI) ions by densely grafted corn stalk fibers: High adsorption capacity and excellent recyclable property / X. Wen, N. Sun, C. Yan et al. // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. 2018. Vol. 89. P. 95-104.
28. Removal of Cr (VI) from aqueous solution using modified corn stalks: Characteristic, equilibrium, kinetic and thermodynamic study / S. Chen, Q. Yue, B. Gao et al. // Chemical Engineering Journal. 2011. Vol. 168. No 2. P. 909-917.
29. Preparation and characteristics of anion exchanger from corn stalks / S. Chen, Q. Yue, B. Gao et al. // Desalination. 2011. Vol. 274. No 1-3. P. 113-119.
30. Adsorption of hexavalent chromium on modified corn stalk using different cross-linking agents / S. Chen, Y. Zhu, Z. Han et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 274. No. 1. Article. 012017. P. 1-9.
31. Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution by modified corn stalk: a fixed-bed column study / S. Chen, Q. Yue, B. Gao et al. // Bioresource Technology. 2012. Vol. 113. P. 114-120.
32. Cr (VI) removal from water by fixed-bed column filled with modified corn stalk / W. Cao, H. Ao, Z. Wang et al. // Environmental Engineering Science. 2019. Vol. 36. No 9. P. 1070-1078.

33. Removal of Cr (VI) by corn stalk based anion exchanger: the extent and rate of Cr (VI) reduction as side reaction / W. Cao, Z. Wang, H. Ao, B. Yuan // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2018. Vol. 539. P. 424-432.
34. High-capacity adsorption of dissolved hexavalent chromium using amine-functionalized magnetic corn stalk composites / W. Song, B. Gao, T. Zhang et al. // Bioresource Technology. 2015. Vol. 190. P. 550-557.
35. Honeycomb-like magnetic cornstalk for Cr (VI) removal and ammonium release / J. Ren, G. Zhang, D. Wang et al. // Bioresource Technology. 2019. Vol. 291. Article 121856.

Использование опилок древесины берёзы для адсорбционной очистки сточных вод от полихлорированных бифенилов

Шамрай Д.

Студент

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

Первова М. Г.

Старший научный сотрудник лаборатории фторорганических соединений

Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, г. Екатеринбург

Саморукова М. А.

Ведущий инженер-исследователь лаборатории фторорганических соединений

Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, г. Екатеринбург

Салоутин В. И.

Заведующий лабораторией фторорганических соединений

Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, г. Екатеринбург

Аннотация: проведено исследование использования нативных опилок древесины берёзы повислой для адсорбционной очистки сточных вод от полихлорбифенилов (ПХБ), являющихся суперэкоотоксикантами. Изучали зависимость извлечения ПХБ от продолжительности процесса, массы сорбента, объёма и концентрации ПХБ в водном растворе. Показано, что опилки древесины берёзы проявляют высокие сорбционные свойства и достигается полное извлечение ПХБ из водных сред.

Ключевые слова: опилки древесины берёзы, полихлорбифенилы, газовая хроматография, сорбенты, извлечение, сточные воды

Использование отходов деревообрабатывающих производств, таких как опилки древесины, в качестве сорбционных материалов для извлечения и очистки водных объектов от загрязнений различной природы достаточно перспективно и экономически выгодно. Берёза – одна из главных лесообразующих пород России [1,2]. По площади произрастания она находится на втором месте после лиственницы и на ее долю приходится порядка 20 % от всех лесов. Все части растения (древесина, береста, кора, ветки) находят широкое применение

в качестве сырья для разных отраслей промышленности: производства фанеры и паркета, изготовления мебели, посуды, токарных и художественных изделий. Берёзовые почки, листья, сок, дёготь широко используются в фитотерапии, медицине и ветеринарии как лечебные средства с противовоспалительным и антисептическим действием.

Одними из поллютантов объектов окружающей среды антропогенного происхождения являются полихлорбифенилы (ПХБ). Обладая специфическими теплофизическими свойствами, ПХБ с конца 20-х годов прошлого века нашли широкое применение во всём мире в качестве диэлектрических жидкостей в электрооборудовании. Это привело к глобальной загрязнённости ими объектов природы. Впоследствии было определено, что ПХБ обладают токсичностью, оказывают вредное воздействие на живые организмы и были отнесены к группе стойких органических загрязнителей (СОЗ). Промышленные или коммунальные стоки являются основными источниками попадания ПХБ в сточные воды.

По литературным данным для очистки водных сред от ПХБ используют, в основном, активированный уголь. При этом активированный уголь на основе растительной биомассы обладает большей сорбционной способностью по отношению к ПХБ, чем активированный уголь, полученный на основе разновидностей каменного угля [3–6]. В работах [7,8] показано, что высокоэффективными сорбентами для удаления ПХБ из водных сред могут быть опилки древесины сосны и липы и материалы на основе волокна из листьев пальмы.

Цель данной работы: исследование нативных опилок древесины берёзы в качестве сорбента для очистки сточных вод от ПХБ.

В качестве сорбционного материала в работе использовали опилки древесины берёзы повислой (*Betula pendula*), являющиеся отходом на деревообрабатывающем предприятии г. Екатеринбурга. Опилки измельчали с помощью барабанно-шаровой мельницы и ситовым анализом выделяли фракцию с размером частиц 0,75–2,00 мм. Объектом извлечения из воды была смесь ПХБ, содержащая ди-, три-, тетра-, пента, гекса- и гептахлорбифенилы [7]. Сорбционные свойства опилок изучались в статическом режиме. Концентрацию смеси ПХБ в водных растворах до и после процесса сорбции определяли методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием (ГХ-ПИД). Извлечение смеси ПХБ из водной среды проводили жидкостной экстракцией

n-гексаном при соотношении водной и органической фаз 25 : 1. Количественную оценку содержания смеси ПХБ в водном растворе проводили по методу абсолютной градуировки, используя *n*-гексановые экстракты водных растворов ПХБ.

Эффективность сорбции ПХБ оценивали с помощью процента извлечения (1):

$$R_{\text{извлеч}} = \frac{(C_{\text{ПХБ}}^{\text{исх}} - C_{\text{ПХБ}}^{\text{ост}})}{C_{\text{ПХБ}}^{\text{исх}}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где $C_{\text{ПХБ}}^{\text{исх}}$, $C_{\text{ПХБ}}^{\text{ост}}$ – концентрация смеси ПХБ в исходном водном растворе и остаточная концентрация смеси ПХБ в водной фазе после процесса сорбции, мг/дм³.

Для исследования процента извлечения смеси ПХБ в зависимости от продолжительности процесса (15 мин-14 сут) использовали 50 см³ водного раствора смеси ПХБ с концентрацией 50 мг/дм³ и 0,5 г сорбента. Установлено, что через 15 мин выдержки процент извлечения составил 91,5 % (рис. 1). С увеличением времени процент извлечения постепенно повышается и через 7 сут ПХБ в воде не обнаруживаются.

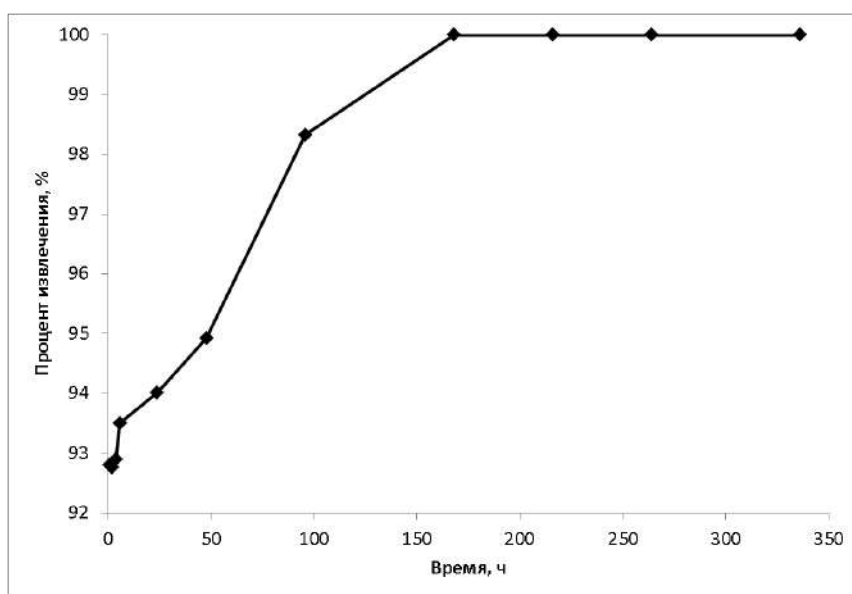


Рис. 1. Зависимость процента извлечения смеси ПХБ от продолжительности сорбции опилками берёзы

При исследовании процента извлечения смеси ПХБ в зависимости от массы сорбента (0,1–1,0 г) использовали 50 см³ водного раствора смеси ПХБ с концентрацией 50 мг/дм³ и извлечение проводили в течение 1 ч. Установлено, что увеличение массы сорбента мало влияет на процент извлечения и составляет 94-92 %.

Исследование процента извлечения смеси ПХБ в зависимости от объёма водного раствора (50–200 см³) проводили с использованием водных растворов с концентрацией смеси ПХБ 50 мг/дм³, массы сорбента 0,5 г и извлечения в течение 1 ч. Установлено, что увеличение объёма не влияет на процент извлечения.

Для исследования зависимости процента извлечения от концентрации смеси ПХБ в воде использовали 50 см³ водных растворов с концентрациями смеси ПХБ 50; 100; 150; 200 и 250 мг/дм³. В каждый водный раствор добавляли по 0,5 г сорбента и извлечение проводили в течение 1 ч. Показано, что, хотя с увеличением концентрации смеси ПХБ остаточная концентрация смеси ПХБ в водном растворе увеличивается, процент извлечения меняется незначительно с 92 до 88 % (рис. 2).

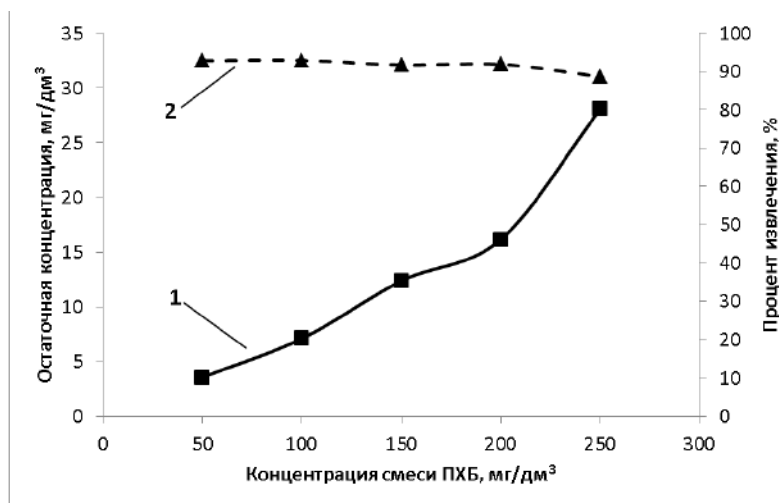


Рис. 2. График зависимости остаточной концентрации (1) и процента извлечения (2) смеси ПХБ от концентрации смеси ПХБ в водном растворе при сорбции опилками берёзы

При этом не была выявлена зависимость процента извлечения от степени хлорирования конгенов ПХБ при каких-либо изменениях параметров сорбции.

Для оценки эффективности сорбента для повторной сорбции использовали опилки берёзы (0,5 г), отделенные от водной фазы после первой сорбции

в течение 7 сут. Сорбент высушивали и вносили в новый водный раствор (50 см^3) с концентрацией смеси ПХБ 50 мг/дм^3 . Полученную смесь выдерживали при перемешивании ещё в течение 7 сут. Установлено, что после проведения повторной сорбции с помощью опилок берёзы так же, как и при первичной сорбции, ПХБ в растворе не обнаружены.

Для исследования процента десорбции ПХБ использовали опилки берёзы, полученные и отделенные после сорбции смеси ПХБ из водных растворов с концентрацией 50 мг/см^3 в течение 7 сут. Извлечение ПХБ из сорбентов проводили экстракцией в аппарате Сокслета смесью *n*-гексан : ацетон в соотношении 1:1. Очистку экстрактов проводили многослойной колоночной хроматографией с использованием силикагеля, флорисила и силикагеля, импрегнированного серной кислотой. В качестве элюента использовали *n*-гексан. Количественную оценку содержания смеси ПХБ в экстракте проводили по методу абсолютной градуировки, используя растворы смеси ПХБ в *n*-гексане.

Эффективность десорбции ПХБ оценивали с помощью процента десорбции (2):

$$R_{\text{десорб}} = \frac{C_{\text{сорб}}^{\text{найд}}}{C_{\text{сорб}}^{\text{теор}}} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где $C_{\text{сорб}}^{\text{найд}}$ – концентрацию смеси ПХБ в экстракте из сорбента, мг/см^3 , $C_{\text{сорб}}^{\text{теор}}$ – теоретическая концентрация смеси ПХБ в экстракте из сорбента при 100 % сорбции смеси ПХБ из водного раствора, мг/см^3 .

При использовании опилок берёзы степень десорбции для суммы ПХБ составила 62,0 %. Выраженной зависимости процента десорбции от степени хлорирования конгенов ПХБ обнаружено не было.

Для расчета изотерм адсорбции и математического моделирования сорбции для ПХБ использовали алгоритм, описанный в [9].

При определении типа установлено, что согласно классификации Брунауэра, Деминга, Деминга и Теллера (БДДТ), изотерма адсорбции относится к I типу, который характерен для сорбентов с микропористой структурой и относительно малой долей внешней поверхности, а по классификации Гильса – к классу L [9,10].

Математическое описание изотермы адсорбции проводилось с применением математических моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина, Дубинина-Радужкевича и Брунауэра, Эмметта и Теллера (БЭТ). Данные, полученные при построении изотерм сорбции по различным моделям, представлены в таблице. Применимость модели оценивали с помощью коэффициентов корреляции (r) и аппроксимации (R^2).

Таблица

Данные различных моделей изотерм адсорбции

Модель изотермы адсорбции	Уравнение	Коэффициент корреляции (r)	Коэффициент аппроксимации (R^2)
Ленгмюра	$y = 0,706 \cdot x + 0,014$	0,9976	0,9953
Фрейндлиха	$y = 0,775 \cdot x + 0,272$	0,9860	0,9723
Тёмкина	$y = 8,640 \cdot x - 7,026$	0,9908	0,9816
Дубинина-Радужкевича	$y = -0,542 \cdot x + 5,828$	-0,7827	0,6126
БЭТ	$y = -0,145 \cdot x + 0,021$	-0,5091	0,2592

Таким образом, показано, что процесс сорбции смеси ПХБ из водных растворов опилками берёзы лучше описывается моделью Ленгмюра. В этом случае значения коэффициентов корреляции и аппроксимации наиболее приближены к единице.

Следовательно, сорбент на основе опилок древесины берёзы обладает микропористой структурой, однородной поверхностью и адсорбция ПХБ происходит, в основном, на поверхности сорбента.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (№ гос. рег. 124020500047-5).

Список литературы

1. Лес России. Энциклопедия / Под общей редакцией А. И. Уткина, Г. В. Линдемана, В. И. Некрасова, А. В. Симолина. М. : Большая Российская энциклопедия, 1995. 448 с.

2. Сафонов Г., Хассегава М., Лескинен П., Ван Брусселен Й., Алексеев А., Лукина Н., Ракитова О., Куликова Е., Сафонов М. Леса России и изменение климата. Европейский институт леса, 2020. – 140 с.
3. Binglu D., Xingqiu Z., Xingjian Y., Zhi D., Guining L. Removal of polychlorinated biphenyls and recycling of tween-80 in soil washing eluents // *Desalination and Water Treatment*. – 2017. – V. 64. – P. 109–117.
4. Zhou Y., Miao D., Gomez-Eyles L. J., Ghosh U., Bi M., Li J., Ren F. Comparative study on polychlorinated biphenyl sorption to activated carbon and biochar and the influence of natural organic matter // *Chemosphere*. – 2022. – V. 287 – P. 1–9.
5. Amstaetter K., Eek E., Cornelissen G. Sorption of PAHs and PCBs to activated carbon: coal versus biomass-based quality // *Chemosphere*. – 2012. – V. 87. – P. 573–578.
6. Huang S., Bao J., Shan M., Qin H., Wang H., Yu X., Chen J., Xu Q. Dynamic changes of polychlorinated biphenyls (PCBs) degradation and adsorption to biochar as affected by soil organic carbon content // *Chemosphere*. – 2018. – V. 211. – P. 120–127.
7. Первова М.Г., Саморукова М.А., Дворянкин Д.Ю., Первова И.Г., Салутин В. И. Применение сорбентов растительного происхождения для извлечения полихлорированных бифенилов из водных сред // *Химия растительного сырья*. – 2025. – № 4. – С. 425–433.
8. Mekky A. H., Khathi M. T., Saheeb A. A. Removal of three phenolic compounds [polychlorinated biphenyl (PCB 105, PCB 118 and PCB 150)] from aqueous solution by fiber palm as a biosorbent // *Journal of Global Pharma Technology*. – 2019. – V. 11, №. 3. – P. 371–380.
9. Галимова Р.З., Шайхиев И.Г., Свергузова С.В. Обработка результатов исследования процесса адсорбции с использованием программного обеспечения Microsoft Excel: практикум: учебное пособие. – Казань: КНИТУ; Белгород: БГТУ, 2017. – 60 с.
10. Адамова Л.В., Сафронов А.П. Сорбционный метод исследования пористой структуры наноматериалов и удельной поверхности наноразмерных систем: учебное пособие. – Екатеринбург: УрГУ, 2008. – 62 с.

Секция 2. ОХРАНА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО И НЕОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

УДК 665.71:547.279.53

Изучение процесса экстракционного извлечения нефтяных сульфонов из оксидата дизельной фракции водными растворами изопропилового спирта и оценка ее эксплуатационных свойств

Аврамович Д. Д.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Шарифуллин А. В.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Зарифянова М. З.

Заведующий лабораторией

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казанский
национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ

Аннотация: подобраны оптимальные условия экстракционного извлечения нефтяных сульфонов из оксидата дизельной фракции 240-350°C АО «Татнефтепром-3юзеевнефть» водными растворами изопропилового спирта. Получены зависимости степени извлечения и содержания сульфонов в продуктах от объемной кратности экстрагента и промывного растворителя. Содержание серы в дизельной фракции снижается с 2,59 мас. % до 0,4 мас. %. Установлено, что очищенная дизельная фракция по основным характеристикам соответствует требованиям ГОСТ 32511 на летние и межсезонные сорта дизельных топлив.

Ключевые слова: окислительное обессеривание, селективный экстрагент, нефтяные сульфоны, степень извлечения, объемная кратность

Одной из важнейших задач нефтепереработки является получение качественных нефтепродуктов из высокосернистых нефтей с содержанием общей серы ($S_{\text{общ.}}$) более 4 мас. %. [1]. Все более ужесточающиеся экологические

требования к моторным топливам с низким содержанием серы (не более 10 мг/кг) увеличивают капитальные затраты на их производство. Промышленным способом удаления сернистых соединений из нефтяных фракций является гидроочистка, которая требует жестких условий проведения процесса и сложного аппаратурного оформления. На селективных катализаторах под действием водорода сернистые соединения превращаются в сероводород, который является экологически опасным продуктом и в дальнейшем подвергается утилизации.

С увеличением спроса на высококачественные нефтепродукты все более актуальной становится задача удаления и дальнейшего использования серы и серосодержащих продуктов в других областях промышленности. Это создает возможность разработки новых более простых, экологически чистых технологий получения малосернистых дизельных топлив на основе комбинации процесса селективного окисления сернистых соединений с последующим экстракционным извлечением из оксидатов полярных продуктов – нефтяных сульфоксидов и сульфонов.

Нефтяные сульфоксиды и сульфоны используются в качестве экстрагентов редких и цветных металлов, ингибиторов коррозии, селективных растворителей, пластификаторов полимерных материалов, ПАВ в нефтехимии, компонентов антиокислительных и противозадирных присадок к маслам, физиологически-активных веществ, десикантов и гербицидов в сельском хозяйстве [2].

Основными классами сернистых соединений, содержащихся в дизельной фракции, являются алкил-, циклоалкил-, алкиларилсульфиды, а также гетероароматические соединения – алкилпроизводные тиафенов, бензотиафенов, дибензотиафенов. В процессе окисления сернистых соединений дизельной фракции происходит образование сульфоксидной группы $>S=O$ или сульфонной группы $>SO_2$, что делает молекулу более полярной и увеличивает селективность при экстракции избирательным растворителем.

В настоящее время возрос интерес к разработке технологии получения нефтяных сульфонов, так как происходит более глубокое окисление трудногидрируемых соединений бензо- и дибензотиафенового ряда [3]. При экстракционном извлечении нефтяных сульфонов из оксидатов дизельных фракций необходимо подобрать эффективный экстрагент, т.к. узел экстракции определяет экономическую эффективность всего процесса получения нефтяных сульфонов.

Высокой избирательностью при экстракционном извлечении нефтяных сульфонов из оксидатов дизельных фракций обладают протонодонорные растворители, наиболее технологичным из которых является изопропиловый спирт (ИПС). Нефтяные сульфоны являются термически нестабильными соединениями и разлагаются при температуре выше 130 °С, это необходимо учитывать при разработке технологии их получения [4].

Доказано, что водные растворы ИПС с содержанием 30–50 % об. воды обладают устойчивой во времени надмолекулярной структурой, размеры полостей которой зависят от содержания воды в растворе [5]. С увеличением содержания воды в ИПС размеры полостей надмолекулярной структуры раствора уменьшаются.

Применение в качестве экстрагента сульфонов водных растворов ИПС, содержащих от 25–40 % об. воды позволит разработать простую технологию, так как при регенерации ИПС из экстрактного и рафинатного растворов образуется гомогенный водный азеотроп, содержащий 12 мас. % воды, т.е. в процессе регенерации экстрагента образуются более концентрированные водные растворы ИПС по сравнению с теми растворами, которые вводятся в систему самого процесса экстрагирования. С куба колонны разделения экстрактного раствора в этом случае должна выводиться эмульсия, которая расслаивается на сульфоны и воду. Сульфоны выводятся с установки, а вода возвращается в процесс на приготовление экстрагента – водного раствора ИПС требуемой концентрации. Это позволит разработать безотходную технологию выделения сульфонов [6].

Объектом исследования была выбрана дизельная фракция 240-350°С АО «Татнефтепром-Зюлеевнефть» с содержанием общей серы $S_{\text{общ.}} = 2,59$ мас. %.

Окисление сераорганических соединений дизельной фракции 240-350°С проводили 30 %-ным раствором пероксида водорода при следующих условиях: температура 100°С, механическое перемешивание в течение 60 мин, катализатор – смесь серной и уксусной кислот [3]. Расход реагентов брался из расчета на общую серу при мольном соотношении: $[S_{\text{общ.}}] : [H_2O_2] : [CH_3COOH] : [H_2SO_4] = 1 : 3 : 3 : 0,5$. После охлаждения реакционной смеси верхняя органическая фаза расслоилась на светлую и темную части, имеющие четкую границу раздела. Нижний тяжелый слой представляет собой смолистый остаток, выход которого составляет 9,69 мас. % на исходную дизельную фракцию.

В процессе окисления сераорганических соединений образуется пероксуксусная кислота $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OOH}$, являющаяся сильнейшим окислителем. Происходит окисление высококонденсированных сераорганических соединений дизельной фракции с образованием тяжелого смолистого остатка.

Смолистый остаток представляет собой производные ароматических сульфидов, цикланотиофенов, бензотиофенов, дибензотиофенов, циклобензотиофенов, фенилтиофенов с алкильными заместителями значительной величины. Сераорганические соединения смолистого остатка характеризуются более высокой ароматичностью и цикличностью, что и определяет большую способность их к самоассоциации и осаждению в виде отдельной фазы [4].

Количественное содержание сульфонов, входящих в состав сульфонного оксидата, определяли элюентно-хроматографическим методом. Градиентное элюирование образцов проводили последовательной подачей на слой активированного силикагеля АСКГ увеличивающихся по полярности растворителей: н-гексан, хлористый метилен, бензол, этиловый спирт. Этиловый спирт подавали до полного вымывания окрашенной зоны образцов. По окончании хроматографирования из спиртовых элюатов отгоняли растворитель до постоянной массы остатков и определяли содержание сульфонов [3].

Сульфонный оксидат дизельной фракции 240-350°C АО «Татнефтепром-Зюзеевнефть» после удаления смолистого остатка с содержанием общей серы $\text{SOБЩ.} = 1,56 \text{ мас. \%}$ подавали на стадию экстракции. Исследования выполняли путем осуществления одноступенчатых экстракций при температуре 50°C и содержании воды в экстрагенте 25, 30 и 40 % об. Экстракции осуществляли в термостатированных делительных воронках, температура в которых поддерживалась ультратермостатом с точностью до $\pm 2^\circ\text{C}$, время расслаивания не превышало 5 мин, что позволяет проводить процесс в непрерывном режиме.

Было изучено влияние объемной кратности оксидата фракции 240–350 °C АО «Татнефтепром-Зюзеевнефть» к водному раствору ИПС от 1 до 5 на содержание сульфонов в экстракте и степень их извлечения. Результаты исследований представлены на рис.1 и 2.

Анализ представленных на рис. 1 зависимостей показывает, что содержание сульфонов в экстрактах при увеличении объемной кратности экстрагента уменьшается по линейной зависимости. Чем выше содержание воды в спирте, тем выше содержание сульфонов в выделенных экстрактах при всех изученных

кратностях. При одноступенчатом экстрагировании сульфонов снижение обводненности ИПС с 30 до 25 % об. приводит к снижению содержания сульфонов в экстракте на 20 мас. %. При всех обводненностях ИПС увеличение кратности экстрагента к оксидату от 1 до 5 приводит к снижению содержания сульфонов в выделенных экстрактах примерно на 22 мас. %.

Как видно из рисунка 2, степень извлечения сульфонов водными растворами ИПС монотонно возрастает с увеличением объемной кратности экстрагента к оксидату. При обводненности ИПС равной 25 % об. повышение степени извлечения сульфонов составляет 36 мас. %, а при обводненности равной 40 % об. оно составляет 26 мас. %, чем выше обводненность ИПС, тем менее выражена эта зависимость. Дальнейшее увеличение объемной кратности экстрагента в условиях одноступенчатого экстрагирования практически не влияет на степень извлечения сульфонов.

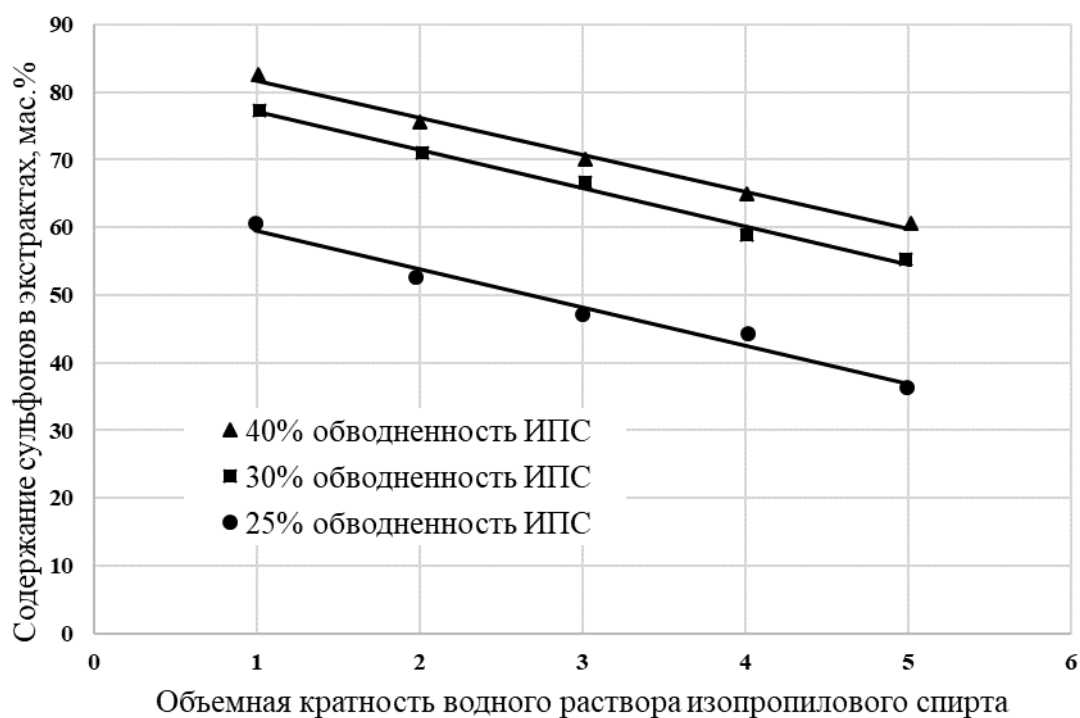


Рис. 1. Зависимость содержания сульфонов в экстрактах от объемной кратности водного раствора ИПС к оксидату

С целью снижения растворения углеводов в экстрактном растворе и повышения скорости и четкости расслаивания фаз в экстракционную систему вводили промывной растворитель (гептановую фракцию). Для определения

оптимального числа экстракционных и промывных ступеней и кратности промывного растворителя на степень извлечения сульфонов в лабораторных условиях в ступенчато-непрерывном режиме по методу Крейга были проведены противоточные многоступенчатые экстракции, результаты которых приведены в таблице 1. Экстракции проводили при температуре 50 °С, массовой кратности основного экстрагента к оксидату равной 5, массовой кратности промывного растворителя к оксидату – 0,5.

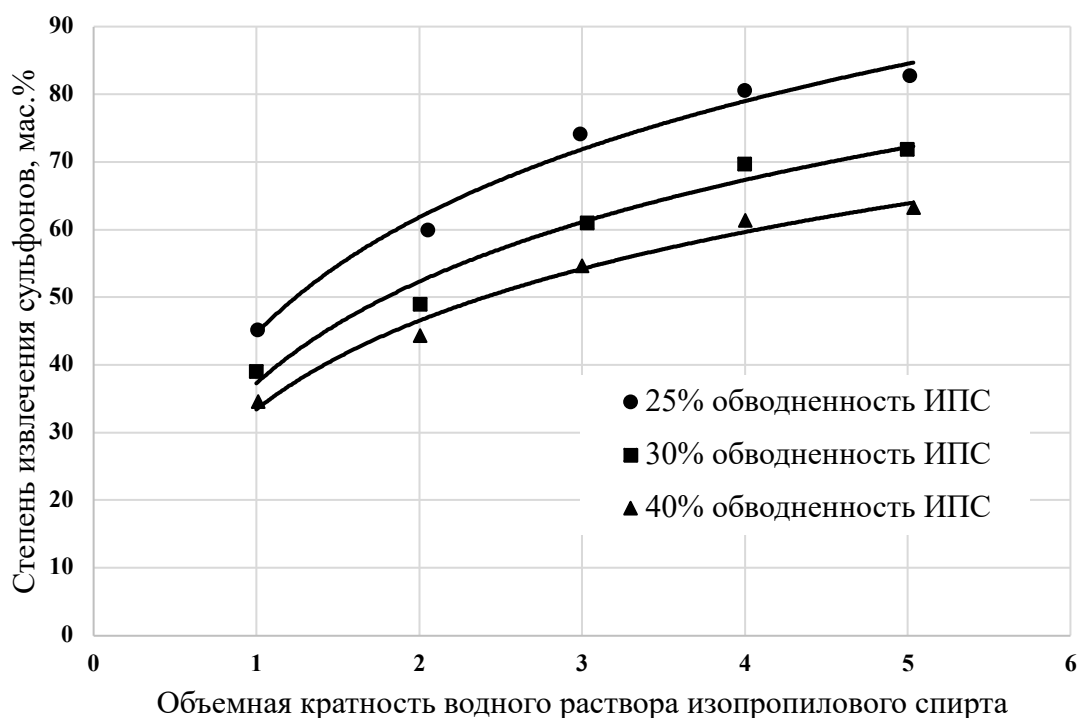


Рис. 2. Зависимость степени извлечения сульфонов от объемной кратности водного раствора ИПС к оксидату

Анализируя данные таблицы 1 видим, что использование ИПС, содержащего 25-30 % об. воды, даже с применением промывного растворителя не позволяет получить экстракты (продукты) с содержанием сульфонов более 78 мас. %. Увеличение числа экстракционных ступеней до 5, а также увеличение промывных ступеней от 1 до 3 позволяет повысить содержание сульфонов в экстракте (продукте) на 11,6 мас. % и степень извлечения сульфонов возрастает на 7,4 мас. %. С увеличением воды в экстрагенте до 40 % об. получают более концентрированные экстракты (продукты) с содержанием сульфонов

~ 93 мас. % и степень извлечения 86 мас. %. Показатели экстракций № 5, 6 следует считать удовлетворительными.

Таблица 1

**Результаты противоточных ступенчато-непрерывных экстракций
по выделению сульфонов из оксидата дизельной фракции 240-350 °С
АО «Татнефтепром-Зюзеевнефть»**

№ п/п	Содержание воды в экстра- генте	Число ступеней экстракции		Содержа- ние суль- фонов в экстракте, мас. %	Степень извлече- ния сульфо- нов, мас. %
		экстракцион- ных	промывных		
1	25	3	2	71,6	55,2
2	30	5	1	65,9	76,1
3	30	5	2	73,2	81,4
4	30	5	3	77,5	83,5
5	40	4	3	92,2	81,3
6	40	5	3	92,9	86,2

Очищенная дизельная фракция (рафинат) с меньшим содержанием серы и улучшенными качественными показателями может быть использована как компонент дизельного топлива. Эта технология применима для предварительного обессеривания дизельных фракций высокосернистых нефтей до стадии их промышленной гидроочистки. Удаляются наиболее трудногидрируемые полициклические гетероароматические соединения [3]. Процесс гидроочистки очищенной дизельной фракции будет проводиться при более мягких условиях и при меньшем расходе дорогого водорода. Сочетание процесса селективного окисления сернистых соединений дизельной фракции с последующей гидроочисткой может стать основой получения экологически чистых моторных топлив [7].

После извлечения концентрата нефтяных сульфонов улучшаются не только экологические (содержание общей серы), но и основные эксплуатационные свойства очищенной дизельной фракции 240-350 °С АО «Татнефтепром-Зюзеевнефть» (таблица 2). Как показывают результаты оценки качества, данная

фракция по основным характеристикам соответствует требованиям наиболее распространенного ГОСТ 32511-2013 на дизельное топливо, кроме содержания общей серы (не соответствует требованиям ГОСТ 32511-2013). При этом процессы извлечения (экстракции) нефтяных сульфонов сопровождаются так же удалением из дизельной фракции 240–350 °С твердых парафинов и церезинов, о чем свидетельствует понижение температуры застывания и предельной температуры фильтруемости (таблица 2). То есть улучшаются не только основные эксплуатационные (самовоспламеняемость, текучесть, стабильность к окислению) показатели, но и низкотемпературные свойства. Фактически прямогонная дизельная фракция 240-350 °С АО «Татнефтепром-Зюзеевнефть» без добавления комплекса присадок после проведения процесса гидроочистки (доведения содержания общей серы до требований экологического класса К5 10 мг/кг (0,001 мас. %)) будет соответствовать летним сортам А, В, С, D и межсезонной марки Е дизельных топлив, без дополнительных процессов депарафинизации и удаления ароматических углеводородов. Что повышает коммерческую ценность фракции 240–350 °С АО «Татнефтепром-Зюзеевнефть» как товарное дизельное топливо, так как на стоимость комплекса присадок приходится не менее 30 % от стоимости самого дизельного топлива.

Таблица 2

Физико-химические и эксплуатационные показатели дизельной фракции 240-350°С АО «Татнефтепром-Зюзеевнефть» до и после процесса экстракции концентрата нефтяных сульфонов

№ п/п	Показатели	Исходная фракция 240-350°С	Рафинат (очищенная фракция)
1	Плотность при 20°С, кг/м ³	848	844
2	Вязкость кинематическая при 20°С, мм ² /с	7,171	5,06
3	Показатель преломления n _D ²⁰	1,4715	1,4706
4	Содержание, мас. %: - общая сера - сульфидная сера	2,59 1,14	0,4 отс.
5	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	78	76

6	Цетановое число*	38	52
7	Кислотность, мг КОН/100 см ³	26,70	22,17
8	Температура застывания, °С	минус 17	минус 23
9	Предельная температура фильтруемости, °С	минус 10	минус 15
10	Окислительная стабильность, общее количество осадка, г/м ³	24	22

* – определение проводилось на экспресс-анализаторе «Октан-ИМ»

Список литературы

1. Яруллин Р.С. Интенсификация процессов переработки ашальчинского природного битума с использованием импульсно-волнового реактора «ЯРУС» / Р.С. Яруллин, С.Е. Угловский, М.З. Зарифянова // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18. – № 14. – С. 50–53.
2. Шарипов А.Х. Получение концентратов сульфоксидов и сульфонов из нефтяного сырья (обзор) / А.Х. Шарипов // Нефтехимия. – 1988. – Т. 28. – № 6. – С. 723–735.
3. Зарифянова М.З. Получение нефтяных сульфонов из среднестиллятных фракций ашальчинской сверхвязкой нефти / М.З. Зарифянова, Г.Г. Исламова, Х.Э. Харлампики // Вестник технологического университета. – 2019. – Т. 22. – № 11. – С. 59–64.
4. Зарифянова М.З. Термическая стойкость нефтяных сульфонов / М.З. Зарифянова, Г.Г. Исламова, З.З. Хайруллина // ЖПХ. – 2022. – Т. 95. – Вып. 8. – С. 1036–1044.
5. Зарифянова М.З. Исследование избирательности растворителей при выделении нефтяных сульфоксидов и сульфонов из оксидатов нефтяных фракций / М.З. Зарифянова, В.Г. Козин // Вестник Казанского технологического университета. – 2007. – Т. 10. – № 5. – С. 111–116.
6. Патент РФ 2446203. Способ извлечения сульфоксидов и сульфонов из смеси с углеводородами и сернистыми соединениями / Зарифянова М.З., Хуснутдинов И.Ш., Харлампики Х.Э., Вафина С.Д. – Оpubл. 27.03.2012, Бюл. № 9. – 277 с.

7. Кривцов Е.Б. Сравнение изменений группового состава дизельного топлива в процессах гидроочистки и окислительного обессеривания / Е.Б. Кривцов, А.К. Головки // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2011. – № 1. – С. 3–8.

Мероприятия для снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на биологических очистных сооружениях

Гаврилова А. Э.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Романова С. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: рассмотрены основные источники и состав газовых выбросов биологических очистных сооружений. Описаны сооружения, направленные на снижение эмиссии одорантов. Проведено сравнение эффективности технологий дезодорации.

Ключевые слова: биологические очистные сооружения, газовые выбросы, наилучшие доступные технологии

Биологические очистные сооружения (БОС), обеспечивающие приём и обработку сточных вод крупных городов, относятся к значимым площадным источникам загрязнения атмосферного воздуха. Суммарная площадь открытых водных поверхностей на таком объекте – приёмные камеры, песколовки, первичные и вторичные отстойники, аэротенки – может достигать тысяч квадратных метров, и с каждого из них в атмосферу непрерывно поступают газообразные продукты биохимического разложения органических веществ [1, 2].

Запах служит ключевым индикатором качества среды обитания. Согласно гигиеническим нормативам, для контроля запахов в воздухе используется максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДК_{мр}), которая в 64 % случаев базируется именно на реакции обонятельного анализатора человека. Однако практика показывает, что соблюдение нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) не гарантирует отсутствия жалоб населения. В зонах влияния очистных сооружений, несмотря на формальное соответствие ПДК_{мр}, часто сохраняется стойкий неприятный запах, способный влиять на самочувствие и здоровье людей. В связи с этим управление выбросами летучих пахучих веществ остается одной из приоритетных гигиенических проблем.

Жалобы населения на неприятный запах от очистных сооружений могут поступать с жилых секторов, расположенных на значительном расстоянии от объекта негативного воздействия [3, 4, 5, 6]. Для обеспечения безопасности населения при эксплуатации объекта негативного воздействия для очистных сооружений канализации производительностью более 280 тыс. м³/сут устанавливается санитарно-защитная зона в размере 1 000 м [7].

Организованными источниками выбросов загрязняющих веществ на БОС являются решетки, гидропрессы, контейнеры для сбора отходов с решеток, газгольдеры, оборудование для механического обезвоживания осадка, установки термосушки и установки сжигания осадка. Неорганизованными источниками являются песколовки, песковые площадки, отстойники, биореакторы, уплотнитель избыточного активного ила, иловые площадки и открытые площадки для выдержки подсушенных или обезвоженных осадков [8]. Основными загрязняющими веществами, поступающими в атмосферный воздух от представленных источников, являются метан, аммиак, сероводород, меркаптаны, фенол, формальдегид, углеводороды C₆-C₁₀ и C₁₂-C₁₉, оксиды азота. При обеззараживании очищенной сточной воды хлорированием следует учитывать выбросы хлора и гидрохлорида, происходящие в процессе очистки сточной воды [2].

Для предотвращения загрязнения воздушной среды согласно ИТС НДТ 10-2019 [8] не допускается возникновение застойных зон в сооружениях и зон, где возможно загнивание осадка с последующим выделением метана в атмосферу, используются перекрытие открытых поверхностей сооружений БОС, очищаются газы, отходящие от перекрытых и точечных источников и выполняется программа контроля загрязнения атмосферного воздуха.

Для устранения выбросов одорантов применяются различные технологии, которые можно разделить на три основные группы: физические, химические, и биологические технологии. Для очистки выбросов от различных сооружений станции очистки сточных вод необходимо перекрыть источники запаха. Технологии устранения неприятных запахов основаны на сборе и обработке одорантов, образующихся на очистных сооружениях, снижая их концентрацию перед выбросом в атмосферный воздух [9].

Химические скрубберы и фильтры с активированным углем являются наиболее распространенными физико-химическими технологиями, используемыми на очистных сооружениях для устранения запаха [10]. Эти методы борьбы

с запахом основаны на химическом окислении и твердофазной адсорбции [11]. Эффектность удаления сероводорода в скрубберах составляет 80–95 %, в адсорберах – 90–99,5 % [8].

Биологические технологии очистки выбросов приобретают все большую популярность благодаря низким эксплуатационным расходам, снижению потребления энергии и химикатов, а также отсутствию дорогостоящих адсорбентов. Биотехнологии также более экологичны, поскольку загрязнители в конечном итоге превращаются в безвредные соединения, такие как углекислый газ, вода и биомасса. В системе биофильтра пахучие вещества проходят через засыпку (компост, торф, кора или их смесь), на которой микроорганизмы закреплены в виде биопленки. Загрязнители поглощаются фильтрующим материалом и разлагаются [12]. Эффективность удаления сероводорода составляет 85–98 % [8].

В биоскрубберах расположены биофильтры с загрузкой из высокопористых материалов, орошаемые культуральной жидкостью. Сероводород из газовой смеси удаляется на 95–98 % [8].

Таким образом, для уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от биологических очистных сооружений рекомендуется внедрять следующие мероприятия: устанавливать перекрытия на открытых источниках, от которых в атмосферу поступают одоранты, а также, оборудование для очистки отходящих газов, наиболее эффективными из которых являются адсорберы.

Список литературы

1. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – Москва : АСВ, 2006. – 704 с.
2. Методические рекомендации по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от неорганизованных источников станций аэрации сточных вод: прил. 7 к Методическому пособию по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (доп. и перераб.). – СПб.: НИИ «Атмосфера», 2012.
3. Мироненко О. В. Гигиеническая оценка влияния метана, поступающего из тела полигона для складирования осадков сточных вод, на состояние воздушного бассейна / О.В. Мироненко, О.И. Копытенкова, А.В. Леванчук [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник СПбГУ. – 2018. – Т. 13, № 3. – С. 316–324.

4. Калинина Е.В. Экспериментальные исследования по получению биогаза из избыточного активного ила г. Перми / Е. В. Калинина, О. М. Добрынина. – Текст : непосредственный // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2012. – Т. 4. – С. 323–329.
5. Демидова С.В. Влияние загрязнения атмосферы на структуру болезней органов дыхания в различных районах Санкт-Петербурга / С.В. Демидова, Г.П. Орлова, К.Б. Фридман [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова. – 2009. – № 1(30). – С. 47–51.
6. Свицков С.В. Внедрение технологии уничтожения неприятных запахов «Мокрый барьер» на очистных сооружениях г. Анапа / С.В. Свицков. – Текст : непосредственный // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2015. – № 3-4. – С. 36–41.
7. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов : санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (ред. от 25.04.2014). – М. : Минздрав России, 2003.
8. ИТС 10-2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов : информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. – М. : Бюро НДТ, 2019.
9. Muñoz R. A review on the state-of-the-art of physical/chemical and biological technologies for biogas upgrading / R. Muñoz, L. Meier, I. Diaz, D. Jeison. – Text : direct // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. – 2015. – Vol. 14. – P. 727–759.
10. Alinezhad, E. Technical and economic investigation of chemical scrubber and bio-filtration in removal of H₂S and NH₃ from wastewater treatment plant / E. Alinezhad, M. Haghighi, F. Rahmani [et al.]. – Text : direct // Journal of Environmental Management. – 2019. – Vol. 241. – P. 32–43.
11. Tadda M. A. A review on activated carbon: Process, application and prospects / M.A. Tadda, A. Ahsan, A. Shitu [et al.]. – Text : direct // Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research. – 2016. – Vol. 2. – P. 7–13.
12. Full-Scale Odor Abatement Technologies in Wastewater Treatment Plants (WWTPs): A Review . – Text : direct // Water. – 2021. – Vol. 13.

Оценка качества атмосферного воздуха г. Казани по данным стационарных постов наблюдения в 2020–2025 гг

Кабаков Д. А.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Савельев С. Н.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: представлены результаты мониторинга атмосферного воздуха г. Казани за 2020–2024 гг. с дополнениями за 2024–2025 гг. (ежемесячные обзоры) для детализации сезонных загрязнений. Использованы данные Росгидромета, УГМС РТ и Минэкологии РТ. Анализ по СИ и НП выявил вклад транспортно-обусловленных и вторично образующихся примесей. В холодный период преобладают низкий и повышенный уровни загрязнения, в теплый — высокий (преимущественно из-за формальдегида и диоксида азота). Наиболее напряжённые ситуации — в июле–августе 2024 г. и июле 2025 г.

Ключевые слова: атмосферный воздух, экологический мониторинг, стационарные посты наблюдения, Казань, СИ, НП, формальдегид, диоксид азота

Качество атмосферного воздуха относится к числу базовых индикаторов экологической безопасности урбанизированных территорий. Для крупных городов, сочетающих высокую транспортную нагрузку, развитую промышленную инфраструктуру и плотную жилую застройку, задача оценки воздушной среды приобретает не только природоохранное, но и социально-гигиеническое значение [1, 2]. В этом отношении г. Казань представляет собой показательную территорию для анализа, поскольку город испытывает воздействие как стационарных, так и передвижных источников выбросов.

Дополнительную актуальность исследованию придает то, что ретроспективный анализ официальных материалов за 2020–2024 гг. показывает устойчивое присутствие в структуре загрязнения воздуха Казани формальдегида, диоксида азота и взвешенных веществ, а региональные документы 2024 г. фиксируют необходимость дальнейшего снижения антропогенной нагрузки на

воздушную среду городской агломерации [3–5]. Это делает необходимой последующую аналитическую оценку опубликованных результатов мониторинга в долговременном и оперативном разрезе.

Поэтому целью настоящей работы являлась оценка качества атмосферного воздуха г. Казани на основе аналитической обработки официально опубликованных данных стационарных постов наблюдения за 2020–2024 гг. с детализацией по ежемесячным материалам 2024–2025 гг. Достижение цели обеспечивалось последовательным выполнением следующих задач: 1) охарактеризована мониторинговая инфраструктура города; 2) выполнена ретроспективная систематизация официальных материалов за последние 5 лет; 3) сформирован сопоставимый ряд репрезентативных месячных индикаторов загрязнения; 4) выделены временные особенности изменения показателей СИ и НП; 5) определены доминирующие загрязняющие вещества и интерпретированы полученные сезонные различия.

Информационной базой исследования послужили официально опубликованные годовые обзоры состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020–2024 гг., ежемесячные обзоры состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2024–2025 гг., а также сведения УГМС Республики Татарстан о государственной наблюдательной сети и материалы Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан [3–6]. В отличие от первичных почасовых замеров, указанные источники содержат уже агрегированные показатели, пригодные для межмесячного и межгодового сопоставления [2].

Для характеристики кратковременного загрязнения использованы два индикатора, применяемые в практике Росгидромета: стандартный индекс (СИ) – наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, приведенная к ПДКм.р., и НП – наибольшая повторяемость превышения ПДКм.р. По действующей классификации низкий уровень загрязнения соответствует СИ = 0–1 и НП = 0 %; повышенный – СИ = 2–4 и НП = 1–19 %; высокий – СИ = 5–10 и НП = 20–49 %; очень высокий – СИ > 10 и НП ≥ 50 %. Если СИ и НП относятся к разным градациям, итоговый уровень загрязнения принимается по более высокой из них [1, 2].

Согласно официальной информации УГМС Республики Татарстан, в Казани наблюдения за загрязнением атмосферы осуществляются на 10 стационарных

пунктах наблюдения государственной сети [3]. Дополнительно в территориальной системе наблюдения Республики Татарстан функционируют 17 автоматических станций контроля загрязнения атмосферного воздуха, из которых 4 размещены в г. Казани [4]. Такая комбинация стационарных постов и автоматических станций обеспечивает основу для оперативного и аналитического контроля воздушной среды. В аналитический ряд были включены: 1) годовые официальные материалы за 2020–2024 гг. для ретроспективной оценки устойчивых особенностей загрязнения атмосферного воздуха Казани; 2) репрезентативные месяцы, для которых в официальных публикациях представлены сопоставимые значения СИ и НП по г. Казани за период с января 2024 г. по август 2025 г. [5, 6]. Для каждого месяца дополнительно фиксировались загрязняющие вещества, определявшие уровень загрязнения города. На основе этого массива была выполнена нормализация показателей, их классификация по уровням загрязнения и сравнительная интерпретация по холодному и теплomu периодам года.

Ретроспективный анализ официально опубликованных годовых материалов за 2020–2024 гг. показывает, что проблема качества атмосферного воздуха в Казани носит устойчивый характер: в разные годы в числе значимых загрязняющих веществ повторяются формальдегид, диоксид азота и взвешенные вещества, а неблагоприятные эпизоды чаще фиксируются в теплый период года [5, 6]. Детализация по репрезентативным месяцам 2024 г. (рис.1) показывает, что низкий уровень загрязнения воздуха наблюдался в январе и декабре, когда значения НП были равны 0%, а СИ не превышал 1,0. В апреле 2024 г. уровень загрязнения уже характеризовался как повышенный: СИ для формальдегида достигал 1,3, а НП составлял 2,8%. Наиболее напряженная ситуация в 2024 г. отмечена в июле и августе, когда НП достигал соответственно 26,1 и 25,0 %, а СИ – 2,6. Несмотря на умеренные значения СИ, высокий уровень загрязнения определялся именно повторяемостью превышений ПДКм.р., что указывает на устойчивый характер неблагоприятной ситуации в теплый период [6]. В 2025 г. январь вновь характеризовался низким уровнем загрязнения (СИ = 0,9; НП = 0 %). В феврале-апреле отмечался повышенный уровень загрязнения, связанный преимущественно с диоксидом азота. С мая по июль произошло заметное усиление загрязнения: в мае НП достигал 15,7%, в июне – 9,8 %, в июле – 21,6 %, при этом СИ в мае и июле составлял 2,6. Уже в августе 2025 г. НП снизился до 4,8 %, хотя формальдегид по-прежнему оставался ведущим загрязнителем.

Следовательно, сезонная конфигурация 2025 г. в целом повторяет выявленный в 2024 г. теплый максимум загрязнения [6].



Рис. 1. Динамика стандартного индекса загрязнения (СИ) и наибольшей повторяемости превышений ПДКм.р. (НП) по репрезентативным месяцам 2024–2025 гг

Анализ динамики СИ и НП позволяет сделать два вывода. Во-первых, при оценке качества воздуха для Казани показатель НП оказывается более чувствительным индикатором неблагополучия, чем СИ. Именно НП переводил город в категорию высокого загрязнения в июле-августе 2024 г. и в июле 2025 г., тогда как значения СИ оставались в диапазоне повышенного уровня. Во-вторых, для теплого периода характерно устойчивое доминирование формальдегида, тогда как в холодные и переходные месяцы повышенную роль играет диоксид азота. Такая картина согласуется с влиянием автотранспортных выбросов, процессов фотохимического образования вторичных загрязнителей и особенностей рассеивания примесей в условиях городской застройки [6].

Важным результатом является и повторяемость пространственно-временного паттерна загрязнения: зимние месяцы в выборке чаще соответствуют низкому уровню, а весенне-летние – повышенному или высокому. Даже при отсутствии экстремально высоких концентраций регулярные превышения ПДКм.р. создают повышенный санитарно-гигиенический риск, поскольку формируют продолжительные периоды неблагоприятного качества воздуха [1, 2, 6]. Для городской системы управления это означает необходимость не только

реагирования на единичные пики, но и работы с накопленным повторяющимся загрязнением.

Табличные данные подтверждают, что наиболее неблагоприятные месяцы в анализируемом массиве связаны не столько с единичными экстремальными значениями, сколько с повторяющимся превышением ПДКм.р. Именно поэтому при городской экологической диагностике целесообразно рассматривать СИ и НП совместно. Для Казани это особенно важно, поскольку доминирующие загрязнители – формальдегид и диоксид азота – тесно связаны с транспортной нагрузкой, работой теплоэнергетических объектов и особенностями фотохимических процессов в теплый период [5, 6].

Таблица

**Репрезентативные месячные показатели загрязнения атмосферного воздуха
г. Казани**

Период	СИ	НП, %	Уровень загряз- нения	Доминирующие загрязня- ющие вещества
01.2024	1,0	0,0	низкий	взвешенные вещества
07.2024	2,6	26,1	высокий	формальдегид
05.2025	2,6	15,7	повышенный	формальдегид, диоксид азота
07.2025	2,6	21,6	высокий	формальдегид

На рис. 2 показано распределение месяцев по уровням загрязнения атмосферы. В анализируемом ряду преобладают месяцы с повышенным уровнем загрязнения (9 случаев из 15), тогда как высокий уровень отмечен в 3 случаях, а очень высокий уровень не зафиксирован [6]. С практической точки зрения это означает, что для Казани характерно не столько экстремальное, сколько повторяющееся умеренно неблагоприятное качество атмосферного воздуха, требующее адресных профилактических мер.

Таким образом, проведенная аналитическая обработка официально опубликованных материалов мониторинга показывает, что данные стационарных постов позволяют надежно фиксировать не только наличие превышений, но и устойчивость загрязнения по отдельным месяцам и сезонам [1, 2, 6]. Ретроспективный блок 2020–2024 гг. подтверждает устойчивость проблемы загрязнения атмосферного воздуха в Казани, а оперативные материалы 2024–2025 гг.

показывают, что ведущими индикаторами неблагополучия в последние годы оставались формальдегид и диоксид азота, причем максимум загрязнения приходился на теплый период [5, 6]. Полученные выводы могут использоваться при совершенствовании системы мониторинга, обосновании природоохранных мероприятий и выработке решений по снижению воздействия автотранспортного комплекса.

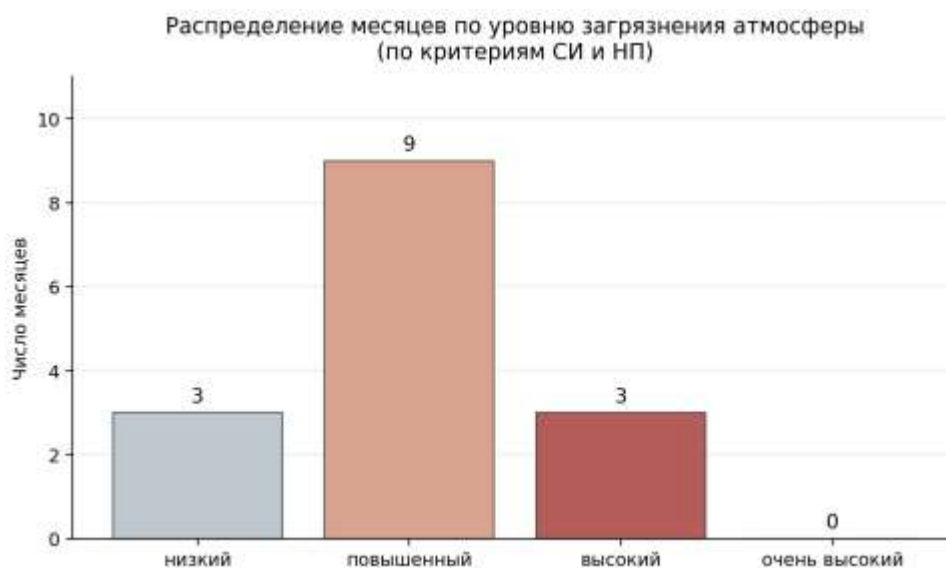


Рис. 2. Распределение репрезентативных месяцев по уровню загрязнения атмосферы по критериям СИ и НП

Выводы:

1. Выполнена аналитическая обработка официально опубликованных данных государственного мониторинга атмосферного воздуха г. Казани за 2020–2024 гг.; для детализации сезонных эпизодов использованы ежемесячные обзоры 2024–2025 гг.

2. Установлено, что в анализируемом ряду преобладают месяцы с повышенным уровнем загрязнения атмосферы; высокий уровень зафиксирован в июле-августе 2024 г. и июле 2025 г., что согласуется с выявленным теплым максимумом загрязнения.

3. Наиболее существенный вклад в ухудшение качества атмосферного воздуха вносили формальдегид и диоксид азота, что указывает на значимость транспортного фактора и фотохимических процессов в городской среде.

4. Для оценки городской воздушной среды по данным стационарных постов необходимо совместное использование СИ и НП, поскольку именно показатель НП отражает устойчивость повторяющихся превышений ПДКм.р.

5. Результаты исследования подтверждают необходимость дальнейшего развития мониторинговой инфраструктуры и адресных мер по снижению антропогенной нагрузки на атмосферный воздух г. Казани.

Список литературы

1. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Часть 1. Загрязнение атмосферы в городах и других населенных пунктах: разработан и внесён Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии и Министерством здравоохранения СССР: дата введения 01.07.1991. – Москва : Госкомгидромет СССР, 1991. – 693 с. – Текст : непосредственный.
2. РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию: разработан Государственным учреждением «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» Росгидромета и утвержден заместителем Руководителя Росгидромета: дата введения 01.02.2006. – Санкт-Петербург : ГГО им. А.И. Воейкова, 2006. – 60 с. – Текст : непосредственный.
3. ФГБУ «УГМС Республики Татарстан». Характеристика государственной наблюдательной сети мониторинга окружающей среды на территории Республики Татарстан в 2023 г.: официальный сайт. – URL: <https://www.meteorf.gov.ru/> (дата обращения: 10.04.2026). – Текст : электронный.
4. Отчет за 2024 год о ходе реализации Стратегии экологической безопасности Республики Татарстан на период до 2030 года. – Казань : Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, 2025. – 26 с. – Текст : непосредственный.
5. Росгидромет. Информационно-аналитические материалы по результатам мониторинга окружающей среды. Обзоры состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020-2024 гг.: официальный

сайт. – URL: http://гоин.рф/lmz-docs/obzor_24.pdf (дата обращения: 10.04.2026). – Текст : электронный.

6. Росгидромет. Информационно-аналитические материалы по результатам мониторинга окружающей среды. Ежемесячные обзоры состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2024-2025 гг. : официальный сайт. – URL: <https://eip.meteo.ru/news/1330> (дата обращения: 10.04.2026). – Текст : электронный.

Расчет технологических параметров абсорбционной очистки выбросов стекловаренной печи от оксидов азота

Киямова А. А.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева - КАИ

Шавалеева С. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева - КАИ

Аннотация: выполнен расчет основных технологических параметров абсорбционной очистки отходящих газов стекловаренной печи от оксидов азота на установке очистки газа, включающей абсорбер с псевдоожиженной насадкой.

Ключевые слова: оксиды азота, стекольное производство, очистка газов, защита атмосферы

Антропогенная деятельность, в частности, промышленное производство, приводит к значительному загрязнению атмосферы. Стекольная промышленность, будучи важной отраслью экономики, является источником выбросов таких вредных веществ, как оксиды азота (NO_x), диоксид серы (SO_2), пыль и оксид углерода (CO). В связи с этим разработка эффективных систем очистки отходящих газов стекольного производства является актуальной экологической задачей. В данной работе рассмотрена очистка выбросов стекловаренной печи от оксидов азота NO_x .

Производство стекла является энергоемким процессом, сопровождающимся выбросами загрязняющих веществ на всех этапах: от подготовки сырья (пыление) до варки и формования изделий. Образование оксидов азота NO_x происходит, в основном, при высокотемпературной варке стекла за счет окисления азота воздуха и разложения азотсодержащих соединений в шихте. Попадание NO_x в атмосферу ведет к образованию кислотных дождей, фотохимического смога и ухудшению здоровья населения. Основной вклад в загрязнение атмосферы оксидами азота (до 90 % случаев) вносит стадия варки в стекловаренных печах, работающих при высоких температурах [1].

Для очистки выбросов от оксидов азота NO_x наиболее эффективны физико-химические методы. В мировой практике также распространен метод селективного некаталитического восстановления (СНКВ) с использованием аммиака или карбамида, позволяющий достичь степени очистки более 80% [2].

На основе анализа исходных данных (заданный параметр выброса $\text{NO}_x = 20$ г/с, высота трубы $H = 32$ м, диаметр устья $D = 1,5$ м, скорость газов $\omega_0 = 3,5$ м/с, разность температур $\Delta T = 200^\circ\text{C}$) и современных тенденций развития систем охраны окружающей среды, для очистки выбросов стекловаренной печи от оксидов азота NO_x предлагается использовать физико-химический метод абсорбции водой в аппарате с псевдоожиженной насадкой с предварительным охлаждением газа. Выбор воды обусловлен ее доступностью, низкой стоимостью и способностью поглощать оксиды азота с образованием азотистой и азотной кислот. В колонне с псевдоожиженной насадкой происходит противоточное взаимодействие газа и жидкости, псевдоожиженная насадка интенсифицирует процесс массообмена. Затем очищенный газ проходит брызгоотбойник для отделения капель жидкости и выбрасывается в атмосферу. Отработанный абсорбент, насыщенный оксидами азота, собирается в нижней части колонны и через гидрозатвор направляется в сборочную емкость.

Данный метод является экономически более выгодным по сравнению с реагентными методами (например, СНКВ), так как не требует использования дорогостоящих реагентов (аммиак, карбамид) и катализаторов, хотя и может иметь меньшую степень извлечения без дополнительной реагентной обработки. Кроме того, полученные в результате очистки кислоты можно использовать вторично в качестве сырья для иных технологических процессов.

Целью проведенного расчета технологических параметров абсорбционной очистки выбросов стекловаренной печи от оксидов азота являлось определение коэффициента абсорбции (α), показывающего соотношение объемных расходов газа и жидкости, необходимого для эффективной очистки, и является связующим звеном между источником выброса (газ) и средством очистки (жидкость).

Проведенные расчеты основных параметров процесса показали, что для эффективного улавливания NO_x из газового потока с расходом $6,18$ м³/с (содержащим 20 г/с загрязнителя) необходим расход воды-абсорбента $7,2$ м³/с. Коэффициент абсорбции $\alpha = 0,86$ показывает, что для достижения желаемой степени очистки между двумя сечениями трубы на 1 объем очищаемого газа

необходимо затратить 1,16 л воды. При соблюдении данных технологических параметров степень очистки отходящих газов в трубе между двумя сечениями составит 71,5 %.

Варьированием некоторых параметров возможно достичь более глубокой очистки выбросов: увеличить расход жидкости, еще больше снизить температуру очищаемого выброса или добавить хемосорбцию (заменить воду на слабый щелочной раствор (сода или известь)). Тогда степень очистки может приблизиться к 95–98 %, но эти приемы изменят некоторые технико-экономические показатели процесса очистки, такие как затраты на работу насосов и охлаждающей системы, а также на абсорбент. В этом случае необходимо принимать решение после тщательных расчетов соотношения цена/качество рассматриваемого процесса.

Полученные данные могут быть использованы для проектирования промышленного абсорбера, выбора вспомогательного оборудования (насосов, теплообменников) и абсорбента в системе защиты атмосферы от выбросов стекловаренной печи от оксидов азота.

Список литературы

1. Gholami F. Technologies for the nitrogen oxides reduction from flue gas: A review / F. Gholami, M. Tomas, Z. Gholami, M. Vakili // Science of the Total Environment. - 2020. - Vol. 714. - P. 136712.
2. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух / НИИ Атмосфера. - Санкт-Петербург, 2002. - 215 с.
3. Шахраманьян, М.А. Система экологической очистки атмосферного воздуха: пат. 2121260 С1 Рос. Федерация / М.А. Шахраманьян, Ю.В. Подрезов, С.М. Кудинов. - Оpubл. 27.07.2006.
4. Соловьев С.Н. Фильтр для очистки воздуха от токсичных веществ: пат. 2336929 С2 Рос. Федерация / С.Н. Соловьев, О.Е. Каменер, В.П. Макляев [и др.]. - Оpubл. 27.11.2012.
5. Казаков Н.В. Аппарат для очистки атмосферного воздуха: пат. 165490 U1 Рос. Федерация / Н.В. Казаков, Р.Н. Кривошеева. - Оpubл. 20.10.2016.
6. Shah V. Nitrogen oxides in the free troposphere: implications for tropospheric oxidants and the interpretation of satellite NO₂ measurements / V. Shah, D.J. Jacob, R. Dang et al. // Atmos. Chem. Phys. - 2023. - Vol. 23. - P. 1227-1257.

Оценка влияния выбросов автозаправочных станций на окружающую среду

Кулик Д. И.

Бакалавр

Казанский национальный исследовательский технологический университет
им. А. Н. Туполева – КАИ

Нурмехамитова В. А.

Младший научный сотрудник

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
республики Татарстан

Галимова А. Р.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет
им. А. Н. Туполева - КАИ

Аннотация: в статье приведены результаты расчета уровней загрязнения атмосферного воздуха выбросами автозаправочной станции, находящейся на территории г. Казань, а также дана оценка влияния выбросов АЗС на окружающую среду.

Ключевые слова: АЗС, автозаправочные станции выбросы в атмосферу, загрязняющие вещества, максимальные разовые выбросы

В условиях крупных городов с плотной застройкой особенно актуальным встаёт вопрос мониторинга выбросов загрязняющих веществ от большого количества разных источников, находящихся рядом друг с другом. Одним из самых многочисленных источников выбросов являются автомобильные заправочные станции – на территории г. Казань их количество составляет около 271. При этом, в процессе стоит обращать внимание не только на среднегодовые концентрации, но и на максимальные разовые выбросы [1].

Существенная часть выбросов загрязняющих веществ собирается непосредственно на территориях резервуарных парков АЗС и дорожном полотне, при этом высота оседания канцерогенов от уровня земли составляет около двух метров – это средний уровень вдыхания атмосферного воздуха человеком. Именно до указанной отметки поднимаются взвеси тяжелых токсичных фракций.

Влияние АЗС на окружающую среду в большей мере, нежели от других форм хранения нефтепродуктов, проявляется также и в густоте их застройки, особенно в районах с большой плотностью населения, и как следствие с большим числом автомобильного транспорта. Кроме того, важным отрицательным фактом влияния автозаправочных станций на качество атмосферного воздуха являются случаи пролива нефтепродуктов с последующим их испарением, особенно в летний период под влиянием высоких температур, а также ветра. Поэтому, в процессе расчёта выбросов загрязняющих веществ приоритетом должны стать именно максимальные разовые концентрации [2].

Расчеты рассеивания выбросов загрязняющих веществ проводились по утвержденным в установленном порядке методам [3, 4]. Эти методы реализованы в программе «Эколог-4.7», которая позволяет рассчитывать максимальные значения приземных разовых концентрации загрязняющих веществ при неблагоприятных метеорологических условиях на выбранных территориях. Расчеты выполнялись с полным перебором метеорологических условий в пределах климатической характеристики г. Казань для определения максимальных разовых концентраций. Для расчета среднегодовых концентраций использовались данные многолетних метеорологических наблюдений, включающие розу ветров, средние и экстремальные значения скоростей ветра, частоту штилей, температуру воздуха и стратификацию атмосферы. [5]. Расчёт проводился для 33 веществ, в том числе: железа оксид, марганец и его соединения, NO₂, азот (II), углерод (пигмент черный), серы диоксид, дигидросульфид, углерода оксид, фтористые газообразные соединения, фториды плохо растворимые, бутан, метан, бензин, керосин, взвешенные вещества.

Критерий оценки степени загрязнения атмосферного воздуха определяется в соответствии с соотношением:

$$Ci \div \text{ПДК}_i \geq 1,$$

где C_i –концентрация i -го загрязняющего вещества, создаваемая выбросом, мг/м³; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе населенных мест мг/м³ [6].

Основным объектом для расчётов была выбрана АЗС по адресу Проспект Победы, 141Б. Расчеты проводились для прямоугольника 900×900 м. Шаг расчетной сетки выбран равным 50 м. Также были определены характерные точки

размещения ближайших к АЗС жилых домов. Расчеты проводились с детализацией максимальных концентраций в точках, координаты которых указанных в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные точки для детализации максимальных разовых концентраций

Код	Координаты (м)		Высота (м)	Комментарий
	X	Y		
1	1311870,50	474831,00	2,00	Проспект Победы, 146
2	1311869,00	474587,50	2,00	Проспект Победы, 122
3	1311697,00	474431,00	2,00	Проспект Победы, 139 к2
4	1311175,50	474326,00	2,00	Проспект Победы, 57Б
5	1311399,00	474440,00	2,00	Проспект Победы, 139а к1
7	1311875,50	474976,50	2,00	Проспект Победы, 152 улица Академика Сахарова, 33

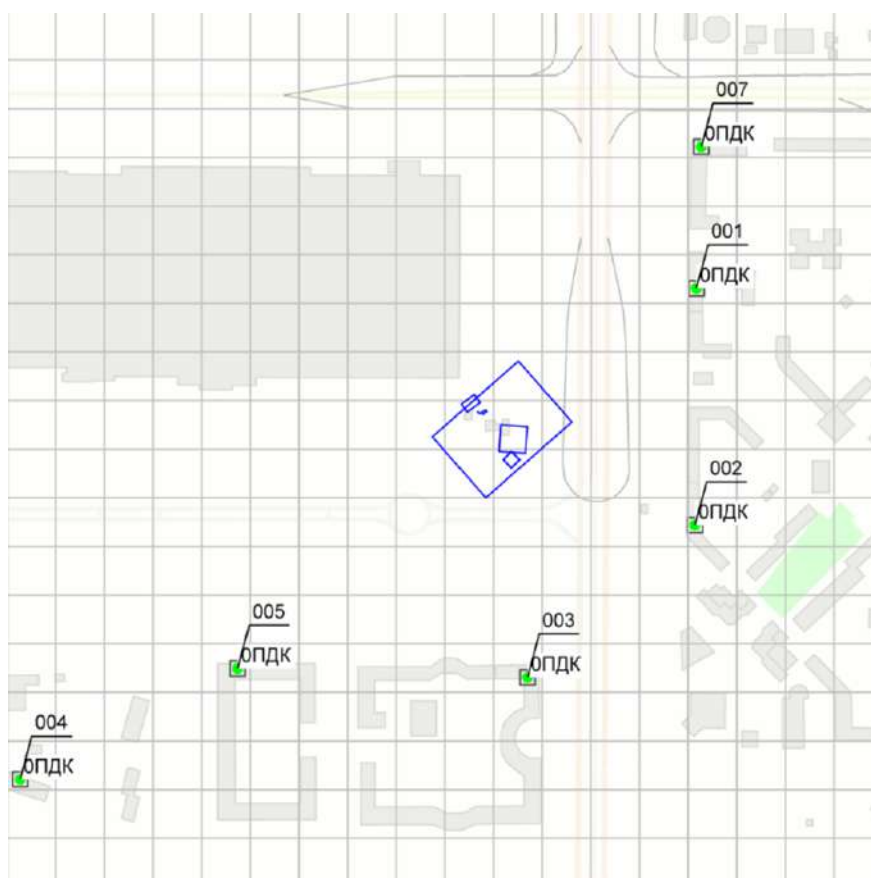


Рис. 1. Поля среднегодовых концентраций диоксида азота

На рис.1 представлены данные о среднегодовых концентрациях диоксида азота, практически все остальные загрязняющие вещества имеют среднегодовые концентрации, стремящиеся к нулю, что говорит нам о том, что современные технологии позволяют практически полностью избежать выбросы загрязняющих веществ от АЗС.

Результаты расчётов максимальных разовых выбросов для некоторых веществ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Распределение максимальных концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках

Код вещества	Наименование вещества	Распределение концентраций, доли ПДК
0301	Азота диоксид	0,02 – 0,09
0328	Углерод (Пигмент чёрный)	0,01 – 0,02
0337	Углерода оксид (Углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	0,01 – 0,02
0602	Бензол (Циклогексатриен; фенилгидрид)	0,01 – 0,04
2902	Взвешенные вещества	0,01 – 0,07
2978	Пыль резинового вулканиста	0,03 – 0,1
6010	Азота диоксид, серы диоксид, углерода оксид, фенол	0,02 – 0,12
6043	Серы диоксид и сероводород	0,01 – 0,02
6204	Азота диоксид, серы диоксид	0,01 – 0,06

На рис. 2 представлены поля приземных концентраций диоксида азота, который создает самое большое загрязнение: 0,09 ПДК в точке 2 (жилой дом), а также вплоть до 0,7 ПДК на территории самой АЗС.

Как мы видим, даже в ближайших к АЗС зданиях концентрация загрязняющих веществ не превышает 9% от ПДК, однако, учитывая что здания, расположенные под точками 1, 2, 3, 7 находятся практически вплотную к оживлённой дорожной полосе, фактическая концентрация загрязняющих веществ в этих точках (а также на территории самой АЗС) может превышать ПДК.

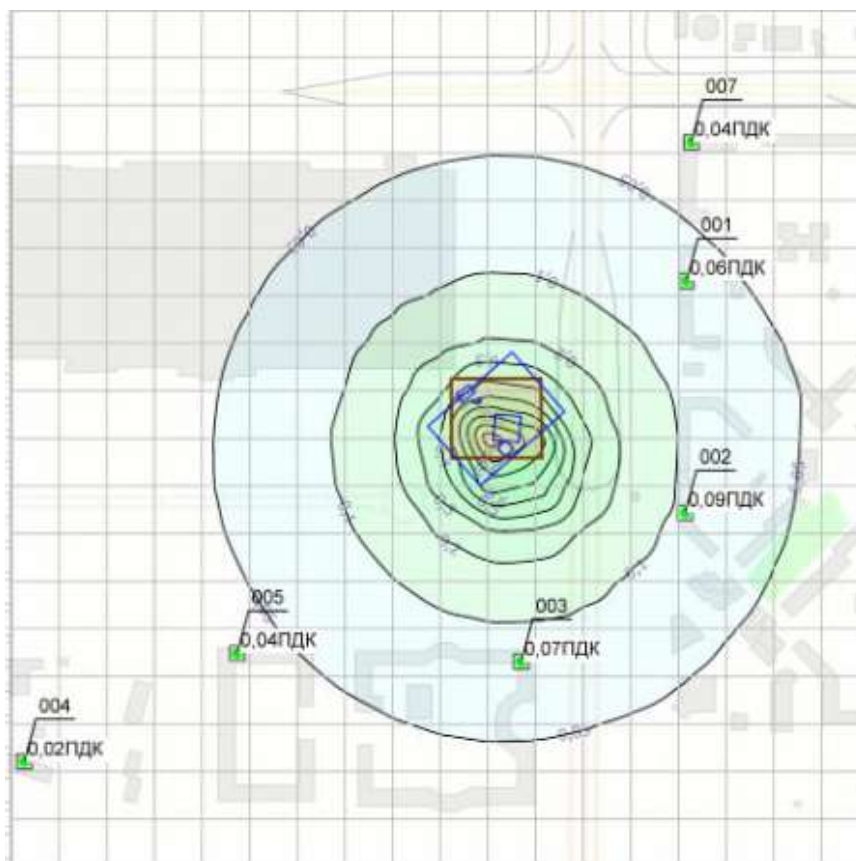


Рис. 2. Поля максимальных концентраций диоксида азота

Таким образом, приземные концентрации загрязняющих веществ от АЗС не превышают 0,09 ПДК в зонах ближайшей жилой застройки, что соответствует санитарным нормам. Однако в г. Казани, где функционирует около 271 автозаправочной станции, требуется системный подход к экологическому мониторингу: АЗС располагаются около оживлённых трасс, а значит суммарное воздействие фонового загрязнения от дорожного трафика и выбросов АЗС может приводить к фактическому превышению допустимых нормативов. Это обуславливает необходимость смещения приоритетов контроля со среднегодовых показателей на мониторинг максимальных разовых выбросов в отношении заправочных станций, так как именно кратковременные выбросы в зоне активного вдыхания воздуха человеком представляют наибольшую угрозу для здоровья населения.

Список литературы

1. Ложкина А.Ю. Моделирование распространения паров углеводородов в атмосферном воздухе при заправке автотранспорта / А.Ю. Ложкина // Химическая физика и мезоскопия. – 2008. – Т. 10, № 2. – С. 152-155.

2. Турсун И.Т. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами АЗС в городе Алматы / И.Т. Турсун // StudNet. – 2022. – Т. 5, № 2.
3. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб.: НИИ «Атмосфера».2012. 224 с.
4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». Москва: Минюст РФ. 80 с.
5. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2).
6. Загрязнение атмосферного воздуха выбросами автозаправочных станций / Л.Т. Созаева, М.А. Шериева, И.Х. Шунгаров, С.И. Шагин // Наука. Инновации. Технологии. – 2019. – № 4. – С. 185-192. – DOI 10.37495/2308-4758-2019-4-185-192.

Сравнительный анализ абсорбционной и адсорбционной очистки газов и пути повышения их эффективности

Петров В. И.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Кашапова А. Ф.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Бычихин Н. С.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Хамидуллина А. Р.

Ассистент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: рассмотрены механизмы процессов - абсорбции и адсорбции, их преимущества и недостатки, а также современные подходы к интенсификации. Особое внимание уделено практическим аспектам применения каждого метода в промышленности. На основе анализа патентных данных и научной литературы показано, что наиболее эффективным и технически реализуемым в настоящее время является комбинирование методов, в частности использование вихревых абсорберов с озонированной водой, обеспечивающее высокую степень очистки. Предложены пути дальнейшего совершенствования сорбционных технологий.

Ключевые слова: адсорбция, абсорбция, сорбция, очистка газов, сорбенты, промышленные выбросы, интенсификация процессов, вихревой абсорбер, хемосорбция

Одной из актуальнейших проблем современной промышленной экологии является снижение вредных выбросов в атмосферу. Ежегодно в мире образуются миллионы тонн газообразных загрязнителей – оксидов серы, азота, углерода, летучих органических соединений, сероводорода и других токсичных веществ [1]. Наиболее распространёнными и технологически отработанными методами очистки отходящих газов являются сорбционные процессы, объединяющие адсорбцию и абсорбцию.

Термин «сорбция» (от лат. *sorbeo* – поглощаю) был введён в науку Дж. У. Макбейном в 1909 году. Несмотря на внешнее сходство конечного результата – поглощения одного вещества другим, механизмы адсорбции и абсорбции имеют принципиальные различия, что определяет разные области их применения, конструктивные особенности аппаратов и подходы к повышению эффективности [2].

Нами был проведён сравнительный анализ абсорбционных и адсорбционных методов очистки газов, выявлены их сильные и слабые стороны, а также обобщены современные способы интенсификации сорбционных процессов, включая новейшие запатентованные разработки.

Адсорбция – это процесс концентрирования вещества (адсорбата) на поверхности раздела фаз. В подавляющем большинстве промышленных случаев адсорбция происходит на поверхности твёрдого пористого тела – адсорбента. В зависимости от природы взаимодействия различают:

- физическую адсорбцию, обусловленную слабыми дисперсионными силами Ван-дер-Ваальса. Процесс обратим, характерен при низких температурах.
- хемосорбцию, связанную с образованием химических связей между адсорбатом и поверхностью адсорбента. Обычно необратима или требует высокой энергии активации [3].

Абсорбция – это процесс избирательного поглощения вещества всем объёмом жидкого поглотителя. Для газоочистки наиболее широко используется абсорбция различными жидкостями. Процесс включает две последовательные стадии: адсорбцию молекул газа на поверхности жидкости и диффузию поглощённого вещества внутрь объёма жидкости.

Кинетика абсорбции лимитируется, как правило, второй стадией, что делает процесс более медленным по сравнению с адсорбцией (табл. 1).

Сравнительный анализ преимуществ и недостатков.

Абсорбция характеризуется следующими чертами:

Преимущества:

- способность очищать потоки с высокими концентрациями загрязнителей, в том числе высокотоксичных;
- возможность одновременного улавливания нескольких компонентов;
- использование доступных поглотителей (вода, растворы кислот, щелочей, этаноламины);

- возможность регенерации уловленных веществ.

Недостатки:

- образование значительных объёмов жидких стоков, требующих очистки;
- снижение температуры очищенного газа, что ухудшает его рассеивание в атмосфере;
- коррозионная активность многих абсорбентов; громоздкость абсорбционного оборудования (колонны с насадками, тарелками).

Таблица 1

Сравнительная характеристика адсорбции и абсорбции

Параметр	Адсорбция	Абсорбция
Фаза-поглотитель	Твёрдое тело (реже жидкость)	Жидкость (реже твёрдое тело)
Локализация процесса	Поверхностный слой	Весь объём поглотителя
Скорость процесса	Высокая (секунды – минуты)	Умеренная (минуты – часы)
Ограничивающая стадия	Внешняя или внутренняя диффузия к активным центрам	Диффузия внутри объёма поглотителя
Насыщение	При заполнении монослоя или пор	При достижении равновесной концентрации

Адсорбция обладает иными характеристиками:

Преимущества:

- достижение глубокой степени очистки при малых входных концентрациях, в том числе от микропримесей;
- возможность регенерации адсорбента и возврата уловленных веществ в производство;
- устойчивость к повышенным температурам газов.

Недостатки:

- периодичность процесса (необходима стадия регенерации или замены адсорбента);
- высокая стоимость высокоэффективных адсорбентов (цеолиты, молекулярные сита, металлоорганические каркасные структуры), за разработку металлоорганических каркасных структур в 2025 году была присуждена Нобелевская премия по химии;
- снижение эффективности при высоких концентрациях загрязнителей.

Пути повышения эффективности.

Наряду с сорбционными методами существуют термические и каталитические способы очистки, однако именно абсорбция и адсорбция остаются наиболее универсальными для широкого спектра загрязнителей [2].

Современные научно-исследовательские работы сосредоточены на интенсификации как адсорбционных, так и абсорбционных процессов. Основные направления представлены в таблице 2.

Таблица 2

Методы интенсификации сорбционных процессов

Направление	Для адсорбции	Для абсорбции
Модификация поглотителя	Создание иерархических пористых структур, возможность варьирования геометрии и функциональности пор, гибкость конструкции	Использование химически активных растворов (хемосорбция)
Гидродинамические методы	Высокие скорости потока для снижения внешнEDIFFузионного сопротивления	Интенсивное перемешивание, вибрация, турбулизация потока
Термобарические условия	Снижение температуры, повышение давления	Повышение давления газовой фазы, отвод тепла для экзотермических процессов

Направление	Для адсорбции	Для абсорбции
Конструктивные решения	Использование короткоцикловой безнагревной адсорбции (КЦА)	Применение вихревых, центробежных абсорберов, насадок Инже- хим

Анализ современных технологических решений.

Анализ патентной документации [5–9] показывает, что в последние годы активно разрабатываются гибридные схемы очистки. Например, патент РФ № 2645987 предлагает использование озона для удаления оксидов азота в многоступенчатой абсорбционной колонне. Однако недостатком данного решения является сложность конструкции и наличие остаточных оксидов азота из-за неполного окисления.

Более перспективным представляется способ, защищённый патентом РФ № 2686037. В данной разработке предложена многоступенчатая система очистки, включающая:

- механическую ступень (туманоуловитель);
- вихревые абсорберы для интенсивного контакта фаз;
- использование озонированной воды на последней ступени абсорбции.

Согласно данным авторов патента, установка обеспечивает улавливание не менее 99,99 % паров кислот, оксидов азота и серы, причём система сохраняет эффективность при широких колебаниях расхода и концентрации отходящих газов.

Сравнительный анализ, проведённый в рамках данной статьи, показывает, что именно комбинированные абсорбционно-адсорбционные системы, а также системы с активным гидродинамическим режимом (вихревые абсорберы) являются наиболее оптимальными по критериям «эффективность – затраты – надёжность».

Заключение и выводы.

1. Адсорбция и абсорбция – два принципиально различных сорбционных процесса, выбор между которыми определяется конкретной технологической задачей: для глубокой очистки при низких и средних концентрациях

предпочтительна адсорбция, для высоких концентраций и больших объемов газов – абсорбция.

2. Основные пути повышения эффективности адсорбции связаны с созданием новых пористых материалов и оптимизацией термобарических условий; для абсорбции – с интенсификацией межфазного переноса и переходом к хемосорбции.
3. Анализ современных патентов показывает тренд к созданию комбинированных многоступенчатых систем, включающих механическую очистку, вихревые абсорберы и использование озонированной воды, что позволяет достичь эффективности 99,99 %. Однако, применение озонаторных установок значительно увеличивает стоимость процесса абсорбции.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка регенерируемых сорбентов с селективными свойствами, создание гибридных адсорбционно-абсорбционных аппаратов, а также внедрение систем автоматического управления сорбционными процессами в реальном времени.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». – М.: Минприроды России, 2024. – 486 с.
2. Хамзина Э.В. Методы очистки газообразных отходов на нефтеперерабатывающих предприятиях / Э.В. Хамзина, А.М. Ахметов // Вестник магистратуры. – 2021. – № 1-1 (112). – С. 45–48.
3. Жанабергенова Д.Р. Определение поглотительной способности наиболее известных адсорбентов / Д.Р. Жанабергенова, Ю.О. Мещанинова // Молодой ученый. – 2015. – № 11 (91). – С. 492–497.
4. Безопасность жизнедеятельности и управление рисками: учебное пособие. – М.: РИОР: ИНФРА-М, 2016. – 251 с.
5. Махоткин А. Ф. Новые технологии и аппараты для решения экологических проблем производства энергонасыщенных материалов / А.Ф. Махоткин, В.И. Петров, Р.А. Халитов, И.А. Махоткин // Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 41, № 1. – С. 163–167.

6. Патент № 2645987 С2 Российская Федерация, Способ и устройство для удаления примесей из выхлопных газов / Сучек Н.Д.; заявл. 30.08.2013; опубл. 28.02.2018.
7. Патент № 2648894 С2 Российская Федерация, Способ удаления загрязняющих веществ из выходящих газов / Сачек Н.Д.; заявл. 10.01.2014; опубл. 28.03.2018.
8. Патент № 2602148 С2 Российская Федерация, Усовершенствованное производство азотной кислоты / Сачек Н.Д.; заявл. 21.08.2012; опубл. 10.11.2016.
9. Патент № 2686037 С1 Российская Федерация, Способ и установка для очистки отходящих газов / Джангирян В.Г., Кривенко И.В., Наместников В.В., Афанасьев А.Г., Прохоров Е.Н.; заявка: 2018119698, регистрация: 29.05.2018, опубл. 23.04.2019.

Сотовый катализатор очистки газовых выбросов газоперекачивающих агрегатов

Попов А. Д.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Сахаров И. Ю.

Ассистент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Халитов Р. А.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Сахаров Ю. Н.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Мусина Д. Б.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: рассмотрены наилучшие доступные технологии (НДТ), позволяющие нейтрализовать выбросы NO_x и CO от газовых турбин. Определены два универсальных способа снижения концентрации NO_x в продуктах сгорания газотурбинных приводов как на вновь разрабатываемых, так и на находящихся в эксплуатации ГПА: - посредством снижения выбросов за счет принципиального изменения конструкции ГПА (сухое подавление выбросов NO_x); - посредством доочистки выбросов на выходе из ГПА (селективное каталитическое восстановление – СКВ, селективное некаталитическое восстановление). Рассмотрены существующие подходы и условия эффективного конструирования и применения систем СКВ для нейтрализации оксидов азота.

Ключевые слова: катализатор сотовый, очистка, атмосфера, выброс, моделирование, конструирование, применение

Одной из важнейших задач газовой отрасли является снижение вредных выбросов в атмосферу и обеспечение экологической безопасности компрессорных станций. Негативное влияние на человека и окружающую природную среду

оказывают оксиды азота, которые поступают в атмосферу с продуктами сгорания газотурбинных установок. Выбросы оксидов азота от одного агрегата могут достигать свыше 100 т/год.

Известные в настоящее время режимные методы снижения образования выбросов оксидов азота в выхлопе, основанные на снижении температуры в зоне горения, на снижении количества окислителя в зоне горения, на уменьшении времени пребывания продуктов сгорания в зоне высоких температур (рециркуляция продуктов сгорания, двухстадийное сжигание, впрыск пара или воды, размещение дополнительных поверхностей в зоне горения) не могут быть применены с достаточной эффективностью в камерах сгорания ГТУ. Это связано с конструкцией камер сгорания (КС) и необходимостью больших затрат при ее реконструкции для обеспечения возможности реализации этих методов, что не компенсируется снижением эмиссии оксидов азота. Реализация режимных методов связана также со снижением коэффициента полезного действия ГТУ; с повышением в продуктах сгорания заметных количеств оксидов углерода; с возможным появлением в выхлопе бенз(α)пирена; с большим расходом дефицитной химочищенной воды и необходимостью оснащения КС установками для ее получения; с необходимостью модернизации ГПА для возможности получения требующегося для впрыска пара.

Наиболее перспективным методом очистки продуктов сгорания ГПА от оксидов азота является метод каталитической очистки, который может проводиться в диапазоне температур 250–500 °С, характерных для отходящих газов большинства газоперекачивающих агрегатов (как новых, так и уже эксплуатирующихся на компрессорных станциях). При этом особо следует отметить то обстоятельство, что реализация этого метода не предполагает какого-либо вмешательства в проточную часть ГТУ [1].

Таким образом, появляется необходимость поиска универсального способа снижения концентрации NOx в продуктах сгорания газотурбинных приводов как на вновь разрабатываемых, так и на находящихся в эксплуатации ГПА.

Поставленную задачу можно решить двумя способами:

- снижением выбросов за счет принципиального изменения конструкции ГПА (сухое подавление выбросов NOx);
- доочисткой выбросов на выходе из ГПА (селективное каталитическое восстановление – СКВ, селективное некаталитическое восстановление).

В таблице 1 приводятся наилучшие доступные технологии (НДТ), по данным Европейской комиссии, позволяющие нейтрализовать выбросы NO_x и CO от газовых турбин.

Сухое подавление является перспективным методом нейтрализации NO_x , но его применение не всегда экономически обосновано: затраты на реконструкцию действующей газовой турбины сопоставимы с половиной стоимости новой турбины. Таким образом, СКВ является более универсальным способом снижения выбросов ГПА.

Таблица 1

НДТ для снижения выбросов NO_x и CO от газовых турбин

Тип установки	Уровень выбросов, соответствующий НДТ, мг/м^3 при н. у.		Уровень содержания кислорода, %	Варианты НДТ для достижения данных уровней
	NO_x	CO		
Новые газовые турбины (ГТ)	20–50	5–100	15	Горелки предварительного смешения с сухим подавлением NO_x или СКВ
Сухое подавление выбросов NO_x для существующих ГТ	20–75	5–100	15	Горелки предварительного смешения с сухим подавлением выбросов NO_x в качестве модернизации, если возможно
Действующие ГТ	50–90	30–100	15	Впрыск воды или пара или СКВ

Основные особенности методов предотвращения и контроля выбросов оксидов азота от газовых турбин представлены в табл. 2.

Система СКВ представляет собой модули, устанавливаемые в выхлопном тракте ГПА, и дополнительные модули обеспечения ее работы, размещаемые на площадке агрегата (рис. 1).

Таблица 2

Методы предотвращения и контроля выбросов NO_x от газовых турбин

Метод	Экологическая выгода	Применимость		Эксплуатационный опыт	Перекрестные влияния	Примечания
		На новых установках	На модернизированных установках			
Камера сгорания с сухим подавлением выбросов NO _x	Сокращение NO _x	Стандартное	В зависимости от ГТ	Высокий		В случаях реконструкции старых турбин, затраты могут составлять до 50 % затрат на новую турбину
СКВ		Возможно	Возможно		Выбросы аммиака	В зависимости от конкретной ГПУ

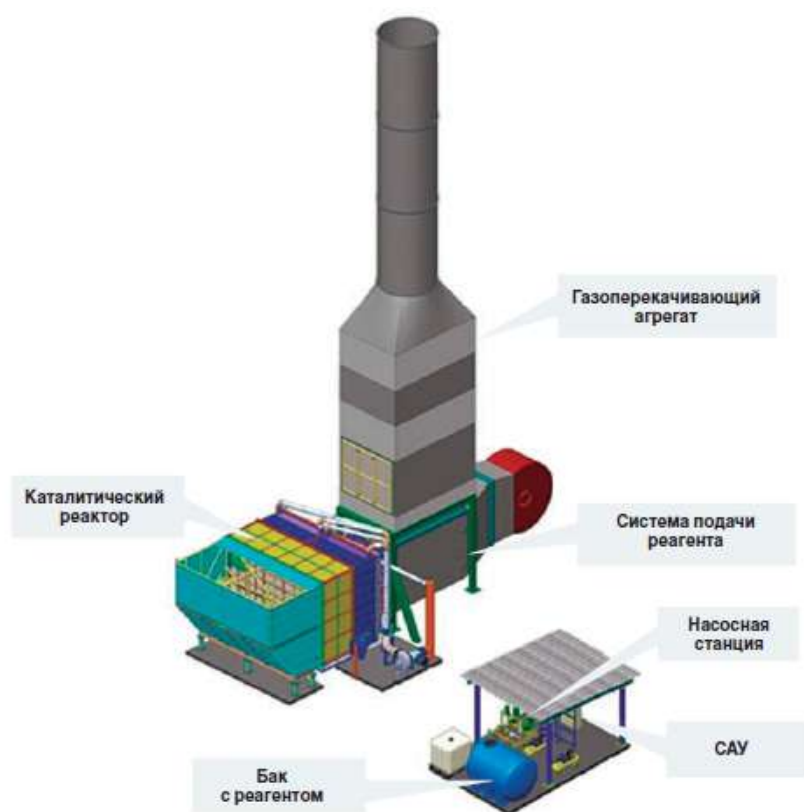
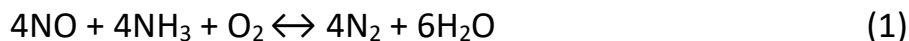


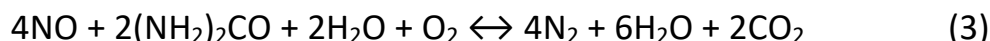
Рис. 1. Схематичное изображение системы СКВ [2]

Восстановитель впрыскивается в поток дымовых газов на входе в катализатор. Преобразование NO_x происходит на поверхности катализатора путем одной из следующих основных реакций:

а) с аммиаком в качестве восстановителя:



б) с мочевиной в качестве восстановителя:



Скорость подачи и расход восстановительного реагента определяются концентрацией NO_x на входе и выходе системы очистки [3].

В качестве катализаторов для СКВ-установок применяются катализаторы в форме (рис. 2):

- сотовых керамических блоков;
- пластинчатых элементов.

Наибольшее распространение получили сотовые керамические катализаторы. В основном эти катализаторы производятся экструзией однородной катализаторной массы, каналы имеют квадратное сечение различных размеров [4].

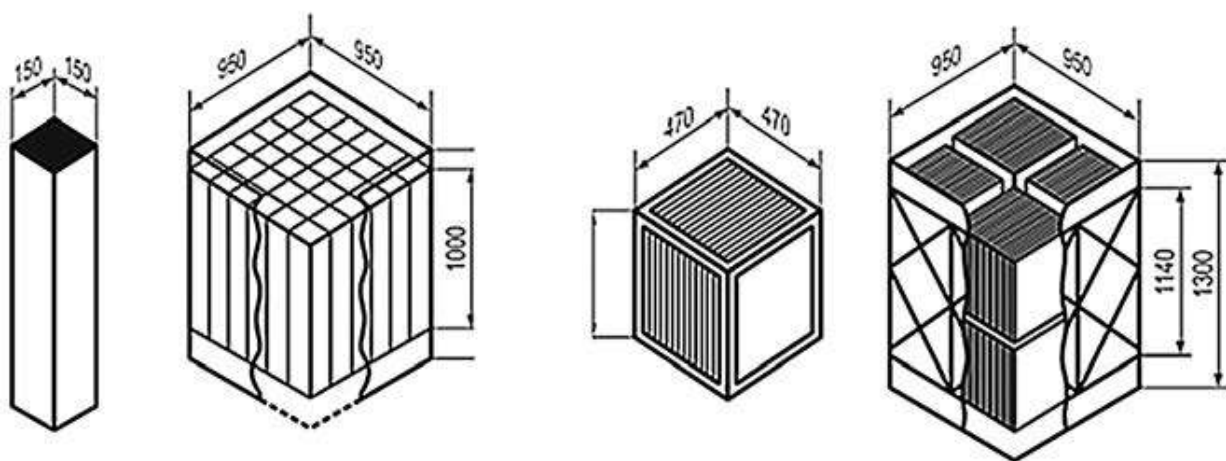


Рис. 2. Типы катализаторов СКВ: а) сотовый керамический; б) пластинчатый

Благодаря использованию катализаторов в процессе очистки уменьшается расход реагента, значительно снижается температура нейтрализации оксидов азота, и при этом эффективность очистки превышает 90 %.

При установке СКВ после ГПА важно не только правильно подобрать реагент и катализатор, но и соблюсти следующие технические условия:

- определить экономическую целесообразность: снизить температуру выхлопных газов разбавлением воздухом или использовать катализатор для высоких температур;
- обеспечить равномерное распределение температуры, концентрации паров реагента и NO_x в момент попадания газового потока на каталитические блоки;
- обеспечить минимальное противодавление в системе.

Только в случае одновременного выполнения трех вышеуказанных условий система СКВ будет эффективным решением для нейтрализации оксидов азота [5]. Предложенная компоновка системы СКВ должна обеспечить выравнивание потока, разрушение вихревых образований, отклонений векторов скоростей от нормали на входе в катализатор не более 15 %.

В ходе конструирования системы СКВ необходимо определить оптимальную структуру носителя катализатора и несколько каталитических композиций (рис. 3). Разработать алгоритмы работы включения и отключения исполнительных механизмов системы СКВ в автоматическом и ручном режимах по командам САУ СКВ. Предусмотреть автоматическую систему управления подачи реагента по сигналу САУ и дополнительно вариант с альтернативной (резервной) системой подачи реагента



Рис. 3. Этап лабораторного тестирования катализатора подавления оксидов азота

Лабораторные испытания системы СКВ [6,7] показали эффективность очистки до 99,8 % в зависимости от выбранного режима ГПА и расхода реагента, что позволяет не только достичь требуемых европейских нормативов, но и превзойти их в несколько раз (табл. 3). Технология использования данной системы очень проста и не требует дополнительной подготовки персонала.

Таблица 3

Лабораторные испытания системы СКВ

Мощность ГПА	Расход реагента						
	0 л/мин	0,32 л/мин	0,45 л/мин	0,47 л/мин	0,48 л/мин	0,55 л/мин	0,86 л/мин
	Концентрации NO _x в отходящих газах ГПА						
0,5 номинала	137 мг/м ³	–	–	–	0	–	–
0,75 номинала	149 мг/м ³	48 мг/м ³	–	42,9 мг/м ³	–	–	–
1,0 номинала	180 мг/м ³	–	123 мг/м ³	–	–	84 мг/м ³	16 мг/м ³

Рассмотренная система СКВ в установленных условиях применения позволяет эффективно справляться с выбросами NO_x от ГПА. В зависимости от выбранного режима и расхода реагента эффективность очистки составляет почти 100 %.

Оборудование ГПА системой СКВ, может быть успешно внедрено как в России, так и за рубежом, причем как на уже эксплуатируемых ГПА, так и при строительстве новых газопроводов.

Список литературы

1. Научно-техническая политика ОАО «Газпром» в области газоперекачивающей техники (утв. Председателем Правления 20 октября 2009 г. № 01-110).
2. Черепанов Н.А., Петроченков А.Б. Система селективного каталитического восстановления для снижения выбросов NO_x газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом // Вестник ПНИПУ. - 2023. - №46. - С. 219-243.

3. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://eippcb.jrc.es.europa.eu/reference/BREF/lcp_bref_0706.pdf (дата обращения: 11.05.2017).
4. Ходаков Ю.С. Оксиды азота и теплоэнергетика: проблемы и решения. М.: ЭСТ-М, 2001. 416 с.
5. Chupka M., Licata A. Independent Evaluation of SCR Systems for Frame-Type Combustion Turbines Report for ICAP Demand Curve Reset prepared for NYISO. October 2013.
6. Некаталитическая очистка дымовых газов от оксидов азота: результаты промышленного внедрения / О.Н. Кулиш [и др.] // Экология и промышленность России. - 2004. - №4.
7. Layton R.K., Benn D. Kinetics of the NO-NH₃-O₂ reaction // Proc. 17-th Symposium (Int.) on Combustion Institute. -Pittsburg. - 1978. - P. 601--610.

Технические решения экологических проблем технологии производства нитрата аммония

Сахаров И. Ю.

Ассистент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Попов А. Д.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Сахаров Ю. Н.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Мусина Д. Б.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: выполнен эколого-экономический анализ технологии производства нитрата аммония. Показано, что основной выброс вредных веществ в атмосферу представляют мелкие частицы нитрата аммония, поступающего со стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком, которые практически не улавливаются типовым очистным оборудованием. Предложены технические решения по сокращению количества выброса вредных частиц мелкодисперсного нитрата аммония, предусматривающие одновременно сокращение процессов образования нитрата аммония и тонкую очистку остаточного количества частиц нитрата аммония на волокнистых фильтрующих материалах.

Ключевые слова: нитрат аммония, частица, выброс, очистка, производство, экология, проблема, анализ

К отходам производства нитрата аммония (НА) относятся: – конденсат сокового пара стадии нейтрализации; – конденсат пара со стадии концентрирования (выпаривания) растворов нитрата аммония; – отходящий газовый поток после грануляционных башен. В среднем на 1 т готового продукта выделяется около 500 кг сокового пара, при выпаривании около 300 кг. В смеси конденсатов содержание нитрата аммония до 3 г/л, а аммиака до 1 г/л а. [1, 2]. Очистку

(конденсат сокового пара: NH_4NO_3 – не более 3 г/дм³, HNO_3 – не более 4 г/дм³) и паровоздушной смеси выпарного аппарата (NH_4NO_3 – не более 4 г/м³, а NH_3 – не более 3 г/м³) проводят в шести промывных скрубберах тарельчатого типа, которые расположены в верхней части башни гранулирования. На каждую секцию скруббера установлен вентилятор, производительностью до 100000 м³/ч.

Перед выбросом в атмосферу выбрасываемые газы подвергается промывке слабым раствором NH_4NO_3 (не более 25 %) от примесей нитрата аммония в промывном скруббере на тарелках из просечно-вытяжного листа с отбойными элементами и очистке от капельной влаги в пакетах сетчатых брызгоулавливающих рукавов, установленных в верхней части скруббера. Эффективность промывных скрубберов достигает 90 %, при этом массовая концентрация в выбрасываемом воздухе составляет: NH_4NO_3 не более 100 мг/м³, NH_3 – не более 50 мг/м³, что не всегда достигается.

При увеличении производительности стадии гранулирования и соответствующем увеличении скорости охлаждающего воздуха количество и размер уносимых частиц возрастает с 190 мкм при 1 м/с до 515 мкм при 3 м/с. При этом на одну тонну готового продукта по данным [3] выбрасывается в атмосферу не менее 2 кг аэрозоля нитрата аммония, что приводит не только к локальному загрязнению, но и ухудшает экологическую обстановку региона в целом. По данным [4], максимальные значения выбросов NH_4NO_3 2,03 кг на тонну продукции, NH_3 – 0,72 кг/т. Промывные скрубберы обеспечивает очистку частиц 190 мкм при 1 м/с до 515 мкм при 3 м/с, очистка газовых выбросов от аэрозоля частиц NH_4NO_3 размером 1-10 мкм поступающего со стадии нейтрализации типовым очистным оборудованием не обеспечивается.

На стадии нейтрализации концентрация азотной кислоты в зоне реакции, стабильность работы нейтрализаторов (ИТН и скрубберов-нейтрализаторов) их режим работы и брызгоунос определяет содержание нитрата аммония и азотной кислоты в конденсате сокового пара [5]. Повышенные потери HNO_3 , NH_4NO_3 с соковым паром ИТН наблюдают, когда:

- а) нарушен режим в аппаратах;
- б) перегружены аппараты;
- в) нет выхода щелоков из аппарата ИТН или слива из сепараторов.

Высокие потери аммиака, HNO_3 , NH_4NO_3 в конденсате скрубберной установки возникают в результате:

- а) резких колебаний расхода газов дистилляции;
- б) неудовлетворительной работы системы регулирования процесса нейтрализации в скруббере-нейтрализаторе и перегрузке скруббера;
- в) недостаточном орошении скруббера раствором NH_4NO_3 ;

Прогнозируемое увеличение производственных мощностей как единичных агрегатов НА, так и по отрасли в целом приведет к соответствующему увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Для решения экологических проблем предлагаются научно-технические решения в виде способа, устройства и модернизированная установка, для обеспечения высокой производительности и одновременно пониженного содержания вредных веществ на выходе [6,7,8,9,10], представлена на рис. 1.

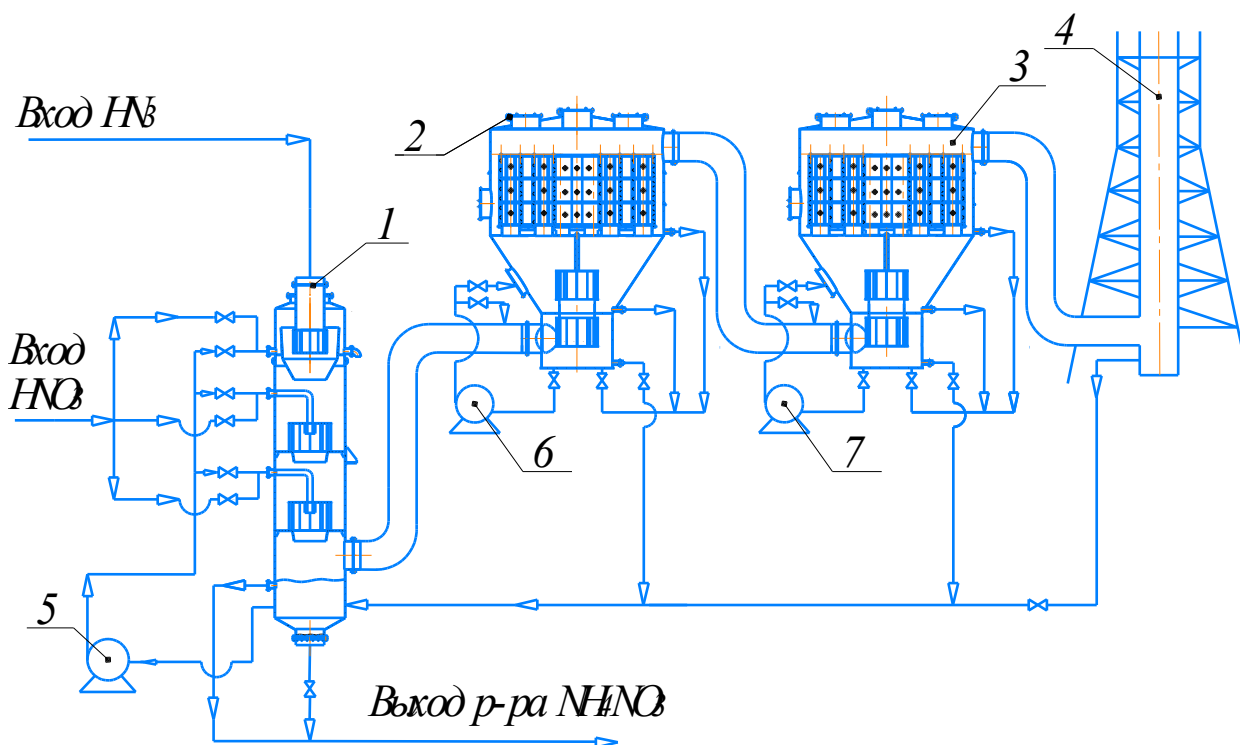


Рис. 1. Схема модернизированной малоотходной установки стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком производства нитрата аммония: 1 – вихревой нейтрализатор с нисходящим способом взаимодействия фаз и циркуляцией жидкости; 2, 3 – брызготуманоловушка с рукавными фильтрами; 4 – труба выброса газов в атмосферу; 5, 6, 7 – насос циркуляции жидкости

Внедрение разработанного способа, устройства и модернизированной вихревой установки на стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком позволяет направлять пар со стадии упаривания во вторую ступень системы

газоочистки стадии нейтрализации, позволит исключить вышеперечисленные недостатки существующих технических решений, сократить содержание вредных веществ в отходящем газовом потоке производства НА в два и более раз при одновременным четырехкратным увеличением производительности установки нейтрализации [10]. Более точное дозирование посредством контура циркуляции позволяет подавать на вход в нейтрализатор АК с начальной концентрацией 2-4 %, сократить остаточную концентрацию АК в продукционном растворе от 1г/л до 0,2 г/л и далее до значения pH 4,5-5,0.

Принятое для расчета значение содержания вредных веществ в соковом паре стадии нейтрализации современного производства НА и значение величины выбросов, достигаемых в результате внедрения предлагаемых технических решений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание вредных веществ в соковом паре стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком современного производства нитрата аммония (1) и модернизированной установки стадии нейтрализации (2)

1. Нейтрализация неконцентрированной HNO_3 газообразным NH_3 в аппаратах ИТН, на современной промышленной установке.	В соковом паре: Массовая концентрация NH_4NO_3 – 1800 мг/м ³ Массовая концентрация NH_3 - отсутствие
2. Нейтрализация неконцентрированной HNO_3 газообразным NH_3 в аппаратах вихревого типа, на модернизированной установке.	В соковом паре: Массовая концентрация NH_4NO_3 – 10 мг/ м ³ Массовая концентрация NH_3 – отсутствие

По результатам эколого-экономического анализа и результатов предлагаемых технических решений, по методике [11] проведен расчет размера предотвращенного вреда, причиненного атмосферному воздуху от сброса в атмосферу токсичных веществ, содержащихся в выходящем газовом потоке производства нитрата аммония. На основании выполненного расчета предотвращенный вред от уменьшения сброса в атмосферу токсичных веществ единичного агрегата производства нитрата аммония мощностью 1360 т/сут, при $T_{\text{эф}} = 270$ дней/год,

за счет внедрения одной вихревой малоотходной установки нейтрализации азотной кислоты аммиаком составит 2,42 млн. руб./год, и 12,11 млн. руб./год за счет сокращения потерь.

Список литературы

1. Миниович В.А. Производство аммиачной селитры. – М.: Химия, 1974. – 240 с.
2. Постоянный технологический регламент №-3 производства селитры аммиачной и КАС цеха № 3. Том 1. 2017 – ОАО «ТольяттиАзот». – 204 с.
3. Аммиачная селитра [Электронный ресурс]. URL: <https://www.giap.ru/Uslugi-i-produkty/Tehnologii/Ammiachnaya-selitra/> (дата обращения 03.09.2021)
4. Шперук Л. М. Анализ бизнес-процесса производства аммиачной селитры на примере ПАО «МХК «Еврохим» / Л. М. Шперук, В. К. Касьянов, Ю. М. Аверина // Успехи в химии и химической технологии. – 2018. – Т. 32, № 14(210). – С. 22-25.
5. Пат. 2451637 РФ, МПК5 C01C1/18. Агрегат для получения нитрата аммония / С. Н. Кузнецов, С. В. Ардамаков, А. В. Будяк; заявитель и патентообладатель ОАО «Куйбышев Азот». – № 2010150034/05; заявл. 06.12.2010; опубл. 27.05.2012.
6. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов фильтрами / В.Н. Ужов, Б.И. Мягков. – М.: Химия, 1970. – 320 с.
7. Sakharov I.U. Determination the phase contact surface size of nitric acid with ammonia neutralization process for the ammonium nitrate production / Sakharov I.U., Makhotkin A.F., Sakharov U.N., and Makhotkin I.A. // Conference on Innovative Technologies for Environmental Protection in the Modern World, TERPMW 2021, Kazan, 18 March 2021 - null, 170870. (IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Открытый доступ Том 815, Выпуск 121 July 2021 Номер статьи 0120152021) (Scopus, WOS).
8. Сахаров И.Ю. Исследование гидравлического сопротивления вихревых аппаратов для повышения производительности стадии нейтрализации азотной кислоты аммиаком производства аммиачной селитры / Д.В. Андреева, И.Ю. Сахаров, И.А. Махоткин, А.О. Трусов [и др.]. // Вестник Казанского технологического университета. – 2023. – т. 26, № 11. – С. 63-67.

9. Сахаров И.Ю. Исследование процесса нейтрализации растворов азотной кислоты аммиаком на модели аппарата периодического действия. / И.Ю. Сахаров, А.Ф. Махоткин, Ю.Н. Сахаров [и др.]. // Бутлеровские сообщения. – 2019. – Т.58. №6. – С.110-113.
10. Патент РФ, № 2619700, МПК C01C 1\18. Способ получения аммиачной селитры и устройство для его осуществления \ Сахаров И. Ю., Махоткин И. А., Сахаров Ю.Н., Махоткин А.Ф.; заявл. 05.04.2016; опубл. 17.05.2017.
11. Методика исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды (утв. приказом Минприроды России от 28 января 2021 г. N 59) URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536168> (дата обращения 08.09.2022).

Химические сенсоры на основе полианилина для определения аммиака в газовой среде

Ткаченко М. В.

Старший лаборант-исследователь лаборатории

Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук

Панасенко А. Е.

Заведующий лабораторией

Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук

Аннотация: изготовлены полианилиновые сенсоры для определения аммиака в газовой среде по изменению сопротивления и изучены их свойства в зависимости от способа получения. Рассмотрены различные методы формирования чувствительного слоя: термическое осаждение из раствора, прессование и синтез полианилина на поверхности датчика. Получены изделия, чувствительные к присутствию аммиака в воздухе, показано, что способ получения влияет на проводимость и чувствительность материала.

Ключевые слова: полианилин, электрическое сопротивление, газовый сенсор, аммиак, электропроводящие полимеры

Контроль состава газовой среды является важной задачей в промышленности, экологии и медицине, поскольку наличие токсичных газов в воздухе может представлять серьёзную угрозу для здоровья человека. В связи с этим разработка надёжных и чувствительных методов детектирования газов остаётся актуальной научно-технической задачей [1].

Среди различных типов газовых сенсоров особый интерес представляют сенсоры на основе органических материалов, отличающиеся низким энергопотреблением, возможностью работы при комнатной температуре и сравнительно простой технологией изготовления. В качестве чувствительных материалов для таких сенсоров активно исследуются электропроводящие полимеры, в частности полианилин.

Полианилин обладает рядом преимуществ, включая химическую стабильность, обратимую изменяемость проводимости, простоту синтеза и возможность работы при комнатной температуре [2].

Аммиак (NH_3) является широко распространённым промышленным газом, используемым в промышленности, сельском хозяйстве и холодильных установках. При этом его повышенные концентрации токсичны. Сенсоры на основе полианилина демонстрируют высокую чувствительность к аммиаку благодаря кислотно-основному взаимодействию молекул NH_3 с полимерной матрицей, приводящему к изменению электрических характеристик материала [3].

Вместе с тем характеристики сенсоров на основе полианилина в значительной степени зависят от способа формирования чувствительного слоя, его морфологии, степени допирования и наличия добавок [4]. Оптимизация этих параметров является ключевой задачей при разработке высокоэффективных сенсоров.

Цель работы – разработка и экспериментальное исследование различных способов нанесения полианилина на сенсорную подложку, для детектирования аммиака в газовой среде, с оценкой влияния метода формирования чувствительного слоя на его морфологию и газочувствительные характеристики.

В качестве подложки использовали печатную плату с медными дорожками, формирующими лабиринтовый зазор постоянной ширины между двумя контактами. На подложку наносили полианилин для формирования чувствительного слоя между двумя дорожками.

Экспериментально установлено, что сенсор на основе полианилина проявляет проводящие свойства только при формировании достаточно толстого и непрерывного чувствительного слоя. В связи с этим были исследованы три метода нанесения полианилина на поверхность датчика.

Первый метод заключался в термическом осаждении плёнки из раствора полианилина в N-метилпирролидоне с последующим выпариванием растворителя. Такой подход позволяет получить относительно однородное покрытие, однако возможны дефекты, связанные с термическим воздействием.

Второй метод основан на прессовании порошкообразного полианилина с использованием гидравлического пресса, что обеспечивает формирование плотного проводящего слоя, но может снижать удельную поверхность материала.

Третий метод заключался в синтезе полианилина непосредственно на поверхности сенсора путём капельного нанесения 10 %-ного раствора

персульфата аммония и анилина в соляной кислоте с выпариванием при 100 °С. Процедура повторялась 3–4 раза для увеличения толщины слоя.

Сравнение данных методов позволяет оценить влияние способа формирования слоя на проводящие и чувствительные характеристики сенсора.

Установлено, что при выпаривании формируется недостаточно толстый слой полианилина, не обеспечивающий стабильной проводимости. В связи с этим в дальнейших экспериментах использовали прессование полианилина и его синтез непосредственно на поверхности датчика.

Для проведения эксперимента было необходимо подобрать рабочие условия. С этой целью была разработана экспериментальная установка, состоящая из аммиачной подушки, соединённой с перистальтическим насосом, обеспечивающим прокачку газа через стеклянную цилиндрическую камеру с постоянной регулируемой скоростью. В центральной части камеры был установлен датчик, находящийся в непосредственном контакте с газовой средой, соединённый с измерительным прибором для определения электрического сопротивления цепи. Такая схема установки позволяла подавать газ со скоростью 100 мл/мин к чувствительному элементу и фиксировать изменения его проводимости во время эксперимента.

Таблица

Характеристика исследуемых образцов сенсоров

№ образца	Способ получения	Описание
1	Прессование	Датчик, полученный прессованием 0,2 г полианилина
2	Прессование	Датчик, полученный прессованием 0,2 г полианилина
3	Синтез на поверхности	Датчик, полученный синтезом полианилина непосредственно на поверхности
4	Синтез на поверхности	Датчик, полученный синтезом полианилина непосредственно на поверхности
5	Синтез на поверхности с обработкой	Датчик, полученный синтезом полианилина с последующей промывкой в растворе HCl

В таблице представлены исследуемые образцы сенсоров, отличающиеся способом формирования чувствительного слоя. Образцы 1 и 2 получены методом прессования полианилина, тогда как образцы 3–5 сформированы путём синтеза полианилина непосредственно на поверхности датчика. Образец 5 дополнительно подвергался обработке раствором соляной кислоты, для модификации проводимости и чувствительности.

Первые измерения проводились для всех пяти датчиков, не подвергавшихся ранее воздействию аммиака. Повторные измерения выполнялись для датчиков 1, 3, 4 и 5.

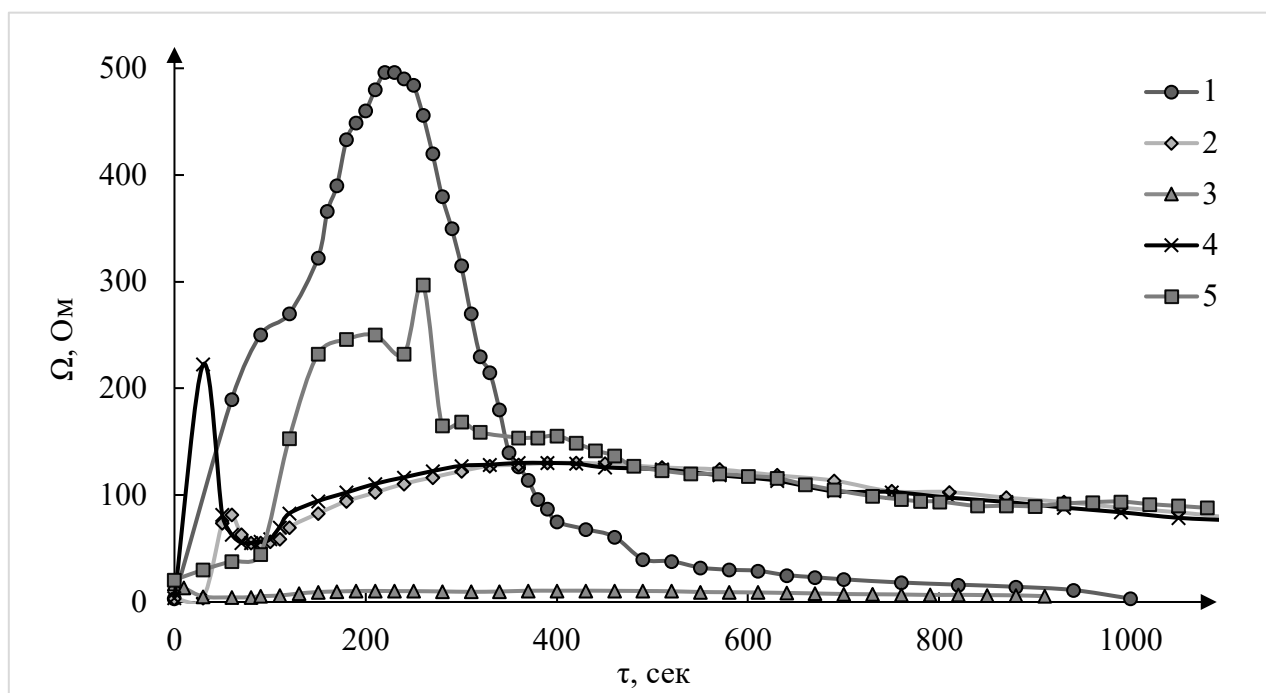


Рис. 1. Зависимость сопротивления датчиков на основе полианилина от времени при воздействии аммиака (скорость подачи газа 100 мл/мин)

На рис. 1 представлены зависимости сопротивления сенсоров от времени воздействия аммиака на датчики. Начальные значения сопротивления различаются (3–20 Ом), что связано с разными способами формирования чувствительного слоя. Для всех образцов наблюдается общий характер отклика: при воздействии аммиака сопротивление возрастает, достигает максимума, после чего постепенно снижается.

Наибольший отклик демонстрирует образец 1 (см. табл.) 498 Ом, тогда как образец 5 достигает 297 Ом. Датчики 2 и 4 характеризуются менее выраженным

откликом ($\sim 120\text{--}130\text{ Ом}$). Образец 3 демонстрирует нестабильное поведение на начальном участке и в дальнейшем после эксперимента он был подвержен дополнительной обработке в соляной кислоте (HCl).

После достижения максимума для всех датчиков наблюдается постепенное уменьшение сопротивления, что может быть связано с десорбцией аммиака и частичным восстановлением исходного состояния полианилина. Таким образом, полученные зависимости свидетельствуют о чувствительности сенсоров к аммиаку и существенном влиянии способа получения чувствительного слоя на величину и динамику отклика.

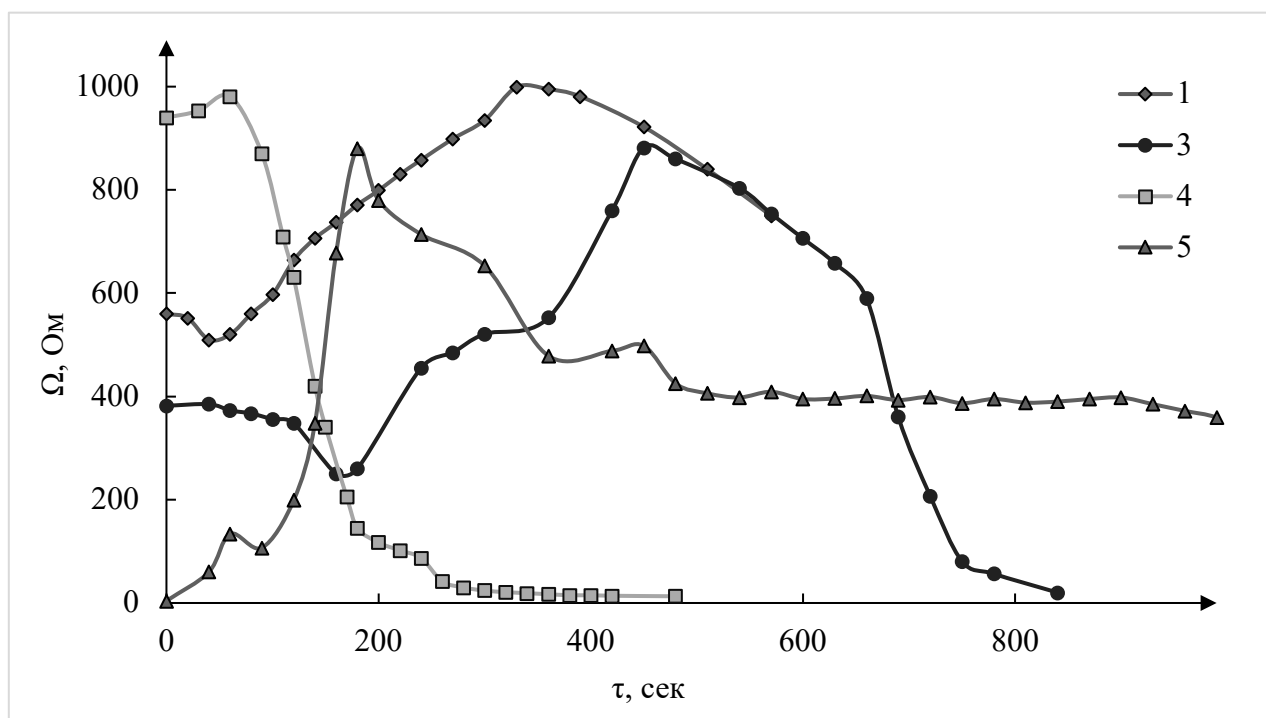


Рис. 2. Зависимость сопротивления датчиков на основе полианилина от времени при воздействии аммиака (скорость подачи газа 100 мл/мин), повторный эксперимент

На рис. 2 представлены зависимости сопротивления датчиков при повторном воздействии аммиака спустя неделю. Показано, что сенсоры не всегда сохраняют стабильный отклик. Датчик 3 (см. табл.) первоначально не давал отклика, однако после промывки в соляной кислоте его чувствительность была восстановлена. Существенные различия между датчиками 3 и 4, не подвергавшимся кислотной обработке, указывают на влияние постобработки на свойства полианилина.

Для всех рабочих образцов сохраняется общий характер зависимости: рост сопротивления с последующим спадом. При этом датчики 1 и 3 демонстрируют

наибольший отклик (до $\sim 800-1000$ Ом), тогда как датчик 5 характеризуется более сглаженной зависимостью. Датчик 4 показывает резкое снижение сопротивления после начального участка, что может свидетельствовать о деградации структуры чувствительного слоя.

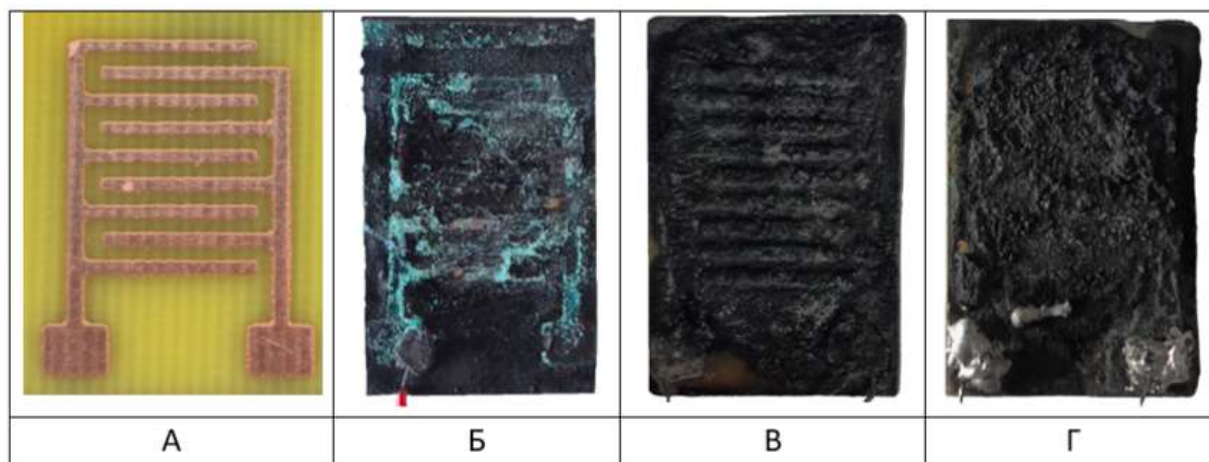


Рис. 3. Фотографии датчиков: а – подложка с медными дорожками, б – датчик 1 после экспериментов, в – датчик 3 после экспериментов, г – датчик 5 после экспериментов

На рис. 3 представлены фотографии сенсоров. На изображении А показана исходная подложка датчика с медными контактами без нанесённого чувствительного слоя. Видна чёткая структура токопроводящих дорожек, обеспечивающих измерение электрического сопротивления. На изображении Б представлен датчик, полученный методом прессования, после двух экспериментов. Наблюдается неравномерное распределение материала и частичное разрушение слоя, а также следы коррозии медных контактов (голубые участки). Изображение В иллюстрирует сенсор, полученный синтезом полианилина на поверхности. В этом случае формируется более равномерный и сплошной слой, повторяющий геометрию подложки, что обеспечивает лучшую проводимость и адгезию покрытия (отсутствует коррозия). На изображении Г представлен датчик после проведения экспериментов и дополнительной обработки. Видны изменения структуры поверхности, связанные с воздействием соляной кислоты, однако покрытие остаётся более устойчивым по сравнению с прессованными образцами.

В результате проведённого исследования установлено, что для сенсоров на основе полианилина, чувствительных к аммиаку, основное влияние на работоспособность датчика оказывает способ формирования чувствительного слоя.

Датчик, полученный из раствора полианилина в N-метилпирролидоне, не проводит ток. Прессованные образцы обладают проводимостью, однако быстро разрушаются из-за отслаивания полимера и коррозии медных контактов. Наиболее эффективными оказались сенсоры, полученные синтезом полианилина на поверхности датчика, особенно после обработки в растворе соляной кислоты (датчик 5), которая улучшает их проводящие свойства и обеспечивает наиболее стабильный и быстрый отклик.

Также установлено, что со временем характеристики сенсоров ухудшаются из-за деградации чувствительного слоя. Это указывает на необходимость дальнейшего улучшения технологии изготовления, включая повышение прочности слоя и защиту контактов.

Таким образом, полианилин является перспективным материалом для газовых сенсоров аммиака, однако требуется повышение их стабильности и срока службы. Представленные изображения подтверждают, что способ формирования полианилина существенно влияет на морфологию чувствительного слоя, его однородность и устойчивость, что напрямую отражается на характеристиках сенсора.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института химии ДВО РАН №FWFN-2025-0002.

Список литературы

1. Conducting polymers in electronic chemical sensors / J. Janata, M. Josowicz. – DOI 10.1038/nmat902 // Nature Materials. – 2003. – Vol. 2. – P. 19–24.
2. Polyaniline: preparation of a conducting polymer / J. Stejskal, R. G. Gilbert. – DOI 10.1016/S0032-3861(02)00115-5 // Polymer. – 2002. – Vol. 43, № 14. – P. 4033–4041.
3. Gas sensors based on conducting polymers / H. Bai, G. Shi. – DOI 10.1016/j.snb.2006.02.044 // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2007. – Vol. 120, № 1. – P. 141–149.
4. Polyaniline nanofibers: a unique polymer nanostructure for versatile applications / Y. Li, J. Huang, R. B. Kaner. – DOI 10.1016/j.snb.2011.11.045 // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2012.

Оценка воздействия Казанской ТЭЦ на атмосферный воздух

Ханов Р. Р.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Замалутдинов И. М.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Фазулина А. А.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: рассмотрены выбросы загрязняющих веществ в атмосферу Казанской теплоэлектроцентрали. Влияние объекта размещения отходов на атмосферный воздух.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха,шламоотстойники

Наибольшее загрязнение атмосферного воздуха происходит вследствие выбросов в атмосферу вредных веществ при работе энергетических установок, работающих на углеводородном топливе. Одним из основных и самых крупномасштабных источников загрязнения атмосферы являются тепловые электростанции.

В ходе проведения оценки воздействия объекта размещения отходов (ОРО) на качество атмосферного воздуха по взвешенным веществам, а также проанализировав динамику влияния ОРО на атмосферный воздух и подземные воды в сравнении с данными, полученными при проведении мониторинга за 2020-2025г.г. можно сделать следующие выводы:

1. Воздействие ОРО на атмосферный воздух не наблюдается, т.к. значение показателей загрязненности атмосферного воздуха по взвешенным веществам по результатам замеров показало значительное снижение относительно результатов всех прошлых наблюдений, и достигло уровня ниже фоновых показателей УГМС. Это вероятнее всего обусловлено тем, что отход «Осадок осветления природной воды при обработке известковым молоком и коагулянтом на

основе сульфата железа» находится во влажном состоянии (влажность 67 %), тем самым «пыление» его невозможно;

2. Влияние объекта размещения отходов на подземные воды, согласно проведенной оценки за весь период наблюдений не представляется объективно определить, так как колебания показателей не имеют какой-либо закономерности, а также отсутствуют характерные изменения показателей загрязненности подземных вод шламовыми водами, входящими в состав отхода, размещаемого в герметичных железобетонных ячейках объекта размещения отходов. Но наблюдается положительная динамика улучшения показателей качества подземных вод по некоторым важным показателям, протекающих по всей территории ОРО.

3. Анализ влияния ОРО на компонентный состав почвы относительно данных имеющихся за весь период наблюдений начиная с 2020 г. по настоящее время показал, что количественный состав загрязняющих веществ почвы меняется без какой-либо последовательности, в связи, с чем определить влияние не представляется возможным. Кроме того, анализы проводились по разным методикам [1].

Шламоотстойник Казанской ТЭЦ является объектом последовательной технологической цепи производственного процесса химической водоподготовки в процессе производства тепло- и электрической энергии. Отход «Осадок осветления природной воды при обработке известковым молоком и коагулянтом на основе сульфата железа» является отходом 5 класса опасности – не опасный, тем самым негативное (токсичное) воздействие на окружающую среду не происходит.

В ходе мониторинга объекта размещения отходов Казанской ТЭЦ (шламоотстойника) сформирована база данных изменений показателей компонентов окружающей среды в районе расположения ОРО, и в пределах его воздействия. Оценив динамику изменений, наблюдается значительное снижение концентрации загрязняющих веществ таких показателей как: сульфаты, сухой остаток, жесткость, алюминий, никель, свинец, марганец, железо, АПАВ, фенолы, перманганатная окисляемость, аммония ион.

Подземные воды, протекающие по территории ОРО, являются лишь «транзитными» со всей промышленной зоны данного района, и влияние ОРО

Казанской ТЭЦ на котором размещается отход 5 класса опасности, является необоснованным [2] (таблица 1).

Таблица 1

Данные мониторинга по показателям

Наименование показателя	Усредненные по годам данные мониторинга предыдущих лет	Усредненные данные мониторинга за 2025 год
Упорилы	17,784	22,1
Сульфаты	73,331	43,525
АПАВ	1,694	0,01
Аммония ион	0,272	0,327

Для определения степени влияния ОРО на окружающую среду была проведена сравнительная оценка химических анализов почвы с фоновыми данными, в ходе которой наблюдается некоторая нестабильная динамика изменений показателей Компонентов окружающей среды, определение степени влияния конкретно объекта размещения отходов на почву не предоставляется возможным (таблица 2):

Таблица 2

Данные мониторинга по показателям

Наименование показателя	Фоновые данные ТЭЦ за 2025г	Данные в точке между шламоочейкой 1 и 2	Данные в точке между шламоочейкой и зданием
рН водной вытяжки Меп	7,3	7,3	7,5
Кадмий	0,1	0,1	0,1
Цинк	63	66	68
Свинец	21	17	18

Сравнительная оценка влияния ОРО на атмосферный воздух по показателю взвешенные вещества - с фоновыми данными, полученными от ФГБУ «УТМС по РІ» показал уменьшение значения контролируемого показателя (таблица 3):

Данные мониторинга по показателям

Наименование показателя	Фоновые данные УГМС РТ	Данные за 2025 год
Взвешенные вещества, мг/м ³	0,157	<0,04

Несмотря на достижение основных целевых показателей экологической программы за 2020-2025 гг., приоритетными экологическими проблемами для филиалов Татэнерго продолжают оставаться: снижение загрязнения атмосферного воздуха от стационарных источников выбросов; недостаточное качество сточных вод по отдельным показателям при общем соблюдении установленных нормативов сбросов; обращение с отходами производства и потребления [3].

Список литературы

1. Официальный сайт АО «Татэнерго».
2. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об охране окружающей среды".
3. Отчет о результатах мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территории шламоотстойника филиала АО «Татэнерго» Казанской ТЭЦ за 2025 год.

Расчет приземных концентраций выбросов автотранспорта в зонах, прилегающих к автомагистралям г. Нижнекамск (на примере улицы корабельной) для оперативного управления качеством воздуха

Шагидуллин А. Р.

Доктор технических наук
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева – КАИ

Мурзина А. А.

Студент
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева – КАИ

Аннотация: в статье представлены результаты оценки степени загрязнения атмосферного воздуха, обусловленного выбросами автомобильного транспорта, на участке улично – дорожной сети города Нижнекамска. Выполнен расчет прогнозируемых максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ на территориях, прилегающих к автодороге.

Ключевые слова: автотранспорт, загрязнение атмосферного воздуха, рассеивание выбросов, интенсивность движения, выбросы автотранспорта

В городской среде автотранспорт выступает одним из ключевых источников загрязнения атмосферного воздуха. Негативное влияние транспортных выбросов может усиливаться по мере расширения города: рост интенсивности движения в условиях плотной застройки затрудняет соблюдение необходимых санитарных разрывов между автодорогами и жилыми объектами, что препятствует рассеиванию вредных веществ. В подобных ситуациях возникает потребность в разработке специальных природоохранных мероприятий.

Основой для проектирования и оценки эффективности таких решений, направленных на снижение выбросов от автотранспорта, служит расчетный мониторинг загрязнения атмосферного воздуха.

Целью данного исследования стала оценка уровня загрязнения воздушной среды выбросами автотранспорта на участке улицы Корабельная (от улицы Студенческая до улицы Вокзальная) в городе Нижнекамске.

Для расчета объемов выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу на определенных участках улично – дорожной сети, применялась «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха»[1], предназначенная для инвентаризации выбросов в рамках комплексных оценок состояния воздушной среды.

В соответствии с предложенной методикой, оценка выбросов осуществляется на основе наблюдений за интенсивностью движения автотранспорта (числом проездов за фиксированный двадцатиминутный интервал) с разделением транспортных средств на 5 категорий:

1. Легковые автомобили;
2. Автофургоны и микроавтобусы массой до 3,5 тонн;
3. Грузовые автомобили от 3,5 до 12 тонн;
4. Грузовые автомобили свыше 12 тонн;
5. Автобусы более 3,5 тонн.

Для установления максимальных разовых концентраций вредных веществ осуществляются в моменты наибольшей транспортной нагрузки.

На следующем этапе, используя полученные данные, а также нормативные пробеговые выбросы (удельные значения выбросов загрязняющих веществ на километр пути для каждой категории транспорта) и длину исследуемого участка, выполняется расчет объемов выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ.

Методика позволяет рассчитывать выбросы для следующих вредных веществ (групп веществ):

- Углерода оксид (CO)
- Азота оксид (NO)
- Азота диоксид (NO₂)
- Взвешенные мелкодисперсные частицы PM_{2,5}
- Бензин
- Керосин
- Серы диоксид (SO₂)

- Формальдегид (CH_2O)
- Бензапирен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) (установлены только среднегодовые ПДК)
- Метан (CH_4)

Далее осуществляется расчет рассеивания выбросов автотранспорта в атмосферном воздухе, что позволяет определить ожидаемые концентрации вредных веществ на территориях, прилегающих к автодороге.

Расчеты рассеивания проводились с использованием программного обеспечения УПРЗА «Эколог» (4.70). Программа реализует методику расчета рассеивания загрязняющих веществ [2].

Расчеты выполнялись с полным перебором метеорологических условий в пределах климатической характеристики города Нижнекамск для определения максимальных разовых концентраций. Таким образом, дальнейшие результаты детализированы для веществ, имеющих установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации [3].

После изучения расположения исследуемого участка дороги и находящейся под его влиянием городской застройки, были определены параметры расчетной сетки для проведения расчетов распределения концентраций (полей концентраций). Расчеты проводились для квадрата 1000×1000 метров. Шаг расчетной сетки выбран равным 50 метров.

Также были определены характерные точки размещения ближайших к проезжей части строений. Расчеты проводились с детализацией максимальных концентраций в точках, указанных в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные точки для детализации максимальных разовых концентраций

Код	Координаты в системе координат МСК-16 (зона 2), м		Высота расчета, м	Комментарий
	X	Y		
1	2284924,50	457798,00	2,00	Общежитие, Корабельная улица, 38
2	2285115,00	457611,00	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 30
3	2285452,50	457308,00	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 20

4	2285667,00	457138,50	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 14
5	2284944,50	457629,00	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 29
6	2285017,50	457562,00	2,00	Многоквартирный жилой дом, Корабельная улица, 27
7	2285357,00	457223,00	2,00	Общежитие, Корабельная улица, 13
8	2285579,50	457006,50	2,00	Общежитие, Корабельная улица, 7

Полученное в результате расчетов распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках указано в таблице 2. Для оценки степени негативного воздействия полученных абсолютных концентраций вредных веществ использовались установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации.

Таблица 2

Распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках

Код вещества	Наименование вещества	Распределение концентраций, доли ПДК	Распределение концентраций, мг/м ³
0010	Взвешенные частицы PM _{2,5}	0,0136 – 0,0264	0,0022 – 0,0042
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)	0,4460 – 0,8649	0,0892 – 0,1730
0304	Азот (II) оксид (Азот моно-оксид)	0,0363 – 0,0703	0,0145 – 0,0281
0330	Сера диоксид	0,0011 – 0,0023	0,0005 – 0,0012
0337	Углерода оксид (Углерод окись; углерод моно-окись; угарный газ)	0,0170 – 0,0361	0,0850 – 0,1806
0410	Метан	0,0000576 – 0,0001	0,0029 – 0,0063

0703	Бенз/а/пирен	-	0,000000020691 – 0,000000024037
1325	Формальдегид (Муравьиный альдегид, оксометан, метилен оксид)	0,0023 – 0,0052	0,0001 – 0,0003
2704	Бензин (нефтяной, мало-сернистый) (в пересчете на углерод)	0,0033 – 0,0080	0,0163 – 0,0402
2732	Керосин (керосин прямой перегонки; керосин дезодорированный)	0,0051 – 0,0105	0,0062 – 0,0126
6204	Группа неполной суммы с коэффициентом "1,6": Азота диоксид, серы диоксид	0,2794 – 0,5419	-

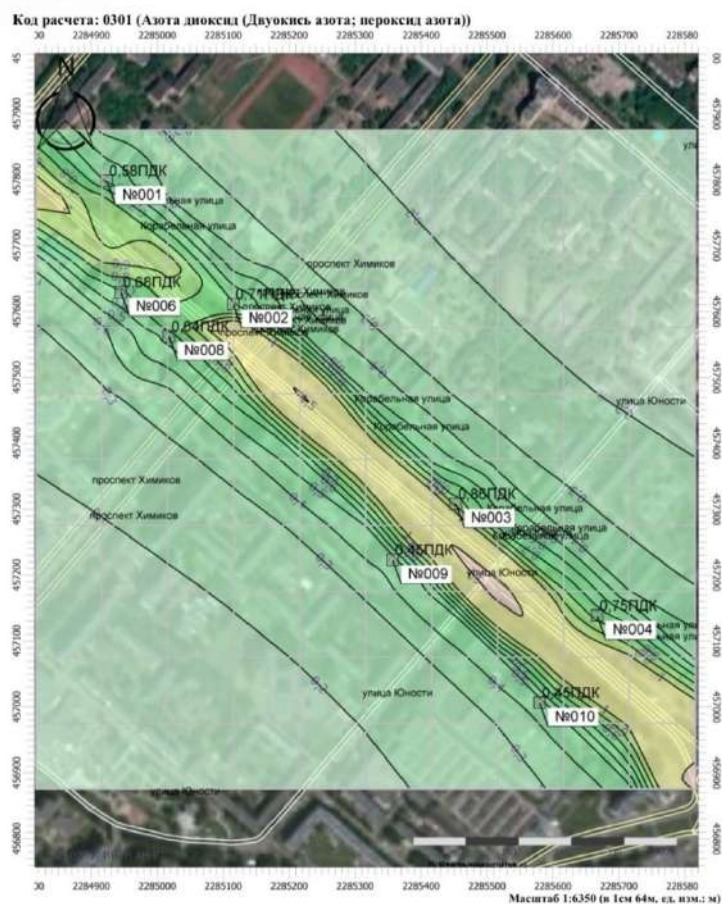


Рис. 1. Поля максимальных концентраций диоксида азота

Как можно видеть из представленной таблицы 2, значения приземных концентраций загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух с выбросами автомобильного транспорта, на прилегающих к автодороге территориях не превышают установленных значений максимальных разовых предельно допустимых концентраций [3]. При этом, наибольшее значение концентрации, выраженное в долях ПДК, получено для диоксида азота. Уровень загрязнения воздуха данным веществом в периоды наиболее интенсивного движения транспорта может достигать 86 % от установленного норматива.

Полученные поля приземных концентраций для диоксида азота представлены на рис. 1.

Список литературы

1. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха (утверждена приказом Минприроды России от 27.11.2019 года №804).
2. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 №273).
3. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28. 01.2021 №2).

Моделирование и исследование аэродинамики вихревой контактной ступени

Щербаков Г. А.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Халитов Р. А.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: одним из способов интенсификации процессов абсорбции паров и тумана кислот, оксидов азота, аммиака, триоксида серы, очистки газов от пыли, денитрации отработанных кислот, концентрирования отработанной серной кислоты является взаимодействие газовой и жидкой фаз в вихревом газожидкостном потоке. Моделирование и исследование аэродинамических характеристик вихревых контактных устройств показывает, что изменение конструкции вихревой ступени является эффективным способом интенсификации этих процессов.

Ключевые слова: вихревое контактное устройство, завихритель, гидравлическое сопротивление, моделирование, абсорбция, интенсификация

На кафедре «Оборудование химических заводов» КНИТУ разработаны различные типы вихревых контактных устройств для интенсификации процессов абсорбции паров и тумана кислот, оксидов азота, аммиака, триоксида серы, очистки газов от пыли, денитрации отработанных кислот, концентрирования отработанной серной кислоты. Разработаны и внедрены в производство промышленные вихревые аппараты, позволяющие обеспечить высокую эффективность протекающих в них процессов.

Интенсификация процессов, увеличение пропускной способности по газовой и жидкой фазам, возможны при использовании закрученного движения взаимодействующих фаз, который осуществляется в массообменных вихревых контактных устройствах (ВКУ). Их применение позволяет увеличить скорость потока фаз в колонне и обеспечить их надежную сепарацию. Это приводит к повышению производительности колонн при одном и том же диаметре. [1]

С учетом преимуществ и недостатков предыдущих конструкций была разработана новая конструкция вихревой контактной ступени, представленная на

рис. 1. Модель построена в среде КОМПАС-3D. Контактная ступень состоит из: царги – 1, колпака – 2, основного тангенциального завихрителя – 3 и тарелки – 4. Газ поступает снизу царги 1, проходит через пространство между лопатками завихрителя 3 и выходит через верх царги 1. Жидкость, в случае моделирования аэродинамики не предусмотрено, поступает сверху в центр колпака 2 и распределяется по внутреннему пространству, контактируя с завихренным потоком газа, в результате происходит процесс массообмена нисходящим потоком газа [2].

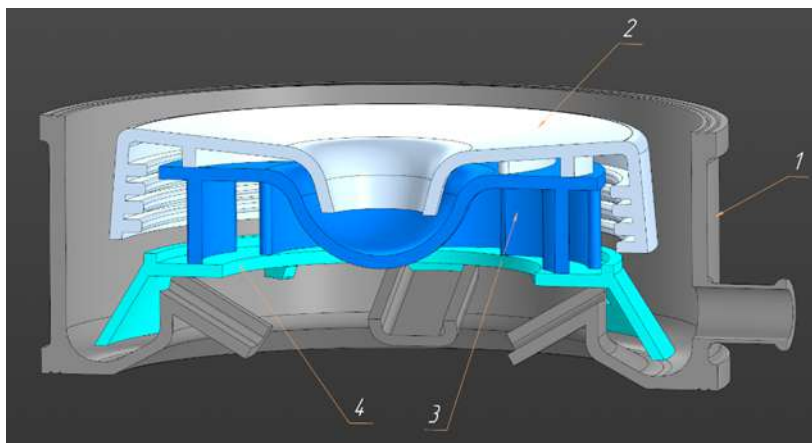


Рис. 1. Вихревая контактная ступень

Исследования проводились с использованием программного комплекса KompasFlow, предназначенного для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в технических или иных объектах, а также для визуализации этих течений методами компьютерной графики. Базовыми в программном комплексе KompasFlow являются уравнения Навье – Стокса, с помощью которых описывается движение жидкости и газа. Для замыкания этих уравнений в зависимости от конкретной задачи могут использоваться дополнительные соотношения, описывающие изменения плотности, турбулентного переноса и т. п. Поверхности расчетной области представляют собой совокупность плоских многоугольников – фасеток, на которых определены граничные условия. В постановке задачи использовались следующие граничные условия:

- стенка с логарифмическим законом изменения скорости в турбулентном пограничном слое;
- вход-выход с нормальной массовой скоростью;
- свободный выход с нулевым давлением на границе.

Первоначально в программном комплексе «Компас 3D» была создана твердотельная модель внутреннего пространства ВКУ, файл которой далее открывается через встроенное приложение KompasFlow. Геометрия расчетной области представляет собой объем, который определен уравнениями математической модели.

За основу моделируемой среды была взята вода в парообразном состоянии при стандартных условиях. Диапазон изменения объемного расхода пара представлен в таблице 1.

Таблица 1

Объемный расход пара на входном патрубке

Q, м ³ /ч	0,058	0,072	0,108	0,144	0,180
----------------------	-------	-------	-------	-------	-------

На рис. 2 и 3 представлены результаты моделирования движения газового потока в вихревой ступени в виде линий тока и векторов. Анализ моделирования аэродинамики вихревой ступени показывает, что газовый поток поступает внутрь завихрителя, проходит между тангенциальными лопатками завихрителя, закручивается в пространстве между завихрителем и обтекателем, при этом газовый поток закручивается между выступами обтекателя в нисходящем потоке и выходит из контактной ступени.

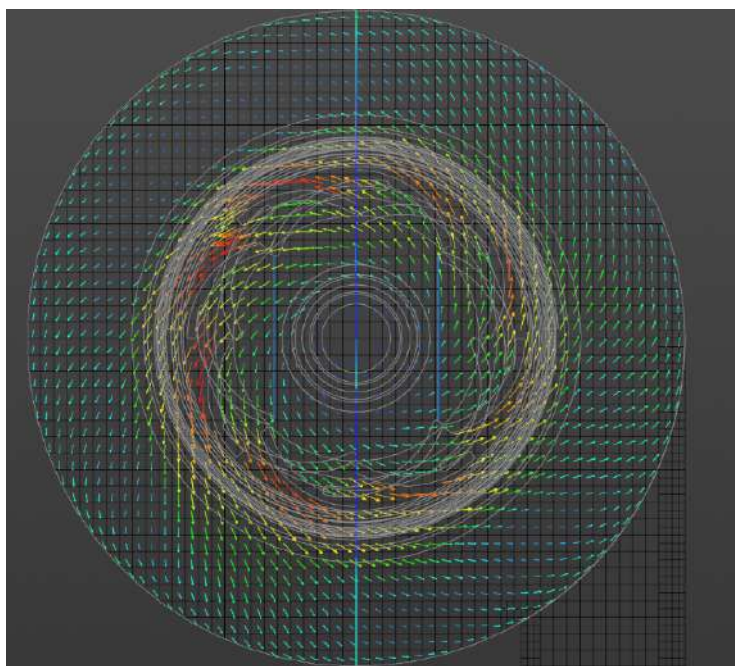


Рис. 2. Визуализация потока векторами

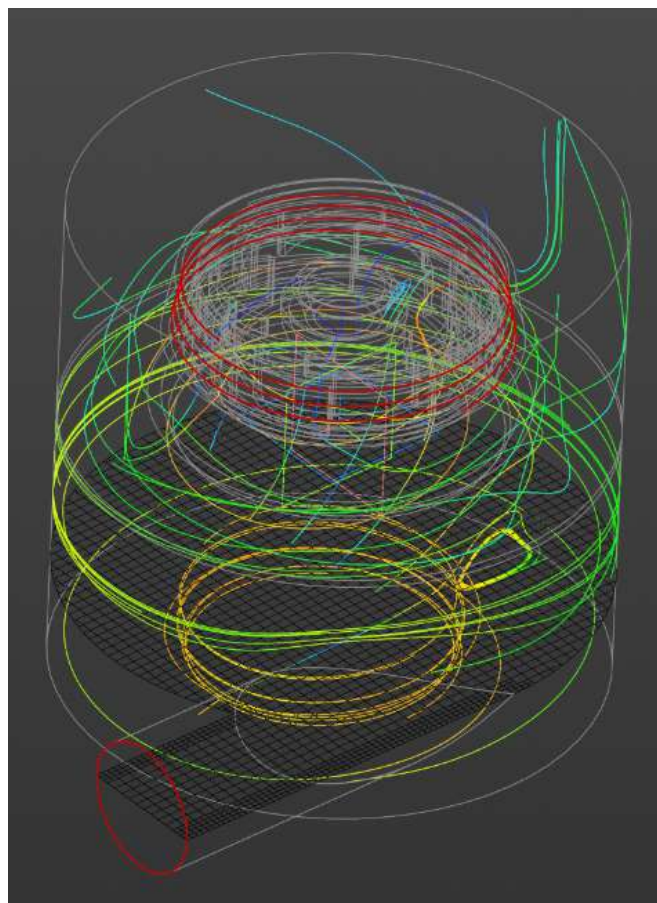


Рис. 3. Визуализация газового потока линиями тока

В ходе вычислений были получены значения гидравлических сопротивлений и скоростей движения газового потока в завихрителе, представленные в таблице 2. Давление измерялось на уровне входа потока в ступень и выхода со ступени в объеме модели, рис. 4. Скорость измерялась непосредственно на уровне основных тангенциально расположенных лопаток. Из полученных данных был построен график зависимости гидравлического сопротивления (ΔP) от скорости в щелях завихрителя ($W_{щ}$). График показан на рис. 5.

Получено уравнение зависимости гидравлического сопротивления вихревой ступени от скорости газа в щелях завихрителя:

$$\Delta P = -0,265W_{щ}^3 + 14,23W_{щ}^2 - 115,96W_{щ} + 210,88 \quad R^2 = 0,9932 \quad (1)$$

Гидравлическое сопротивление в вихревой ступени, в исследованном диапазоне нагрузок, возрастает незначительно с увеличением расхода газа. Это связано с тем, что газ движется в вихревой ступени в нисходящем вращающемся потоке под действием силы тяжести, а энергия газового потока

затрачивается лишь на раскрутку в вихревом нисходящем потоке в зазоре между лопатками завихрителя и бортиком обтекателя. При работе контактной ступени в системе газ-жидкость, расход подаваемой на ступень жидкости не окажет существенного влияния на гидравлическое сопротивление ступени, так как энергия газового потока будет затрачиваться только на раскрутку жидкости в нисходящем газожидкостном потоке.

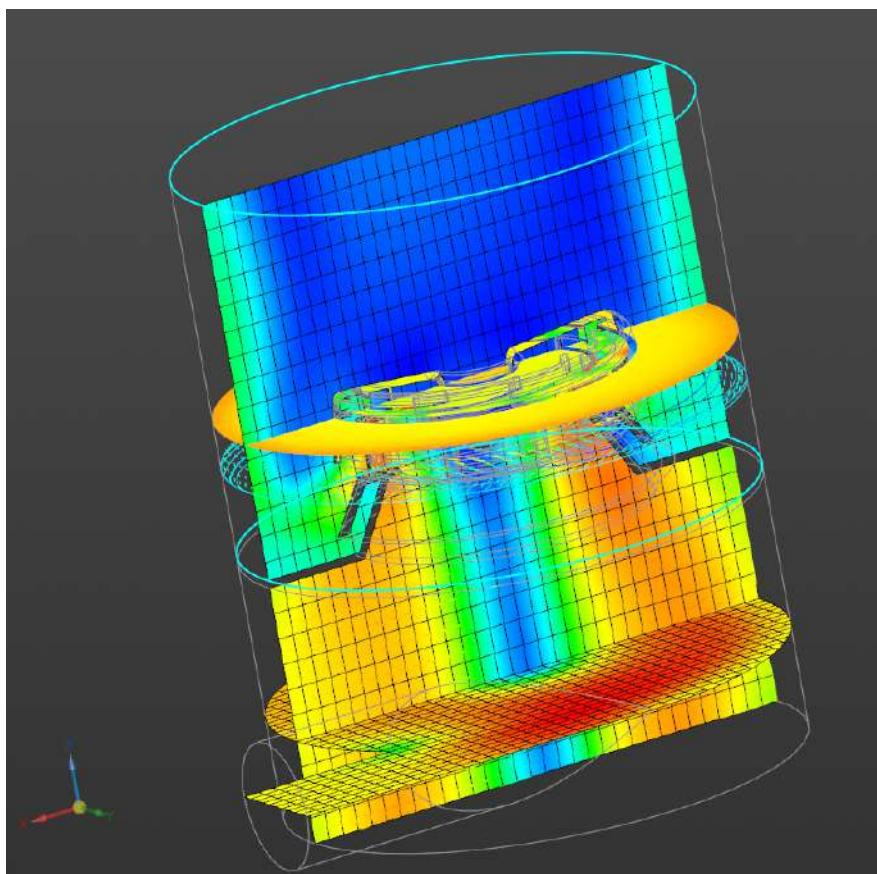


Рис. 4. Визуализация давления в пространстве модели

Таблица 2

Зависимость перепада давления от скорости газа в щелях завихрителя ВКУ

$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$W_{\text{щ}}, \text{ м/с}$	$\Delta P, \text{ Па}$
0,058	9,7	207
0,072	12	328
0,108	14	725
0,144	18,8	1278
0,180	23,5	1909

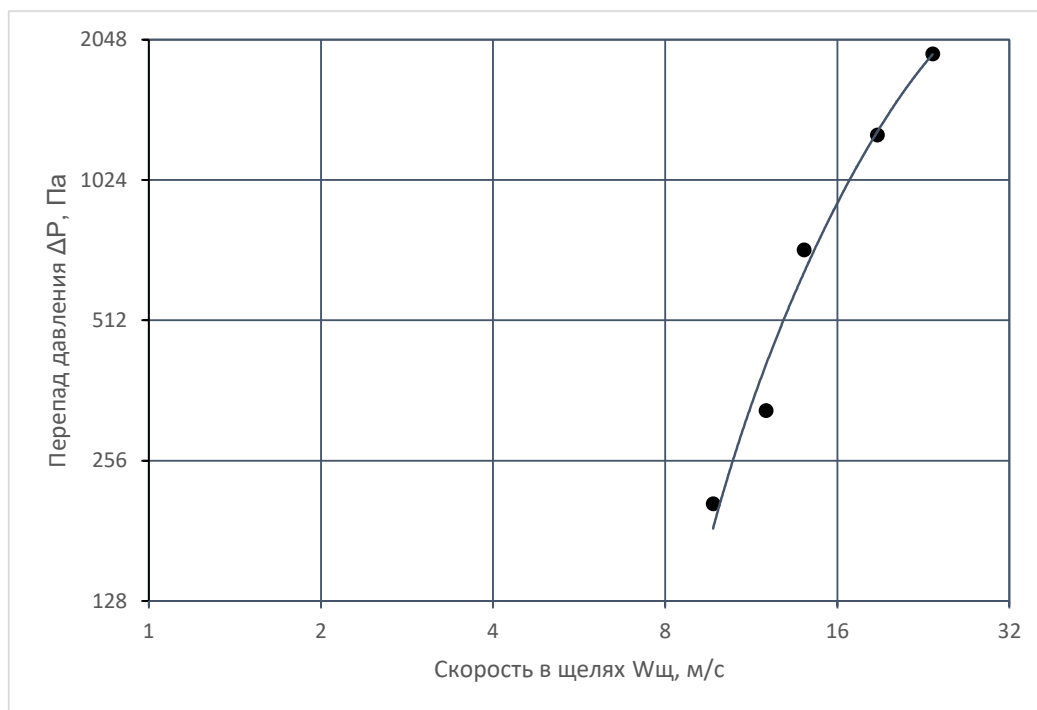


Рис. 5. Изменение гидравлического сопротивления контактного устройства от скорости газа в щелях завихрителя

Разработанная новая вихревая контактная ступень позволяет обеспечить эффективную работу в широком диапазоне изменения нагрузок по газовой фазе при невысоком гидравлическом сопротивлении, что делает ее применимой при разработке промышленных массообменных аппаратов.

Список литературы

1. Халитов Р.А. Исследование гидродинамических характеристик и массопередачи вихревого контактного устройства / Р.А. Халитов, В.И. Петров, А.Ф. Махоткин. – Казань: Казанский государственный технологический университет, 1993. – 79 с.
2. Колонна концентрирования и денитрации кислот // Патент RU 2777319 С1, 02.08.2022. Бюл. № 22. / Халитов Р.А., Махоткин А.Ф., Щербаков Г.А. [и др.]. – С. 1-3.

Расчет приземных концентраций выбросов автотранспорта в зонах, прилегающих к автомагистралям г. Нижнекамска (на примере проспекта Строителей) для оперативного управления качеством воздуха меди и никеля

Яваева З. И.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ

Шагидуллин А. Р.

Доктор технических наук

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ

Аннотация: обоснована необходимость расчётного мониторинга воздуха в зонах влияния автомагистралей. Выполнены расчёты приземных концентраций выбросов автотранспорта на проспекте Строителей в г. Нижнекамске. Рассчитано пространственное распределение максимальных разовых концентраций основных компонентов выбросов. Оценена степень превышения предельно допустимых концентраций. Наибольшие уровни загрязнения установлены вблизи перекрестков.

Ключевые слова: автотранспорт, выбросы в атмосферу, загрязняющие вещества, выхлопные газы, максимальная разовая концентрация

В крупных городах автотранспорт является основным источником загрязнения атмосферного воздуха, негативное воздействие которого увеличивается в процессе разрастания города, в связи с невозможностью соблюдения режима санитарных разрывов автодорог, обеспечивающих снижение концентраций вредных веществ в зонах жилой застройки. Уровень загрязнения атмосферного воздуха на участках улично-дорожной сети определяется, в основном, численностью перемещающихся автотранспортных единиц, их техническими параметрами и состоянием дорожного полотна. Часть выбросов автотранспорта оседает на дорожном покрытии, смешиваясь с продуктами износа шин и деталей автомобилей, накапливаясь вдоль дорог, с последующим переносом в сопредельные среды. Вклад передвижных источников в уровень загрязнения

приземного слоя атмосферного воздуха усугубляется наличием заторов на нагруженных автомагистралях в связи уменьшением пропускной способности автодороги, наличием нерегулируемых пересечений, несогласованностью работы светофоров и другими причинами [1-2].

Разработка методов расчета рассеяния вредного вещества в атмосферном воздухе от передвижных источников загрязнения является одной из сложно решаемых задач экологического мониторинга качества атмосферного воздуха, ввиду влияния значительного количества факторов на рассеивание компонентов выбросов.

В рамках настоящего исследования была поставлена задача определения уровня загрязнения воздуха выбросами автотранспорта, на примере нагруженной автомагистрали -проспект Строителей (от ул. Студенческая до ул. Тукая) в г. Нижнекамск. Для определения количества выбросов вредных веществ, поступающих на том или ином участке улично-дорожной сети с выхлопами автотранспорта, использовалась «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха» [5], разработанная для выполнения инвентаризации выбросов при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.

Согласно данной методике, определение выбросов основывается на данных наблюдений за интенсивностью движения автотранспорта (количеством проездов за установленный временной промежуток в 20 мин) с выделением 5 отдельных категорий: легковые автомобили, автофургоны и микроавтобусы массой до 3,5 тонн, грузовые автомобили от 3,5 до 12 тонн, грузовые автомобили свыше 12 тонн, автобусы более 3,5 тонн.

Для определения максимальных разовых концентраций вредных веществ наблюдения проводятся в периоды максимальной транспортной нагрузки. Следующим этапом, на основе полученных данных наблюдений, с учетом представленных в методике пробеговых выбросов (удельных значений выбросов загрязняющих веществ на единицу длины автодороги для каждой категории транспорта) и протяженности исследуемого участка пути, проводится расчет количества выбрасываемых загрязняющих веществ.

Методика позволяет рассчитывать выбросы для следующих вредных веществ (групп веществ): углерода оксид (CO), азота оксид (NO), азота диоксид

(NO₂), взвешенные мелкодисперсные частицы PM_{2,5}, бензин, керосин, серы диоксид (SO₂), формальдегид (CH₂O), бензапирен (C₂₀H₁₂, установлены только среднегодовые ПДК), метан (CH₄).

Дальнейшим этапом является проведение расчета рассеивания загрязняющих атмосферный воздух веществ, который позволяет, собственно, установить ожидаемые концентрации вредных веществ, формируемых на прилегающих к автодороге территориях выбросами автотранспорта.

Расчеты рассеивания проводились с использованием программного обеспечения УПРЗА «Эколог» (4.70). Программа реализует методику расчета рассеивания загрязняющих веществ [6].

Расчеты выполнялись с полным перебором метеорологических условий в пределах климатической характеристики г. Нижнекамск для определения максимальных разовых концентраций. Таким образом, дальнейшие результаты детализированы для веществ, имеющих установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации [7].

После изучения расположения исследуемого участка дороги и находящейся под его влиянием городской застройки, были определены параметры расчетной сетки для проведения расчетов распределения концентраций (полей концентраций). Расчеты проводились для квадрата со сторонами 1250 м. Шаг расчетной сетки выбран равным 50 м.

Также были определены характерные точки размещения ближайших к проезжей части строений. Расчеты проводились с детализацией максимальных концентраций в точках, указанных в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные точки для детализации максимальных разовых концентраций

Код	Координаты (м)		Высота (м)	Комментарий
	X	Y		
1	2286160,50	458418,00	2,00	Многоквартирный жилой дом, ул. Строителей, 26
2	2286575,50	457993,50	2,00	Жилой дом, ул. Строителей, 10
3	2286586,50	457556,00	2,00	Общежитие, ул. Строителей, 8а
4	2286473,50	457962,00	2,00	Жилой дом, ул. Строителей, 17
5	2286053,50	458349,50	2,00	Жилой дом, ул. Строителей, 33

Полученное в результате расчетов распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках указано в табл. 2. Для оценки степени негативного воздействия полученных абсолютных концентраций вредных веществ использовались установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации.

Таблица 2

Распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках

Код вещества	Наименование вещества	Распределение концентраций, доли ПДК	Распределение концентраций, мг/м ³
0010	Взвешенные частицы PM _{2,5}	0,02-0,03	0,002-0,005
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)	0,68-0,85	0,136-0,170
0304	Азот (II) оксид (Азот монооксид)	0,06-0,07	0,022-0,028
0330	Сера диоксид	Менее 0,001	Менее 0,001
0337	Углерода оксид (Углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	0,02-0,04	0,116-0,208
0410	Метан	Менее 0,0001	0,004-0,007
1325	Формальдегид (Муравьиный альдегид, оксометан, метиленоксид)	Менее 0,001	Менее 0,0001
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пересчете на углерод)	Менее 0,001	0,024-0,042
2732	Керосин (Керосин прямой перегонки; керосин дезодорированный)	Менее 0,001	0,006-0,0012
6204	Азота диоксид, серы диоксид	0,43-0,53	-

Как можно видеть из табл. 2, ожидаемые максимальные разовые концентрации для углерода оксида, азота оксида, мелкодисперсных частиц PM_{2,5}, бензина, керосина, серы диоксида, формальдегида и метана не превышают 0,1 ПДК, т.е. 10% от предельно безопасных значений.

Для группы 6204 из двух веществ (азота диоксид, серы диоксид) с суммацией вредного воздействия приведенные концентрации составляют значения до 0,53 ПДК.

Максимальные из полученных значения наблюдаются для диоксида азота. По данному веществу приземные концентрации в часы наиболее интенсивного движения транспорта и неблагоприятных для рассеивания метеорологических условий могут достигать 1 ПДК.

Полученные поля приземных концентраций для диоксида азота и суммы 6204 представлены на рис. 1, 2.

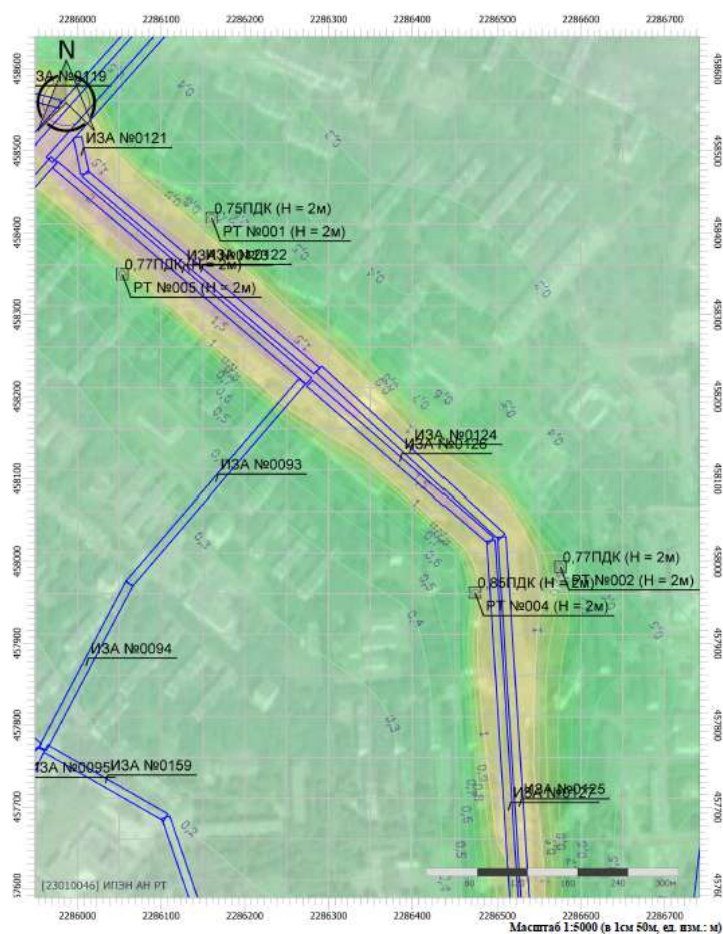


Рис. 1. Поля максимальных концентраций диоксида азота

Таким образом, в зависимости от интенсивности движения транспорта на участках улично-дорожной сети и сложившейся застройки на прилегающих к автодорогам территориях, при неблагоприятных условиях автотранспорт может формировать концентрации вредных веществ с превышением действующих ПДК. Следовательно, загрязнение городского воздуха выбросами

автотранспорта на наиболее напряженных участках должно подлежать систематическому контролю. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации дорожного движения, озеленения придорожной территории и планирования санитарно-защитных зон.

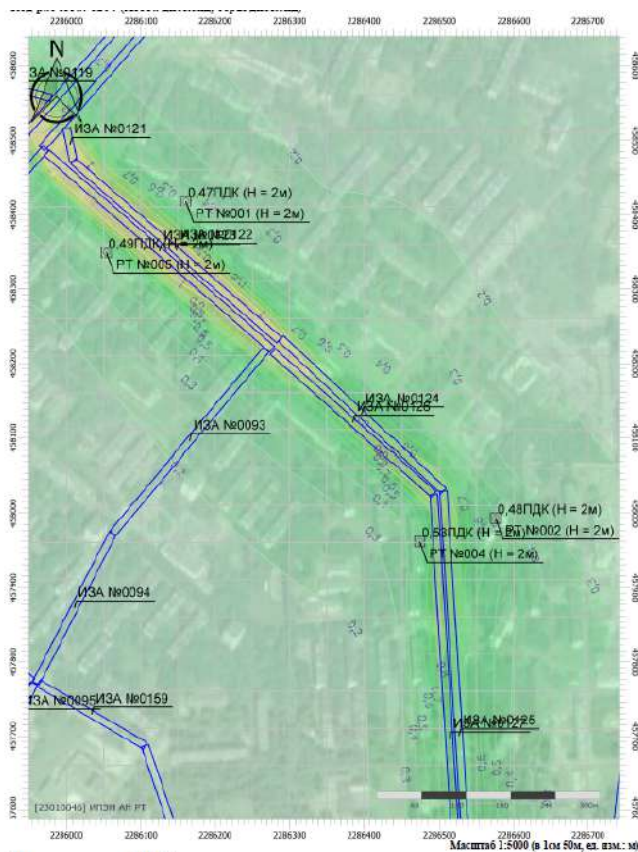


Рис. 2. Поля максимальных концентраций суммации 6204

Список литературы

1. Тунакова Ю.А. Области применения моделей для расчета распределения примесей в приземном слое атмосферного воздуха / Тунакова Ю.А., Григорьева И.Г., Шагидуллина Р.А. // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17, № 20. — С. 163–166.
2. Тунакова Ю.А. Разработка моделей прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха на основании значимых метеорологических параметров / Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С., Григорьева И.Г., Кузнецова О.Н. // Вестник Технологического университета. — 2016. — Т. 19, № 22. — С. 179–181.

3. Рахманин Ю.А. Качественная и количественная характеристика загрязнения окружающей среды продуктами эксплуатационного износа компонентов дорожно-автомобильного комплекса / Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. // Успехи современной науки. — 2016. — № 4. — С. 158–162.
4. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха : утверждена приказом Минприроды России от 27 ноября 2019 г. № 804.
5. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе : утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273.
6. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» : утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2.

Секция 3. УТИЛИЗАЦИЯ И РЕКУПЕРАЦИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ

УДК: 665.637.8:504.064:338.45

Оценка технологических параметров и экономической целесообразности методов очистки в процессе переработки отработанного моторного масла

Ахмадуллина А. А.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Савельев С. Н.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: проведен сравнительный анализ технологий регенерации отработанного моторного масла (ОММ): гравитационного отстаивания, кислотнo-щелочной и адсорбционной очистки, вакуумной дистилляции. Показано, что вакуумная дистилляция, несмотря на высокие капитальные затраты, наиболее экономически эффективна в долгосрочной перспективе благодаря высокому качеству базового масла и возможности глубокой переработки.

Ключевые слова: отработанное моторное масло, очистка, переработка, утилизация, адсорбция, сжигание

Отработанное моторное масло (ОММ) является одним из наиболее распространенных и опасных видов промышленных отходов [1]. Ежегодно в мире образуется более 20 млн тонн ОММ, из которых перерабатывается менее 50 %. В Российской Федерации объем сбора ОММ оценивается в 1,5–2 млн тонн в год, однако уровень легальной переработки остается низким.

История утилизации отработанного моторного масла (ОММ) неразрывно связана с развитием автомобилестроения и нефтедобывающей промышленности. Путь от полного игнорирования отходов до высоких технологий регенерации занял более столетия и прошел через несколько этапов, обусловленных экономическими кризисами, экологическими катастрофами и технологическим прогрессом.

Экологические последствия загрязнения ОММ.

Незаконный слив ОММ представляет острую экологическую проблему. ОММ – сложная многокомпонентная смесь, отличающаяся от свежего масла продуктами деградации и загрязнениями.

Основные токсичные компоненты представляют собой несколько групп химических веществ, каждая из которых оказывает специфическое патогенное воздействие на организм. К числу наиболее опасных относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), в частности бенз(а)пирен и хризен, обладающие выраженным канцерогенным и мутагенным потенциалом. Значительную опасность также несут тяжелые металлы – свинец, кадмий и цинк, которые проявляют нейротоксические свойства и способны вызывать структурные и функциональные поражения печени и почек. Продукты окисления, такие как карбоновые кислоты и смолы, нарушают целостность клеточных мембран, усугубляя общий токсический эффект. Кроме того, присутствующие в составе технические присадки, например диалкилдитиофосфаты цинка, могут провоцировать эндокринные нарушения, негативно влияя на гормональную регуляцию организма [2–3].

Сбор, хранение и дальнейшее использование имеет четкую регламентацию. ГОСТ 21046-2015 регламентирует требования к качеству отработанных нефтепродуктов.

Требования к сбору и хранению: ОММ должно собираться отдельно от других жидкостей в герметичную тару с маркировкой (код ФККО, класс опасности). Максимальный срок накопления на территории предприятия — не более 11 месяцев. Хранение допускается в помещениях категории В1–В3, запрещается хранение на незащищённом грунте. Транспортировка осуществляется специализированным транспортом (класс 9 по ДОПОГ) с оформлением паспорта отходов [3–4].

Методы очистки и переработки ОММ.

Методы обращения с ОММ классифицируются на методы очистки (восстановление свойств), переработки (получение новых продуктов) и утилизации.

Физические (механические) методы.

Отстаивание основывается на разделении под действием силы тяжести. Эффективность удаления воды 60–80 %. Преимуществом является простота, а недостатком низкая скорость.

Центрифугирование – основывается на разделении центробежными силами (3000–15000 об/мин). Эффективность удаления воды до 98 %. Применяется на промышленных установках.

Фильтрация – это удаление твердых частиц. Мембранные фильтры (<1 мкм) обеспечивают эффективность до 99,9 %.

Физико-химические методы.

Коагуляция и флокуляция включает в себя введение реагентов (сульфат алюминия, полиакриламид) для укрупнения частиц. Эффективность удаления коллоидов 70–90 %.

Адсорбционная очистка основывается на поглощении загрязнений адсорбентами (бентонит, силикагель, отбеливающие глины). Расход адсорбента 3–10 %. Выход товарного масла 70–90 %. Преимущество: глубокая очистка. Недостаток: образование отработанных адсорбентов.

Экстракция – это извлечение компонентов растворителями (пропан, фурфурол). Высокая селективность, но сложность оборудования.

Химические методы.

Кисотно-щелочная очистка: Обработка H_2SO_4 и нейтрализация NaOH . Выход масла 70–85 %. Недостатком является образование кислых гудронов (отходы I-II класса).

Гидроочистка – это обработка водородом при 300–420 °С. Получение масел групп II–III. Характеризуется высокими капитальными затратами.

Методы переработки (регенерации).

Вакуумная дистилляция включает в себя разделение по температурам кипения в вакууме (1–100 мм рт. ст.). Выход базового масла 75–90 %. Наиболее перспективный метод для глубокой переработки.

Термический крекинг и пиролиз включает в себя разложение при 400–900 °С. Получение топливных фракций, но низкое качество продуктов.

Методы утилизации.

Сжигание основывается на использовании в качестве топлива (теплотворность 38–42 МДж/кг). Требуется температуры ≥ 850 °С для разложения токсинов.

Производство битумов – использование как пластификатора (доля ОММ 5–15 %) [5–7].

Сравнительный анализ сжигания и адсорбционной очистки.

Выбор метода определяется экологической безопасностью, экономикой и технологической реализуемостью.

Экологические показатели.

Атмосферный воздух: сжигание дает высокие выбросы (ПАУ, диоксины, NO_x), требует многоступенчатой газоочистки. Адсорбция имеет минимальные выбросы (испарение легких фракций).

Отходы: сжигание образует золу (2 %, III–IV класс). Адсорбция – отработанный адсорбент (15–25 %, III класс), возможный к регенерации.

Риски: при сжигании риск аварийных выбросов высок. При адсорбции риски локальны (разливы).

Итог: экологически адсорбция более безопасный метод.

Экономические показатели.

Капитальные затраты: сжигание (печь, газоочистка) – 6,5–17,5 млн руб. Адсорбция (реактор, фильтры) – 3,0–8,0 млн руб.

Операционные затраты (на 1 т): Сжигание – 15500–31500 руб. (низкие энергозатраты). Адсорбция – 20000–41500 руб. (затраты на адсорбент и нагрев).

Доходность: Продукт сжигания (тепло) – 25000–35000 руб./т. Продукт адсорбции (масло) – 45000–65000 руб./т.

Окупаемость: сжигание – 1,5–3 года. Адсорбция – 0,8–2 года.

Итог: адсорбционная очистка экономически более целесообразна

Простота реализации.

Технология: сжигание требует высокотемпературного контроля и квалифицированного персонала. Адсорбция — низкотемпературный процесс, возможна автоматизация.

Документация: для сжигания обязательны лицензия, разрешение на выбросы, проект СЗЗ (100–500 м). Для адсорбции требования упрощены (СЗЗ 50–100 м).

Масштабируемость: адсорбция легче масштабируется модульным методом (минимальная мощность 100–500 т/год против 1 000–2 000 т/год для сжигания) [6–7].

Итог: технология адсорбции проще в реализации.

Заключение.

В ходе исследования рассмотрена цепочка обращения с ОММ от нормативного регулирования до технологических решений. Установлено, что ОММ – это ценный вторичный ресурс (до 89 % базового масла), а не просто отход.

Области рационального применения: сжигание целесообразно, когда: ОММ сильно загрязнено (вода >10 %), есть собственная потребность в тепле, отсутствует инфраструктура сбыта масла. Адсорбционная очистка целесообразна, когда цель – получение товарного продукта, регион с жесткими эко-требованиями, возможен сбыт регенерированного масла.

Итоговый вывод по сравнению: адсорбционная очистка предпочтительнее с экологической точки зрения, экономике (маржинальность) и простоте внедрения. Однако оптимальным решением является комбинированная схема: адсорбционная регенерация как основной процесс, а сжигание – для утилизации вторичных отходов (отработанный адсорбент, тяжелые остатки) с рекуперацией тепла.

Реализация потенциала переработки ОММ требует согласованных усилий предприятий, регуляторов и научного сообщества. Каждый литр масла, направленный на легальную регенерацию, – вклад в сохранение природных ресурсов и экологическую безопасность.

Список литературы

1. Савельев С.Н. Регенерация отработанных масел / С.Н. Савельев, А.В. Савельева, И.Р. Шакирова // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире», г. Казань. – 2021. – С. 987–991. – Текст непосредственный.
2. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ: [принят Государственной думой 20 декабря 2001 года: одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года]. – Москва : Эксмо, 2002. – 113 с. – (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2024 г.). – ISBN 5-8212-0427-5. – Текст: непосредственный.
3. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ: [принят Государственной думой 22 мая

- 1998 года: одобрен Советом Федерации 10 июня 1998 года]. – Москва : Эксмо, 1998. – 104 с. – ISBN 978-5-303080-39-3. – Текст: непосредственный.
4. Российская Федерация. Нормативно-правовые акты. Об утверждении перечня товаров, подлежащих утилизации после утраты ими потребительских свойств и перечня упаковки товаров, подлежащей утилизации после утраты ею потребительских свойств: Проект постановления Правительства РФ от 29.12.2023 №2414. – Москва : Эксмо, 2020. – 48 с. – Текст: непосредственный.
 5. Приказ Минприроды РФ от 11.06.2021 № 399. Об утверждении требований при обращении с группами однородных отходов I–V классов опасности: [зарегистрировано в Минюсте России 30.11.2021 № 66097]. – Москва : Эксмо, 2021. – 14 с. – Текст: непосредственный.
 6. ГОСТ 21046-2015. Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия: межгосударственный стандарт: издание официальное: введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 ноября 2015 г. N 2040-ст) (документ утратил силу): дата введения 01.01.2017. – Москва : Стандартиформ, 2019. – Текст: непосредственный.
 7. ГОСТР 56828.42—2018. Утилизация отработанных масел. Показатели для идентификации: национальный стандарт РФ: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 июня 2018 г. № 306-ст: дата введения 01.01.2019. – Москва : Стандартиформ, 2018. – Текст: непосредственный.

Влияние зоокомпоста культивирования личинок мухи *Hermetia illucens* на буферную емкость почвы

Бомба И. В.

Старший преподаватель

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Свергузова С. В.

Профессор

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Сапронова Ж. А.

Заведующий кафедрой «Промышленная экология»

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: в работе исследовано влияние различных доз зоокомпоста (10, 15 и 20 г/дм³) на буферную емкость чернозема по отношению к кислоте. Буферная емкость, определяемая способностью почвы противостоять изменению pH, выступает интегральным показателем устойчивости почвенной системы к антропогенной нагрузке. Установлено, что внесение зоокомпоста закономерно повышает буферную емкость почвы. Наибольший эффект зафиксирован при дозе 15 г/дм³, где показатель увеличился на 27,3 % (с 17,4 до 22,1 мг-экв/100 г почвы). Дальнейшее повышение дозы до 20 г/дм³ сопровождалось менее значительным приростом, что указывает на оптимальность средней дозировки. Механизм усиления буферности обусловлен обогащением почвы органическим веществом, функциональные группы которого (карбоксильные, фенольные) обратимо связывают ионы водорода, а также увеличением емкости катионного обмена. Полученные результаты подтверждают перспективность использования зоокомпоста *Hermetia illucens* для повышения устойчивости черноземов к закислению и восстановления деградированных земель.

Ключевые слова: зоокомпост; *Hermetia illucens*; буферная емкость почвы; кислотность почвы; органическое вещество; деградация почв

Интенсивное сельскохозяйственное использование земель, в частности в таких аграрно-ориентированных регионах, как Белгородская область, привело к критической деградации почвенного покрова. Многолетняя эксплуатация черноземов без должного восполнения органического вещества обернулась существенными потерями гумуса — по некоторым данным, его содержание сократилось на 30–40 % [1]. Одним из наиболее тревожных последствий таких изменений является прогрессирующее подкисление почв: более 65 % пахотных угодий региона имеют кислотность ниже pH 5,5, что напрямую лимитирует урожайность культур и снижает устойчивость растений к фитопатогенам [2]. Традиционные методы мелиорации, такие как известкование или минеральные подкормки, часто оказываются либо недостаточно эффективными в долгосрочной перспективе, либо экологически рискованными из-за высокой стоимости, опасности вторичного засоления и увеличения углеродного следа аграрного производства [3].

В связи с этим особую актуальность приобретает поиск агрономически эффективных и экологически безопасных средств восстановления почвенного плодородия. Перспективным направлением является использование зоокомпоста, получаемого в результате культивирования личинок мухи *Hermetia illucens* на органических субстратах. Данная технология не только предлагает решение утилизации отходов агропромышленного комплекса в рамках циркулярной экономики, но и позволяет получать ценное органическое удобрение [4]. Зоокомпост характеризуется высоким содержанием доступных форм питательных элементов, гуминовых веществ, а также включает карбонаты кальция, образующиеся в процессе минерализации экзоскелетов личинок [5]. Благодаря такому составу он способен не только обогащать почву элементами питания, но и активно влиять на ее физико-химические свойства, нейтрализуя избыточную кислотность.

Ключевой характеристикой, определяющей способность почвы противостоять закислению, является буферная емкость. Под этим термином понимают способность почвы поддерживать относительно постоянный уровень pH при внешних воздействиях (внесении удобрений, кислотных дождей, дыхании корней и микроорганизмов) [6]. Определение буферной емкости необходимо для прогнозирования долгосрочного эффекта от применения мелиорантов и удобрений: почва с высокой буферностью дольше сохраняет оптимальную для

растений реакцию среды, тогда как низкая буферность требует более частых и тщательно дозированных вмешательств. Изучение влияния зоокомпоста на этот показатель является важной научной задачей, поскольку позволяет оценить способность удобрения формировать устойчивую к антропогенной нагрузке почвенную систему. Ранее проведенные исследования, подтверждают экономическую выгоду и агрономическую эффективность зоокомпоста [7, 8], поэтому комплексное исследование его воздействия на буферные свойства почв Белгородской области представляется крайне актуальным для разработки стратегий восстановления деградированных земель и перехода к принципам устойчивого земледелия.

Метод определения буферной емкости почвы основан на контроле изменения pH водной вытяжки в зависимости от количества добавляемой кислоты или щелочи [9]. В работе использовали 0,1 н раствор HCl, величину буферной ёмкости почвенной суспензии по кислоте вычисляли по формуле 1.

Буферная емкость почвы позволит количественно оценить защитный эффект зоокомпоста против закисления, выявить оптимальную дозу для достижения этого эффекта, подтвердить ведущую роль органического вещества в механизме буферизации и оценить положительное влияние ЗК на устойчивость и плодородие почвы.

Величину буферной ёмкости почвенной суспензии по кислоте вычисляли по формуле:

$$B = \frac{N \times V \times 100}{C}, \quad (1)$$

где В – буферная ёмкость по кислоте, мг-экв/100 г почвы, N – нормальность кислоты (0,1), V – количество кислоты, пошедшее на изменение pH на единицу, мл, C – масса навески, г, 100 – коэффициент пересчёта на 100 г почвы.

$$B(\text{контроль}) = \frac{0,1 \times 17,41 \times 100}{10} = 17,41 \text{ мэкв/100 г почвы}$$

$$B(\text{добавка ЗК } 10 \text{ г/дм}^3) = \frac{0,1 \times 19,56 \times 100}{10} = 19,56 \text{ мэкв/100 г почвы}$$

$$B(\text{добавка ЗК } 15 \text{ г/дм}^3) = \frac{0,1 \times 22,17 \times 100}{10} = 22,17 \text{ мэкв/100 г почвы}$$

$$B(\text{добавка ЗК } 20 \text{ г/дм}^3) = \frac{0,1 \times 23,48 \times 100}{10} = 23,48 \text{ мэкв/100 г почвы}$$

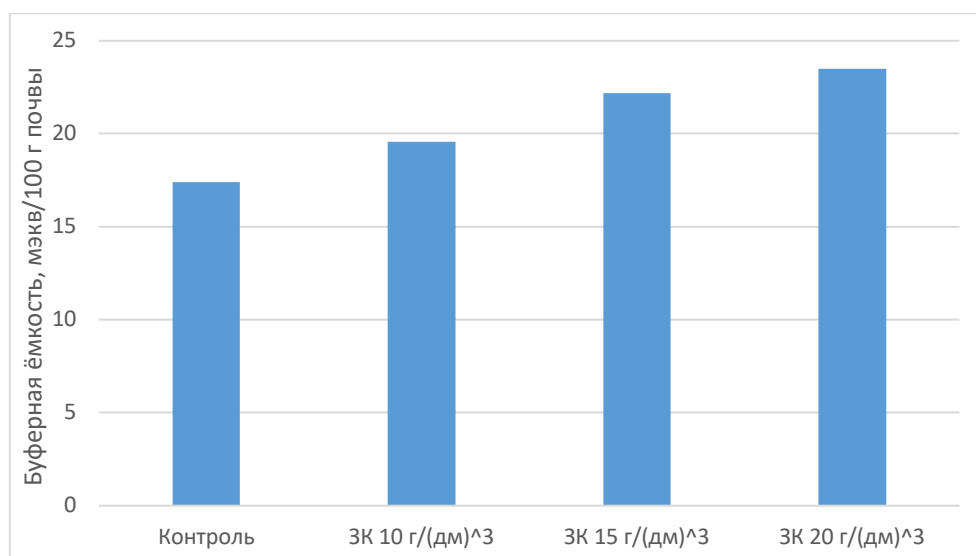


Рис. 1. Зависимость величины буферной ёмкости почвенной суспензии по кислоте

Определение буферной емкости чернозема после внесения зоокомпоста (ЗК) подтвердило его значительное положительное влияние на способность почвы противостоять закислению (рис. 1). Исходная буферная емкость контрольного образца без добавок составила 17,41 мг-экв/100 г почвы. Внесение зоокомпоста в дозах 10, 15 и 20 г/дм³ привело к последовательному росту этого показателя: до 19,6, 22,2 и 23,5 мг-экв/100 г почвы соответственно. Наибольший абсолютный и относительный прирост буферной емкости (+4,8 мг-экв/100 г или +27,3%) был достигнут при внесении 15 г ЗК/дм³, что указывает на эту дозу как наиболее эффективную. Дальнейшее увеличение дозы до 20 г/дм³ дало меньший прирост (+1,3 мг- экв/100 г), свидетельствуя о возможном насыщении системы или действии лимитирующих факторов.

Ключевой механизм повышения буферной емкости напрямую связан с увеличением содержания органического вещества (ОВ), вносимого с зоокомпостом [10]. ОВ, особенно гуминовые кислоты, содержит большое количество функциональных групп (карбоксильные -COOH, фенольные -OH), которые выступают природными буферными агентами. Эти группы обратимо связывают ионы водорода (H⁺) при подкислении (протонируются) и отдают H⁺ при подщелачивании (депротонируются), нейтрализуя изменения pH [11]. Одновременно органическое вещество зоокомпоста увеличивает емкость катионного обмена (ЕКО) почвы. Отрицательно заряженные участки молекул гумуса связывают основные катионы (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺). При добавлении кислоты ионы H⁺ вытесняют

эти катионы с обменных позиций, что замедляет снижение pH. Чем выше ЕКО, тем больше кислоты требуется для протонирования доступных обменных мест.

Важную опосредованную роль играет способность органического вещества зоокомпоста улучшать почвенную структуру. Органическое вещество способствует образованию водопрочных агрегатов за счет действия гуминовых веществ как "природного клея" и стимуляции деятельности почвообразующих организмов (дождевых червей, грибов). Почва с хорошей структурой имеет большую пористость, удельную поверхность и улучшенные условия для микрофлоры. Увеличение реакционной поверхности агрегатов означает больше доступных для ионного обмена и буферных реакций участков гумуса и глинистых минералов. Улучшение аэрации и влагоудержания создает оптимальные условия для почвенных микроорганизмов. Кроме того, водопрочные агрегаты физически защищают органическое вещество внутри себя от быстрой минерализации, способствуя накоплению долговременного буферного потенциала. Таким образом, почва, обогащенная зоокомпостом, способна эффективно нейтрализовать кислотность, приносимую атмосферными осадками, поддерживая значения pH в диапазоне.

Список литературы

1. Кирейчева Л. В. Оценка степени деградации почв и восстановление их энергетической функции / Л.В. Кирейчева // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири: Монография. В 5 томах / Под редакцией В.Г. Сычева, Л. Мюллера. Том II. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. – С. 160-164.
2. Кабачкова Н.В. Влияние кислотности почвы на питание растений / Н.В. Кабачкова, Ю.В. Сидорова // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2022. – № 43(48). – С. 15-21. – EDN SHISZD.
3. Кулаковская Т.Н. Влияние известкования и минеральных удобрений на вымывание элементов питания из почвы / Т.Н. Кулаковская, В.Ю. Агеец // Химия в сельском хозяйстве. – 1978. – № 9. – С. 53-55.
4. Пендюрин Е.А., Сапронова Ж.А., Токач Ю.Е. Зоокомпост личинок мухи Черная львинка как влагоудерживающий агент в почвах // Природообустройство. – 2023. – № 3. – С. 59–65.

5. Сапронова Ж.А. Зоокомпост личинок мухи *Hermetia illucens* как перспективный материал для поддержания плодородия в почвах / Ж.А. Сапронова, И.В. Бомба // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья. – Белгород: БГТУ, 2021. – С. 332–335.
6. Виноградова С.С. Буферная емкость почв как их способность к подщелачиванию / С.С. Виноградова // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2013. – № 1. – С. 102-109. – EDN PUPJTL.
7. Пендюрин Е.А. Использование зоокомпоста личинок мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) при выращивании томата сорта Сливка медовая / Пендюрин Е.А., Смоленская Л.М., Василенко М.И. // Аграрная наука. – 2021. – № 1. – С. 147–150.
8. Пат. 2775276 Рос. Федерация. Органоминеральное удобрение на основе зоокомпоста личинки мухи Черной львинки. – № 2021134157; заявл. 23.11.2021; опубл. 29.06.2022.
9. Пендюрин Е.А. Почвоведение: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 120300 - Землеустройство и кадастры и специальности 120303 - Городской кадастр / Е. А. Пендюрин, М.М. Латыпова; Е.А. Пендюрин, М.М. Латыпова; Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. – 157 с. – ISBN 978-5-361-00096-8. – EDN QLAQZB.
10. Свергузова С.В., Бомба И.В., Сапронова Ж.А. Сравнение сорбционных свойств зоокомпоста по отношению к ионам Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} // XXI век. Техносферная безопасность. – 2024. – Т. 9, № 2(34). – С. 152–160.
11. Свергузова С.В. Сорбционная активность зоокомпоста по отношению к ионам меди $Cu(II)$ / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, Ж.А. Сапронова, И.В. Бомба, С.Е. Спесивцева // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2023. – Т. 23, № 6. – С. 1051–1059.

Количественное определение кислородсодержащих функциональных групп в зоокомпосте культивирования личинок мухи «Черная львинка»

Бомба И. В.

Старший преподаватель

Белгородский государственный технологический университет им.В.Г. Шухова,
г. Белгород

Свергузова С. В.

Профессор

Белгородский государственный технологический университет им.В.Г. Шухова,
г. Белгород

Дмитриева Ю. А.

Белгородский государственный технологический университет им.В.Г. Шухова,
г. Белгород

Лукашин Е. А.

Белгородский государственный технологический университет им.В.Г. Шухова,
г. Белгород

Бударный Н. П.

Белгородский государственный технологический университет им.В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: в работе представлены результаты количественного определения кислородсодержащих функциональных групп в составе зоокомпоста – отхода промышленного культивирования личинок мухи «Черная львинка». Определение функциональных групп (карбоксильных, лактонных и гидроксильных) проводили титриметрическим методом Боэма, основанным на различной кислотности групп и их селективной нейтрализации растворами NaHCO_3 , Na_2CO_3 и NaOH . Установлено, что среднее содержание карбоксильных групп составляет 3,21 мг-экв/г, лактонных – 1,56 мг-экв/г, гидроксильных (фенольных) – 4,12 мг-экв/г. Показано, что высокая концентрация этих групп обеспечивает зоокомпосту полифункциональность: способность к хемосорбции катионов металлов (за счет образования хелатных комплексов и ионного обмена), участие в регулировании pH среды, структурообразовании почвы и удержании питательных элементов.

Ключевые слова: зоокомпост; функциональные группы, карбоксильные, гидроксильные, лактонные; гуминовые вещества

Современные тенденции в области обращения с отходами и восстановления окружающей среды диктуют необходимость поиска эффективных, экономически доступных и экологически безопасных материалов [1]. Одним из перспективных направлений является использование продуктов переработки органических отходов, в частности, зоокомпоста – субстрата, получаемого в результате жизнедеятельности личинок мухи «Черная львинка». Данный материал характеризуется высоким содержанием органического вещества, близкого по своей природе к гуминовым веществам почвы, что определяет его высокий потенциал в качестве сорбента и мелиоранта [2].

Ключевым фактором, определяющим реакционную способность органического вещества зоокомпоста, является наличие в его структуре различных кислородсодержащих функциональных групп. Эти группы выступают активными центрами, отвечающими за широкий спектр физико-химических взаимодействий: ионный обмен, комплексообразование, кислотно-основные реакции [3]. В связи с этим, идентификация и количественная оценка состава функциональных групп является важной задачей, позволяющей прогнозировать поведение зоокомпоста в различных средах и обосновывать направления его практического использования. В составе органического вещества зоокомпоста, как и в гуминовых кислотах, доминирующую роль играют кислородсодержащие группы [4]: карбоксильные ($-\text{COOH}$), гидроксильные (фенольные и спиртовые $-\text{OH}$), а также лактонные группы, которые можно рассматривать как внутренние эфиры.

Изучение функционального состава зоокомпоста необходимо для решения ряда научных и прикладных задач. В первую очередь, эти группы являются центрами сорбции и хемосорбции по отношению к загрязнителям, особенно к ионам тяжелых металлов. Карбоксильные группы способны к диссоциации с образованием отрицательно заряженных центров ($-\text{COO}^-$), обеспечивая ионный обмен и электростатическое притяжение катионов. Гидроксильные группы, наряду с карбоксильными, участвуют в образовании прочных хелатных комплексов с металлами. Количественное соотношение этих групп позволяет оценить потенциальную емкость катионного обмена материала и прочность связи [4, 5]

Актуальность работы обусловлена возрастающим антропогенным воздействием на окружающую среду, в частности, загрязнением почв и водных объектов различными поллютантами. Поиск недорогих и возобновляемых сорбентов для их иммобилизации является приоритетной задачей экологической химии и биотехнологии. Зоокомпост, являясь продуктом переработки органических отходов, представляет собой не только ценное удобрение, но и перспективный материал для создания сорбционных барьеров.

Для количественной оценки кислотных центров поверхности исследуемого образца зоокомпоста использовали титриметрический метод Боэма. Данный метод широко применяется для определения кислородсодержащих функциональных групп кислотного характера в различных углеродных материалах: от окисленных активированных углей до функционализированных нанотрубок и гуминовых кислот [6]. Суть метода Боэма заключается в различной кислотности функциональных групп: нейтрализация сильным основанием (NaOH) позволяет определить общее содержание всех кислых групп (карбоксильных, лактонных и фенольных гидроксильных), в то время как более слабые основания (Na_2CO_3 и NaHCO_3) взаимодействуют селективно только с группами, обладающими большей кислотной силой. Органическое вещество зоокомпоста по своей химической природе близко к гуминовым веществам и содержит аналогичные реакционноспособные центры [7].

Согласно данной методике, определение количества функциональных групп проводили следующим образом: три навески исследуемого материала массой от 0,0025 до 0,25 г (в зависимости от ожидаемой сорбционной емкости), взятые с точностью до 0,0002 г, помещали в три конические колбы объемом 50 мл. Затем в колбы приливали по 25 мл 0,01 М растворов:

NaHCO_3 – для определения содержания свободных карбоксильных групп ($-\text{COOH}$);

Na_2CO_3 – для определения суммарного содержания карбоксильных и лактонных групп;

NaOH – для определения суммы всех функциональных групп (гидроксильных, карбоксильных и лактонных).

Колбы с содержимым энергично встряхивали в течение 30 минут для достижения равновесия реакции, после чего суспензию фильтровали через плотный бумажный фильтр для отделения твердой фазы.

Из полученного фильтрата (водной вытяжки) отбирали три аликвоты по 5 мл, переносили их в конические колбы для титрования и оттитровывали избыток непрореагировавшего щелочного реагента 0,01 М раствором HCl. Объем соляной кислоты, пошедшей на титрование анализируемой пробы (b), фиксировали как среднее из трех параллельных определений.

Параллельно проводили контрольное титрование (холостой опыт). Для этого отбирали три пробы по 5 мл исходных 0,01 М растворов (NaHCO₃, Na₂CO₃, NaOH) и титровали их 0,01 М раствором HCl. Определяли количество кислоты (a), пошедшей на титрование контрольной пробы.

Содержание функциональных групп, взаимодействующих с каждым из реагентов (N₁, N₂, N₃), рассчитывали в миллиграмм-эквивалентах на грамм абсолютно сухого вещества (мг-экв/г) по формуле 1:

$$N_i = \frac{(a-b) \times 0,01 \times K \times 25}{C \times 5} \quad \left(\text{мг} - \frac{\text{ЭКВ}}{\text{г}} \right), \quad (1)$$

где: a – объем 0,01 М раствора HCl, пошедший на титрование контрольной пробы, мл; b – объем 0,01 М раствора HCl, пошедший на титрование анализируемой пробы (фильтрата), мл; 25 – объем 0,01 М раствора щелочного реагента, взятого для обработки навески, мл; 5 – объем фильтрата (аликвота), взятый для титрования, мл; K – поправочный коэффициент к титру 0,01 М раствора HCl; C – масса навески образца, г.

На основе полученных данных вычисляли содержание отдельных групп [8]: Карбоксильные группы (–COOH) принимали равными N₁ (по результатам титрования с NaHCO₃). Лактонные группы определяли по разности: N₂–N₁. Гидроксильные группы (–OH) определяли по разности: N₃–N₂. Удельное содержание кислородсодержащих функциональных групп в зоокомпосте представлено в таблице 1.

Среднее содержание карбоксильных групп (–COOH) составляет 3,21 мг-экв/г. Эти группы играют ключевую роль в связывании катионов металлов. В водной среде при pH > 4-5 они диссоциируют с образованием отрицательно заряженных карбоксилат-ионов (–COO[–]), которые выступают основными центрами для ионного обмена и электростатического притяжения. Более того, они способны образовывать прочные координационные, в том числе хелатные,

связи с ионами переходных металлов, что обеспечивает высокую эффективность и прочность их фиксации.

Таблица 1

Удельное содержание функциональных групп в зоокомпосте

Масса навески ЗК, г	Карбоксильные группы, мг-экв/г	Лактонные группы, мг-экв/г	Гидроксильные группы, мг-экв/г
0,05	3,21	1,55	4,12
0,10	3,19	1,58	4,08
0,15	3,25	1,54	4,15
0,20	3,20	1,56	4,11

Содержание гидроксильных групп (-ОН), преимущественно фенольных, составляет 4,12 мг-экв/г. Эти группы также участвуют в сорбции: они могут диссоциировать при более высоких значениях pH, внося вклад в ионный обмен, но их главная роль заключается в участии в комплексообразовании, часто действуя синергически с соседними карбоксильными группами для формирования стабильных пяти- или шестичленных хелатных циклов с ионом металла.

Лактонные группы (1,56 мг-экв/г) представляют собой "скрытый" или потенциальный сорбционный резерв. Будучи циклическими эфирами, они могут гидролизироваться в щелочной среде, высвобождая дополнительные карбоксильные и гидроксильные группы и тем самым увеличивая сорбционную емкость материала со временем.

Результаты согласуются с литературными данными [9, 10], подтверждая, что гуминовые кислоты в зоокомпосте обладают полифункциональной структурой, способной к комплексообразованию с металлами. Это делает материал перспективным для применения в ремедиации загрязненных почв и очистке сточных вод, где ключевым фактором является баланс между концентрацией функциональных групп и их доступностью для взаимодействия.

Список литературы

1. Степаненко В.С. Тенденции, цели и средства реализации экологической политики в области обращения с отходами в ЕС и России / В.С. Степаненко //

- Национальная безопасность / Nota Bene. – 2010. – № 4(9). – С. 71-83. – EDN PWPKGL.
2. Пендюрин Е.А., Святченко А.В., Кирюшина Н.Ю. Применение зоокомпоста личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) при выращивании огурцов // Вестник ОрелГАУ. 2022. №3 (96).
 3. Халлыева Г. Современные методы анализа функциональных групп в органической химии / Г. Халлыева, Г. Шыхыева, Э. Ходжамбердыева // Ceteris Paribus. – 2025. – № 4. – С. 28-30. – EDN KSOBSW.
 4. Свергузова С.В. Сорбционная активность зоокомпоста по отношению к ионам меди Cu(II) / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, Ж.А. Сапронова, И.В. Бомба, С.Е. Спесивцева // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2023. – Т. 23, № 6. – С. 1051–1059.
 5. Свергузова С.В., Бомба И.В., Сапронова Ж.А. Сравнение сорбционных свойств зоокомпоста по отношению к ионам Cd^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} // XXI век. Техно-носферная безопасность. – 2024. – Т. 9, № 2(34). – С. 152–160.
 6. Савченко И.А. Возможность использования метода боэма для стандартизации гуминовых веществ сапропеля / И.А. Савченко, И.Н. Корнеева, Е.А. Лукша // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 3. – С. 631. – EDN TYSPUX.
 7. Красникова Е.М. Адсорбционно-структурные характеристики сорбентов, полученных из отходов агропромышленного комплекса / Е. М. Красникова, Н. В. Моисеенко // Заметки ученого. – 2021. – № 6-1. – С. 330-337. – EDN YFMSJD.
 8. Новый подход к решению проблемы стандартизации гуминовых кислот / И.А. Савченко, И.Н. Корнеева, Г.В. Плаксин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 360. – EDN RPOODB.
 9. Sverguzova S.V. Extraction of Zn^{2+} Ions from Aqueous Environment with Zoo Compost of Black Soldier Fly / S.V. Sverguzova, I.V. Bomba, E.A. Pendyurin // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 147. – P. 337 – 43.
 10. Свергузова С.В. Ремедиация почв, загрязненных ионами Cd^{2+} , зоокомпостом после культивирования личинок мухи *Hermetia illucens* / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, Е.А. Пендюрин, Ж.А. Сапронова, И.В. Бомба // Chemical Bulletin. – 2021. – Т. 4, № 3. – С. 34–45.

Морфологические исследования и элементный состав зоокомпоста культивирования личинок мухи *Hermetia illucens*

Бомба И. В.

Старший преподаватель

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Свергузова С. В.

Профессор

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Сапронова Ж. А.

Заведующий кафедрой «Инженерная экология»

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: проведено комплексное исследование морфологии поверхности и элементного состава зоокомпоста, полученного после переработки органического субстрата личинками *Hermetia illucens*. Методами растровой электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) на микроскопе TESCAN MIRA изучены топография частиц и локальный химический состав материала. Установлено, что зоокомпост характеризуется сложной иерархически организованной поверхностью с развитой пористостью, наличием микротрещин и шероховатостей, что обуславливает его высокую водопроницаемость, потенциальную сорбционную активность и способность улучшать структурно-агрегатный состав почв. Элементный анализ выявил доминирование оксидов калия (13,13 %), кальция (12,12 %), фосфора (11,44 %) и натрия (10,79 %) при высоком содержании хлора (23,66 %), связанном с технологическими особенностями увлажнения субстрата. Значимые концентрации макроэлементов (K, Ca, Mg, P, S) свидетельствуют о перспективности использования зоокомпоста в качестве органоминерального удобрения, повышающего плодородие и буферную емкость почв.

Ключевые слова: *Hermetia illucens*, зоокомпост, морфология поверхности, элементный состав, макроэлементы, органическое удобрение

Современное состояние агропромышленного комплекса и экологии характеризуется двумя взаимосвязанными проблемами: накоплением значительных объемов органических отходов и деградацией почв, вызванной снижением содержания гумуса и нарушением структуры земель. Традиционные методы захоронения отходов на полигонах не только занимают огромные территории, но и способствуют выделению парниковых газов, загрязнению почв и грунтовых вод фильтратом. В связи с этим, внедрение технологий циркулярной экономики, предполагающих максимальную переработку вторичных ресурсов в полезные продукты, является приоритетным направлением развития агропромышленного комплекса и экологической биотехнологии [1, 2].

В последние десятилетия особую актуальность приобрело направление по производству кормового белка и липидного концентрата из биомассы личинок мух *Hermetia illucens*, что обусловлено высокими темпами роста отрасли промышленного энтомопроизводства [3]. Основным коммерческим продуктом при культивировании *Hermetia illucens* традиционно считается личиночная биомасса — источник белка и липидов для кормовых целей. Побочным продуктом переработки, является зоокомпост, он формируется в результате жизнедеятельности личинок и представляет собой сыпучий гранулированный материал, состоящий из остатков переработанного органического субстрата.

Существующие литературные источники [4, 5] указывают на потенциальную ценность зоокомпоста как источника питательных элементов для растений. Однако морфологические особенности поверхности частиц зоокомпоста, полученного при переработке конкретных видов отходов, изучены недостаточно. В частности, слабо освещены вопросы микрорельефа, пористости и структуры поверхности, которые напрямую влияют на такие свойства материала, как влагоемкость, адсорбционная способность и доступность элементов для почвенной биоты [6].

Кроме того, при внесении любых продуктов биоконверсии в почву или использовании их в качестве сорбентов критически важным является контроль содержания токсичных элементов. Оценка безопасности зоокомпоста по тяжелым металлам и другим потенциально опасным компонентам является обязательным условием для сертификации и рекомендаций к применению [7].

Целью настоящей работы явилось комплексное морфологическое исследование поверхности зоокомпоста, полученного в результате культивирования личинок *Hermetia illucens*, и анализ его элементного состава для оценки перспектив дальнейшего использования в агротехнологиях и природоохранной сфере.

Методом электронной микроскопии проведены исследование поверхностной структуры зоокомпоста. Электронная микроскопия поверхностной структуры материала позволяет получить высокоразрешающие изображения поверхности на наноуровне. Этот метод помогает в исследовании микротипов, определяя общую топографию, размеры и распределение частиц на поверхности [8].

На рис. 1 представлены микрофотографии зоокомпоста при различном увеличении.

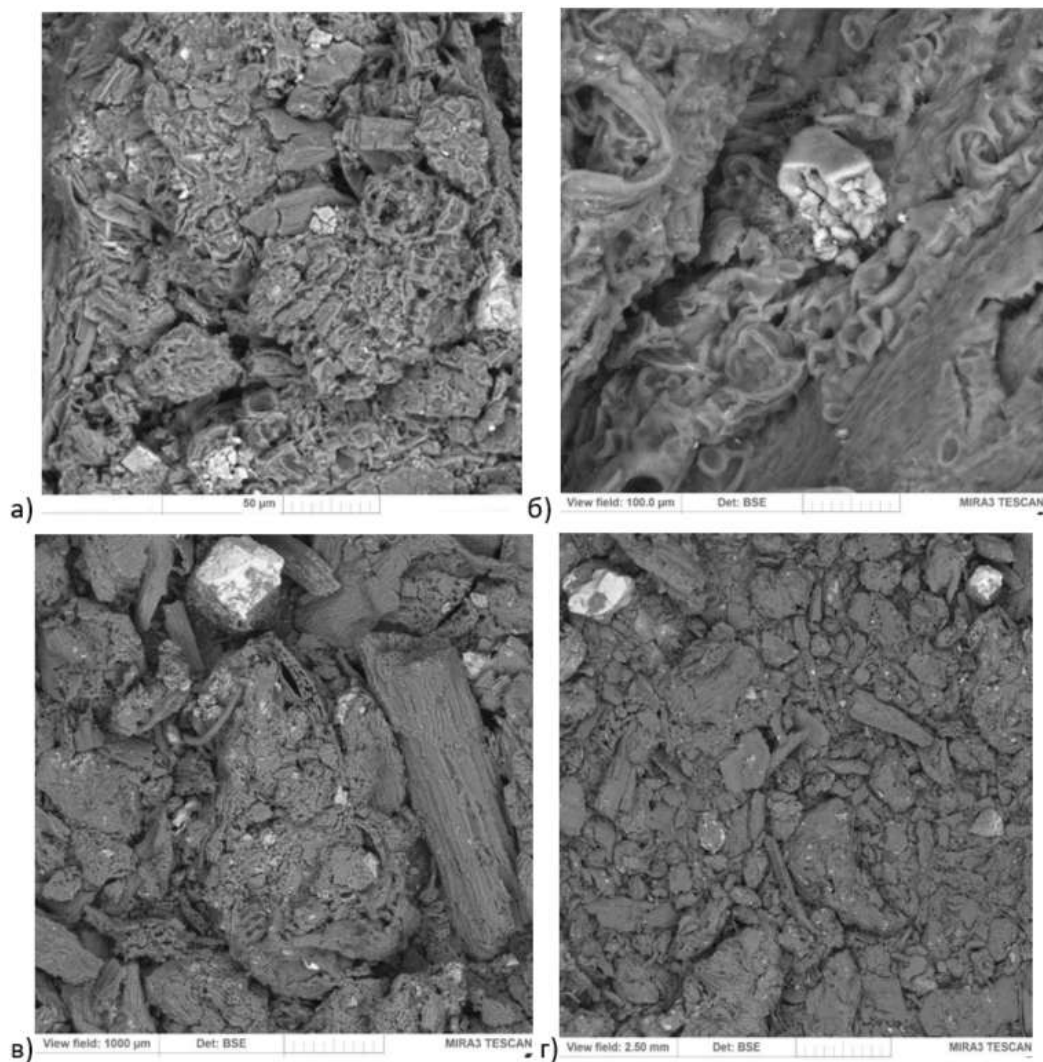


Рис. 1. Микрофотографии ЗК: увеличение, а – $\times 50$, б – $\times 100$ раз, в – $\times 1000$ раз, г – $\times 2000$ раз

На фотографиях, представленных на рисунке 1, можно увидеть различные элементы поверхности, такие как поры, трещины, выемки и микрорельефные формы, что позволяет судить о достаточно сложной поверхности зоокомпоста. Полученные микрофотографии могут указывать на хорошую водопроницаемость исследуемого материала, а также на возможность использования его в качестве адсорбента. Неправильная форма частиц и их шероховатость способствуют механическому сцеплению с почвенными агрегатами, что может улучшать структуру почвы, делая ее более комковатой и устойчивой к эрозии.

Определение элементного состава было проведено на том же оборудовании — сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA, оснащённом системой энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС). Использование данного аналитического комплекса позволило в едином цикле измерений, без нарушения вакуума и смещения области анализа, получить данные о локальном элементном составе непосредственно тех участков поверхности, морфология которых была описана выше (рис. 1). Такой подход обеспечивает высокую достоверность сопоставления структурных особенностей и химизма материала [9]. Результаты количественного энергодисперсионного анализа, выраженные в массовых долях оксидов и элементов, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Массовые доли соединений и элементов в образце 3К

Compound	m/m%	StdErr%		El	m/m%	StdErr%
Cl	23,66000	0,21000		Cl	23,66000	0,21000
K ₂ O	13,13000	0,17000		K	10,90000	0,14000
CaO	12,12000	0,16000		Ca	8,66000	0,12000
P ₂ O ₅	11,44000	0,16000		Px	4,99000	0,07000
Na ₂ O	10,79000	0,16000		Na	8,00000	0,12000
MgO	9,80000	0,15000		Mg	5,91000	0,09000
SO ₃	6,37000	0,12000		Sx	2,55000	0,05000
SiO ₂	5,66000	0,12000		Si	2,64000	0,05000
Fe ₂ O ₃	2,06000	0,07000		Fe	1,44000	0,05000
RuO ₄	1,69000	0,20000		Ru	1,28000	0,15000
Al ₂ O ₃	1,59000	0,06000		Al	0,84200	0,03300
PdO	0,54000	0,11000		Pd	0,47200	0,09500
Rh ₂ O ₃	0,43000	0,17000		Rh	0,35000	0,14000
TiO ₂	0,23300	0,01200		Ti	0,14000	0,00700

Анализ данных таблицы 1 показывает, что среди оксидов лидируют K_2O (13,13 %), CaO (12,12 %), P_2O_5 (11,44 %) и Na_2O (10,79 %). Высокая доля Cl (23,66 %) может быть связана с загрязнением исходного сырья или попадание хлора через воду, используемую для увлажнения субстрата. Стандартные ошибки измерений для большинства компонентов не превышают 0,21%, что подтверждает высокую точность анализа, однако для RuO_4 (0,20 %) и Rh_2O_3 (0,17 %) наблюдается повышенная погрешность, что может быть связано с низкой концентрацией этих соединений.

Минорные элементы, такие как Ru , Pd , Rh и Ti , представлены в следовых количествах (менее 1,5%), что позволяет предположить их примесный характер или связь с особыми условиями формирования образца. Высокое содержание K , Ca и P может указывать на возможность использования зоокомпоста в качестве удобрения.

В ходе исследования обнаружены макроэлементы, такие как кальций (Ca), калий (K), магний (Mg), фосфор (P) и сера (S), которые играют ключевую роль в формировании почвенной структуры и повышении ее плодородия. Высокое содержание кальция и калия (до 8,66 % и 10,9 % соответственно) указывает на способность ЗК улучшать водопрочность агрегатов и буферную емкость почв [112]. Микроэлементы, включая железо (Fe), марганец (Mn), цинк (Zn) и медь (Cu), представлены в концентрациях, соответствующих их участию в окислительно-восстановительных процессах и метаболизме растений. При этом содержание токсичных металлов, таких как свинец (Pb), кадмий (Cd) и никель (Ni), не превышает нормативных значений [10], что подтверждает безопасность ЗК для применения в качестве сорбента, мелиоранта.

В результате проведенных комплексных исследований методом растровой электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии установлено, что зоокомпост, полученный в результате культивирования личинок *Hermetia illucens*, характеризуется сложной, иерархически организованной поверхностью с развитой пористостью, наличием микротрещин и шероховатостей, что в совокупности с неправильной формой частиц создает предпосылки для высокой водопроницаемости материала, его сорбционной активности и способности улучшать структурно-агрегатный состав почв, повышая их устойчивость к эрозии. Элементный анализ выявил доминирование в составе зоокомпоста оксидов калия (K_2O 13,13 %), кальция (CaO 12,12 %), фосфора (P_2O_5

11,44 %) и натрия (Na_2O 10,79 %), а также высокое содержание Cl (23,66 %), которое может быть обусловлено технологическими особенностями увлажнения субстрата, при этом наличие макроэлементов (K, Ca, Mg, P, S) в значимых концентрациях свидетельствует о перспективности использования зоокомпоста в качестве органоминерального удобрения, способствующего повышению плодородия почв и их буферной емкости.

Список литературы

1. Дедов А.В., Смирнова И.П., Козлов В.М. Влияние кислотности почв на доступность макроэлементов в условиях Белгородской области // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 4. – С. 45–52.
2. Евстафьева А. Х. Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса России / А.Х. Евстафьева, О.Н. Боровских // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2024. – № 11(169). – С. 156-165. – DOI 10.26726/rppe2024v11csadp. – EDN FOTRSU.
3. Свергузова С. В. Использование отходов от переработки фруктов и овощей в качестве субстрата для выращивания личинок Черной львинки (*Hermetia illucens*) / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, И.В. Бомба // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: Сборник докладов. Международная научная конференция, Алушта-Белгород, 01–05 июня 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 271-276. – EDN DDTTWV.
4. Пендюрин Е.А. Зоокомпост – решение проблемы органических отходов и материал для ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами / Е.А. Пендюрин, Л. М. Смоленская, Ж. А. Сапронова, И.В. Бомба // Агрохимия. – 2024. – № 2. – С. 79-83. – DOI 10.31857/80002188124020095. – EDN ZCQPDS.
5. Святченко А.В. Исследование стимулирующего действия зоокомпоста культивирования личинок мухи «Черная львинка» (*Hermetia illucens*) на развитие бобовых на примере сои на черноземных почвах / А.В. Святченко, Ж.А. Сапронова, С.В. Свергузова [и др.] // Рациональное использование

природных ресурсов и переработка техногенного сырья. – Белгород: БГТУ, 2021. – С. 362–366.

6. Свергузова С.В. Ремедиация почв, загрязненных ионами Cd^{2+} , зоокомпостом после культивирования личинок мухи *Hermetia illucens* / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, Е.А. Пендюрин, Ж.А. Сапронова, И.В. Бомба // Chemical Bulletin. – 2021. – Т. 4, № 3. – С. 34–45.
7. Бомба И. В. Исследование токсического действия зоокомпоста культивирования мухи «черная львинка» на *Daphnia magna* / И.В. Бомба, С.В. Свергузова, В.И. Михнев // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов, Казань, 21–22 марта 2023 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2023. – С. 574-578. – EDN IXHMGY.
8. Растровая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ: учебно-методическое пособие. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019. – 41 с. – EDN KFATPY.
9. Приборы и методы исследований в материаловедении: практикум / В.В. Строкова, П.С. Баскаков, М.Н. Сивальнева [и др.]. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. – 147 с. – EDN JXLXBP.
10. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» : утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 28.01.2021 : введ. в действие с 01.03.2021. – Москва, 2021. – 469 с. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 18.02.2026).

Метод биологической утилизации осадков сточных вод

Гаптрахманова З. А.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Романова С. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Мадякина А. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в работе описан метод биологической утилизации осадков сточных вод с преобразованием их в почвосмесь для озеленения городского ландшафта и оценена эффективность данного метода.

Ключевые слова: осадок сточных вод, аэробная стабилизация, цеолит, почвосмесь, приживаемость растений, озеленение городского ландшафта

Одной из приоритетных задач современной экологической безопасности и ресурсосбережения является разработка высокоэффективных технологических решений в сфере обращения с отходами антропогенного происхождения, включая отходы функционирования систем водоснабжения и водоотведения. В результате жизнедеятельности человека и производственных процессов образуются жидкие отходы [1]. Интенсификация и оптимизация процессов водочистки представляют собой значимый эколого-экономический императив не только для Российской Федерации, но и для остальных стран мира, выступая фундаментальным компонентом концепции устойчивого развития.

Применяемый в настоящее время в глобальной практике метод биологической очистки городских сточных вод неизбежно сопровождается образованием значительных объемов осадков сточных вод (ОСВ) — основного отхода, формирующегося в ходе функционирования аэрационных станций и сооружений биохимической очистки (рис. 1). Как следствие, перед предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства встаёт ряд сложных научно-

прикладных задач, связанных с регулированием обращения, технологической обработкой и утилизацией накапливаемых ОСВ.



Рис. 1. Схема процесса обработки осадка сточных вод

ОСВ представляет собой твёрдый отход IV–V класса опасности согласно действующей в Российской Федерации классификации отходов [2]. Они образуются на станциях очистки воды, где применяются механические, биологические и физико-химические методы удаления загрязнений, содержащихся в сточной воде. Источниками образования ОСВ служат процессы обработки вод различного происхождения: поверхностных и подземных водоисточников, хозяйственно-бытовых стоков населённых пунктов, а также производственных сточных вод.

Согласно иерархической модели обращения с отходами, закреплённой в статье 3 Федерального закона от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», в качестве приоритетных направлений государственной политики, наиболее предпочтительным методом регулирования образования осадка сточных вод признаётся превентивная стратегия, направленная на минимизацию или полное предотвращение его генерации (рис. 2).



Рис. 2. Иерархия обращения с отходами в соответствии с Федеральным законом от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»

Вместе с тем, перевод предприятий водопроводно-канализационного комплекса на замкнутые (бессточные) схемы водопользования в обозримом будущем остаётся технически нереализуемым. Подобная реорганизация технологического цикла предполагает полную реконструкцию систем водоподготовки и водоотведения, включая переустройства очистных сооружений. Реализация данных мероприятий требует не только привлечения значительных инвестиционных ресурсов для модернизации устаревших инженерных сетей, но и пересмотра нормативной правовой базы, регламентирующей жизненный цикл объектов водоочистки. Без адаптации законодательства к новым технологическим регламентам удаления поллютантов переход хозяйствующих субъектов на иные принципы водоотведения невозможен.

Следующим по релевантности подходом является вторичное использование осадка, как ресурса, и эффективная его утилизация. После стадии обезвоживания в процессе обработки осадка сточных вод возможно использование разных методов его переработки.

Наиболее распространенным способом утилизации обезвоженных осадков сточных вод в настоящее время является производство удобрений и почвогрунтов [3]. Развитие технологий получения на основе осадков сточных вод

удобрений и почвогрунтов обуславливается в первую очередь высоким содержанием органических веществ, что обеспечивает запас питательных компонентов для растений [4,5]. Также при данном подходе рационально используется ресурсный потенциал осадков (в качестве плодородного субстрата для растений), что отвечает современным требованиям устойчивого развития при восстановлении нарушенных земель [6], однако необходимо уделять особое внимание санитарно-эпидемиологической оценке полученных продуктов из-за наличия патогенных микроорганизмов в городских осадках сточных вод.

На территории Российской Федерации ежегодно образуется свыше 2 млн тонн осадков в пересчёте на сухое вещество. Поскольку большая часть ОСВ практически не находит применения, их размещают на полигонах, что приводит к масштабному загрязнению окружающей среды.

Становятся очевидными необходимость увеличения вариантов утилизации обезвоженных городских осадков сточных вод и интенсификация процессов их внедрения для исключения переполнения действующих иловых полей и отчуждения новых территорий для вновь образующихся осадков, что способствует минимизации негативных последствий для компонентов природной среды.

Целью данного исследования является получение продукта (техногенного почвогрунта), потенциально пригодного для использования при озеленении территорий, рекультивации техногенно-нарушенных земель, а также для выращивания травянистых растений в условиях закрытого и открытого грунта.

Согласно информационно-техническому справочнику по наилучшим доступным технологиям ИТС 8-2022 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ по оказанию услуг на крупных предприятиях», в настоящий момент перспективным методом утилизации ОСВ является аэробная стабилизация обезвоженных осадков (компостирование) (применяется для последующей почвенной утилизации компоста) [4].

Целью настоящего исследования является разработка метода утилизации ОСВ в почвосмесь, пригодную для использования в городском озеленении.

Объектом исследования является осадок сточных вод АО «ЗВКС» г. Зеленодольска Республики Татарстан.

Для получения безопасного в санитарно-гигиеническом отношении продукта, в состав которого входит удобрение на основе ОСВ, была выбрана

технология аэробной стабилизации при помощи бактериальной культуры *B. subtilis* штамм 26D.

С целью снижения подвижности и биодоступности тяжелых металлов в осадке сточных вод была проведена обработка негашеной известью. Введение оксида кальция приводит к значительному повышению значения pH среды, что вызывает осаждение катионов тяжелых металлов в виде труднорастворимых гидроксидов и карбонатов.

Далее производилось внесение цеолита в компост на основе ОСВ, способствующее разрыхлению субстрата. Помимо этого, цеолит, обладая высокой ионообменной способностью, сорбирует содержащийся в компосте аммонийный азот и др. питательные элементы, предотвращая их потери.

В результате данной модификации осадков образуется органоминеральное удобрение, которое не только обеспечивает растения макро- и микроэлементами, но и способствует улучшению структуры почвы.

Для приведения состава удобрения в соответствие с установленными нормами был применен метод корректировки его элементного баланса путем внесения расчетных количеств минеральных добавок – нитрата аммония (NH_4NO_3) и дигидрофосфата кальция ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$).

Эксперимент по изучению влияния почвосмеси на всхожесть декоративной культуры *Callistephus chinensis* L. (Астра Срезочная) проводился в полевых условиях с использованием делянок площадью 1 м^2 и глубиной 30 см.

Делянки содержали два заложенных варианта: вариант № 1 служил контролем и состоял только из почвы городского опытного участка; вариант № 2 включал внесение почвосмеси, полученной из ОСВ, в количестве 28 кг/м^2 . Компоненты – удобрение из ОСВ: почва городского опытного участка: цеолит: аммиачная селитра: суперфосфат: яичная скорлупа, смешивались в соотношении 1:1:1:0,015:0,041:0,046. Добавление яичной скорлупы способствует усилению поставки кальция, участвующего в формировании клеточных стенок растений.

Приживаемость семян Астры составила 89 % по сравнению с контролем (рис. 3), где приживаемость составила 65 %. Показатель приживаемости определялся по ГОСТ Р 59370-2021 «Зеленые стандарты. Посадочный материал декоративных растений».



Рис. 3. Контрольная и экспериментальная делянки

Различия в приживаемости обусловлены оптимальным и сбалансированным составом использованной почвосмеси, а также благоприятными физико-химическими ее свойствами.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило возможность эффективной переработки осадков сточных вод в почвосмесь, соответствующую требованиям ГОСТ Р 54651-2011. Разработанный метод позволяет не только снизить экологическую нагрузку от накопления ОСВ, но и получить экономически выгодный продукт для озеленения городских территорий.

Список литературы

1. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов [Электронный ресурс] // ИТС: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. 2020. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293724/4293724257.htm> (дата обращения 06.04.2026).
2. Федеральный закон от 24.06.1998 №89-ФЗ (ред. от 07.04.2020) «Об отходах производства и потребления». Принят ГД ФС РФ 22.05.1998. // Консультант-Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения 06.04.2026).
3. Пашкевич М.А., Патокин Д.А. Направления использования нитроцеллюлозосодержащих отходов химической промышленности на объектах минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 9-1. С. 215-230. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_91_0_215.

4. Рудзиш Э.Р., Петрова Т.А. Перспективы использования нетрадиционных мелиорантов для формирования растительного покрова на рекультивируемых территориях // Горный журнал. 2023. № 9. С. 75-82. DOI: 10.17580/gzh.2023.09.11.
5. Касатиков В.А., Шабардина Н.П. Влияние почвогрунта на основе осадка городских сточных вод на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и урожайность райграса однолетнего // Владимирский земледелец. 2021. № 3 (97). С. 35-38. DOI: 10.24412/2225-2584-2021-3-35-38.
6. Юрак В.В., Усманов А.И. Восстановление нарушенных земель в горных экосистемах // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15. № 4. С. 901-911. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-4-901-911.

Отработанная отбельная глина – сырьё для сорбционного материала

Грабазей А. В.

Аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Гафаров Р. Р.

Ассистент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Свергузова С. В.

Профессор

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Кузенков Н. С.

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: в работе рассмотрена проблема утилизации отработанной отбельной глины (ООГ), образующейся при рафинации растительных масел. Показано, что складирование отхода на полигонах представляет экологическую опасность из-за высокого содержания органических веществ (до 40 % масла). Исследована возможность применения термически модифицированной ООГ в качестве сорбционного материала. Методами растровой электронной микроскопии, рентгенофазового и гранулометрического анализа изучены состав, структура и дисперсность исходного и термообработанного (при 350 °С) отхода. Установлено, что минеральная основа представлена каолинитом, монтмориллонитом, кварцем и анортитом. Термообработка приводит к укрупнению частиц и агрегации пластинчатых элементов, однако поверхность сохраняет высокую шероховатость и развитую систему активных центров. Сделан вывод о принципиальной возможности использования ООГ в качестве доступного сорбента для очистки сточных вод.

Ключевые слова: отработанная отбельная глина, сорбционный материал, термическая модификация, микроструктура, гранулометрический состав, рентгенофазовый анализ, утилизация отходов

Активированная отбельная глина является одним из наиболее распространенных адсорбентов, используемых при рафинации растительных масел [1].

Отбельные глины представлены бентонитовыми глинами обычно монтмориллонитового состава или кремнистыми породами (диатомит, кремнистый мергель). В состав отбельных глин входит также каолинит. Было подсчитано, что ежегодно во всем мире производится около 2 миллионов тонн отработанной отбельной глины [2,3].

В настоящее время глина, образующаяся после рафинации растительного масла на предприятиях, размещается на полигонах отходов [4]. Это несет угрозу окружающей природной среде и здоровью людей, поскольку в отходе содержится до 40% адсорбированного масла и других органических компонентов, которые в процессе длительного хранения подвергаются разложению, в результате чего в окружающую среду выделяются токсические вещества, кроме того, существует угроза возгорания [5,6].

Объектом исследований являлся исходный и термически модифицированный отход отбельной глины (ООГ), полученный на предприятии по производству растительного масла.

Термический метод представляет собой обработку отработанной отбельной глины в муфельной печи. Для получения материала, пригодного к использованию в водоочистке, отход подвергали обжигу в муфельной печи LOIP LF-7/13 при различных температурах от 100 °С до 600 °С, при разной продолжительности. Для обоснования теоретической возможности использования исследуемого материала в качестве адсорбента было необходимо исследовать структуру его строения. Микроструктура поверхности образцов исследовалась с помощью растрового электронного микроскопа марки «TESCANMIRA 3LMU» (Польша).

При исследовании количественного состава термически модифицированного отхода на приборе рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализа «Blok Station Arl-9900» было установлено, что в состав отхода входит 69% органических веществ и 31% неорганических.

Лазерный гранулометрический анализ материала проводился с использованием прибора MicroSizer-201 путем измерения гранулометрического состава дисперсных сред.

Глины, как природный материал, характеризуются высокой дисперсностью, что и обуславливает, во многом, их сорбционные свойства. Исследования показали (рис. 1), что отход отбельной глины имеет средний диаметр частиц 10-50 мкм. После термообработки происходит некоторое укрупнение, очевидно, в процессе спекания органических компонентов – масел и пигментов.

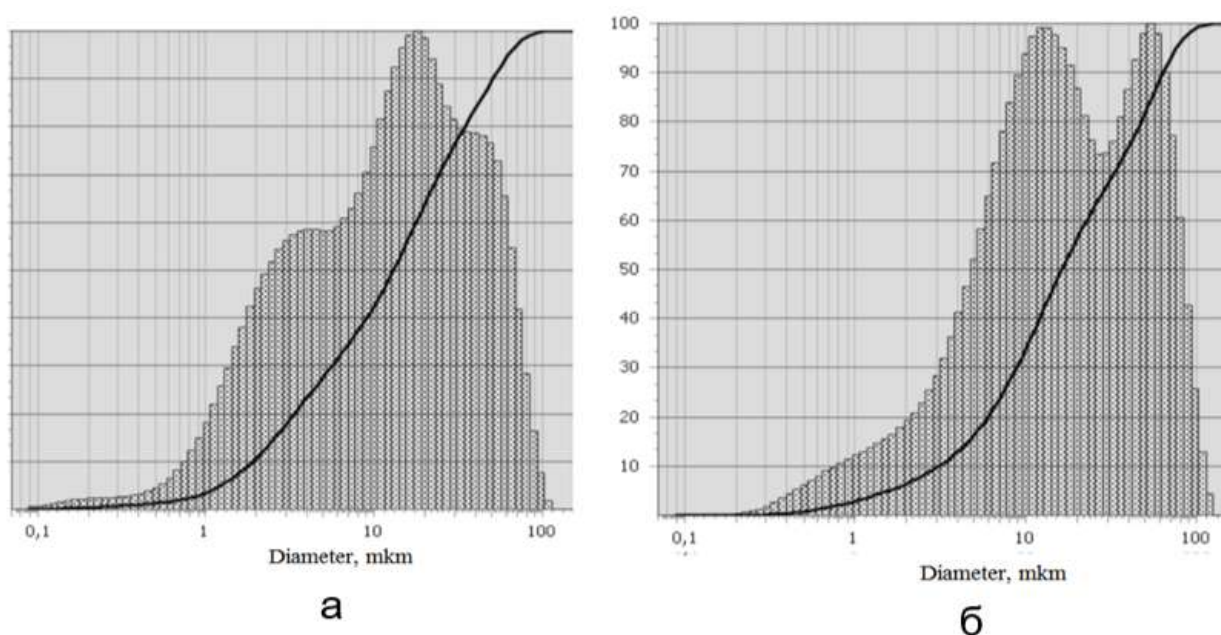


Рис. 1. Дисперсность исходного (а) и термообработанного при 350 °С (б) отхода отбельной глины

Это может иметь как положительный, так и отрицательный эффект на протекание водоочистки, поскольку укрупнение частиц приводит к уменьшению удельной поверхности сорбционного материала, с другой стороны, это может упростить процесс отделения сорбента от очищаемого раствора. На микрофотографиях (рис. 2) видно, что пластинчатые частицы агрегировались в укрупненные образования. В то же время, сохраняется высокая дисперсность поверхности с большим количеством активных центров и трещин.

Химический состав глин может варьироваться в зависимости от месторождения, условий добычи и других факторов. На рис. 3 представлены данные рентгенофазового анализа образца отхода отбельной глины.

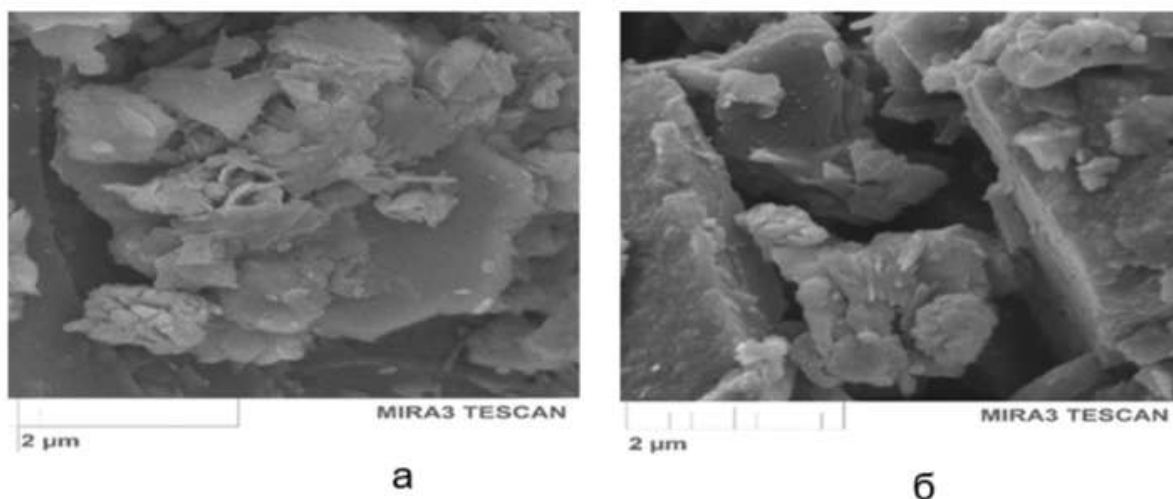


Рис. 2. Микрофотографии исходного (а) и термообработанного (б) при 350 °С отхода отбельной глины

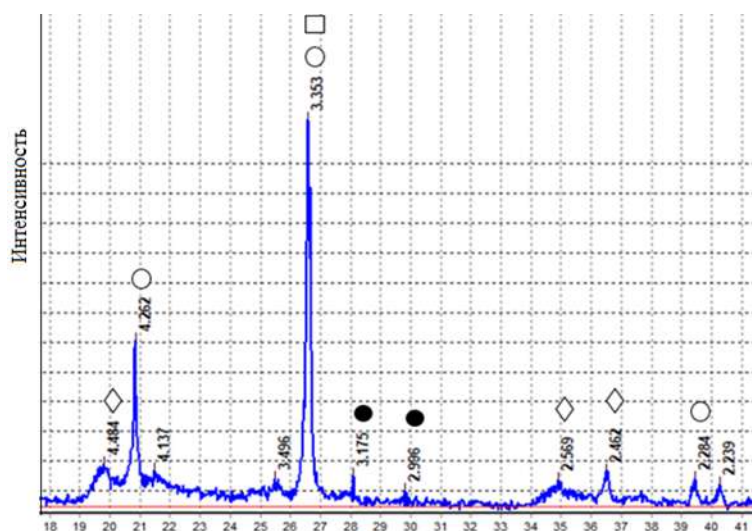


Рис. 3. Рентгенофазовый анализ отхода отбельной глины, где ◊- каолинит, ● - монтмориллонит, ○ - кварц, □ - анортит

Как показали результаты исследований, минеральный состав исследуемой отбельной глины месторождения Кыштымское (Челябинская область) представлен такими веществами, как каолинит ($d=4.484$; 2.569 ; 2.462); монтмориллонит ($d=3.175$; 2.996); имеются примеси кварца ($d=3.353$; 4.262 ; 2.284); и анортита ($d=3.353$).

Проведённые исследования показали, что отработанная отбельная глина после соответствующей термической обработки может рассматриваться как перспективное сырьё для получения сорбционных материалов. Установлено,

что отход содержит значительное количество органических компонентов (около 69 %), которые при нагреве частично удаляются, что способствует развитию пористой структуры и активации поверхности. Минеральный состав ООГ характерен для природных глин, обладающих сорбционной активностью. Несмотря на некоторое укрупнение частиц после термообработки при 350 °С, микрорельеф поверхности остаётся сильно развитым, с множеством трещин и активных центров, что является благоприятным фактором для адсорбции загрязнителей из водных сред.

Таким образом, отработанная отбельная глина, образующаяся в больших количествах на маслоэкстракционных предприятиях, является доступным и дешёвым вторичным ресурсом. Её переработка в сорбционный материал позволит не только снизить нагрузку на окружающую среду за счёт утилизации отхода, но и получить эффективное средство для очистки сточных вод от различных загрязнений.

Список литературы

1. Гафаров Р.Р. Влияние термообработки отработанной отбельной глины на процесс ионного обмена / Р.Р. Гафаров // Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов XX Всероссийской конференции-конкурса студентов выпускного курса и аспирантов, Санкт-Петербург, 02–06 декабря 2024 года. Том 1. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, 2025. – С. 144-147. – EDN BRTKFL.
2. Шайхиев И.Г. Рациональное использование отхода маслоэкстракционного производства - отработанной отбельной глины / И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова, Р.Р. Гафаров, Ж.А. Сапронова // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28, № 7. – С. 14-19. – DOI 10.18412/1816-0395-2024-7-14-19. – EDN ОНКНІВ.
3. Свергузова С.В. Изменения физико-химических и сорбционных свойств отбельной глины в ходе термообработки / С.В. Свергузова, Р.Р. Гафаров, О.С. Зубкова [и др.] // Коллоидный журнал. – 2024. – Т. 86, № 4. – С. 496-505. – DOI 10.31857/S0023291224040082. – EDN BVVYWK.
4. Сапронова Ж.А. Пути декарбонизации производства с использованием отхода отбельной глины / Ж.А. Сапронова, С.В. Свергузова, Р.Р. Гафаров,

Н.С. Лупандина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – № 2. – С. 51-60. – EDN QEDBVQ.

5. Свергузова С.В. Физико-химические свойства отбельной глины / С.В. Свергузова, И.Г. Шайхиев, Ж.А. Сапронова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2023. – Т. 66, № 6. – С. 76-84. – DOI 10.6060/ivkkt.20236606.6780. – EDN JCZTJG.
6. Шайхиев И.Г. Очистка сточных вод убойного цеха птицефабрики коагулирующей суспензией на основе пыли электродуговых сталеплавильных печей / И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова, Ж.А. Сапронова, Р.Р. Гафаров // Академический вестник ЕЛПИТ. – 2023. – Т. 8, № 4(26). – С. 40-50. – EDN RENHAJ.

Пиролиз отходов

Гильмутдинов Р. Р.

Специалист по охране труда 2 категории
ФКП «Казанский государственный казенный пороховой завод»

Зайнуллин А. М.

Доцент
Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в современном мире встает острый вопрос о переработке и утилизации отходов, как коммунальных так, так и сельскохозяйственных. Есть множество методов утилизации, все имеют свои преимущества и недостатки, однако, из всего этого выделяется – пиролиз. В данной статье была приведена характеристика метода пиролиза для утилизации отходов. Были представлены виды, характеристика сырья и вторсырья, полученные в результате утилизации отходов.

Ключевые слова: пиролиз, отходы, биоуголь

Пиролиз представляет собой процесс термического разложения органических компонентов мусора при высокой температуре в отсутствие кислорода, что приводит к преобразованию тяжелых органических молекул в более простые соединения с меньшей молекулярной массой.

Использование пиролиза взамен сжигания отходов позволяет резко уменьшить объем газовых выбросов и содержание в них токсичных компонентов. Кроме того, появляется возможность утилизации потенциальных энергетических и материальных ресурсов путем получения из отходов топливных и других вторичных продуктов. Пиролизу целесообразно подвергать некомпостируемые части бытовых отходов (НБО) и неиспользуемые отходы, содержащие в основном органические вещества [1].

Существует три температурных режима, при которых протекает процесс сухого пиролиза:

1. При температуре 450–550 °С протекает низкотемпературный пиролиз (полукоксование), для которого характерен выход в максимальном количестве жидкого и твердого остатка (полукокса) и минимальное количество пиролизного газа с максимальным значением теплоты сгорания. С помощью данного метода получают первичные смолы (ценное топливо в жидком виде)

и перерабатывают нетоварный каучук в мономеры, которые используются для вторичного получения каучука. Твердый остаток используется как энергетическое и бытовое топливо.

2. При температуре 800 °С протекает среднетемпературный пиролиз, для которого характерен большой выход газа с меньшей характеристикой теплоты сгорания и небольшое количество кокса и жидкого остатка.

3. При температуре 900–1050 °С протекает высокотемпературный пиролиз (коксование), для которого характерен минимальный выход жидких и твердых остатков и максимальное количество вырабатываемого газа с минимальным значением теплоты сгорания. Продукт представляет собой высококачественное горючее, пригодное для перемещения на большие расстояния [2].

С помощью пиролиза решаются сразу несколько экологических и производственных задач, связанных с утилизацией промышленных отходов, вторичной переработкой полимеров и углеводородов, выработкой дешевой энергии и пр.

Переработка твердых бытовых отходов. Пиролитическая утилизация ТБО более экологична и экономически выгодна в сравнении с обычным сжиганием или устаревшим способом захоронения на мусорных полигонах. Для получения готовой продукции заданного химического состава необходима сортировка мусора.

Утилизация промышленных отходов. С помощью пиролиза утилизируют с получением полезного сырья как твердые отходы производства полимеров, так и сточные воды.

Производство полезных углеводородов. Методом пиролиза производят из нефтепродуктов практически весь этилен в мире, пропилен (67%), бутадиен (80%) и бензол (37%). Далее это сырье идет на производство полимеров, включая пластик, синтетическое волокно, пленки и пр.

Производство метана и ацетилена, которые используют для изготовления пластмассы, каучука, растворителей и этанола.

Переработка отходов деревообрабатывающих предприятий для производства древесного угля [3].

Экспериментальная часть.

В качестве объекта для исследования был выбран прессованный жом сахарной свеклы. Сырье представляет собой побочный продукт сахарного

производства: после экстракции сахара из свеклы остается волокнистая масса, которую сушат и гранулируют.

Химический состав жома сахарной свеклы:

Целлюлоза – 45–47 %;

Пектиновые вещества – до 50 %;

лигнин– около 2,2 %;

Протеин – 2–3 %;

Остаточные моно- и дисахариды – 0,6–0,7 %.

Процесс пиролиза с применением муфельной печи реализуется поэтапно и включает следующие операции:

Подготовка сырья: в качестве сырья используется гранулы сахарной свеклы. Предварительно высушенная навеска в количестве 10 гр. загружается в реакторную камеру, изготовленную из термостойкого материала, устойчивого к высоким температурам.

Размещение реактора в муфельной печи: реактор с загруженным сырьем размещается в рабочей зоне муфельной печи марки СНОЛ 8,2/11. Подключаются все необходимые элементы системы отвода газов и конденсации жидких продуктов.

Установка системы охлаждения и конденсации: к выходу пиролизной камеры присоединяется трубка, соединяющаяся с конденсатором, который погружён в охлаждающую ванну с водой. Устанавливается система сбора жидкой фракции в делительную воронку или мерную колбу. Газы после конденсатора направляются в сборник неконденсируемых газов.

Нагрев муфельной печи до заданной температуры: температурный режим устанавливается в зависимости от программы эксперимента: 400, 500 или 600 °С. Время нагрева — 30 минут либо 1,5 часа (в зависимости от эксперимента).

Проведение процесса пиролиза: после достижения рабочей температуры выдержка проводится в течение 30 минут для осуществления полного разложения органических компонентов. В процессе термического разложения выделяются газы, которые конденсируются в системе охлаждения. Часть продуктов, не подлежащих конденсации, улавливается в отдельном газовом сборнике.

Завершение процесса и охлаждение установки: по окончании процесса печь отключается. Реактор с твердым остатком охлаждается до комнатной температуры.

Извлечение продуктов пиролиза: проводится отбор жидкой фракции, измеряется ее объём. Сбор и взвешивание твердого остатка. Оценка объема выделившегося газа.

При проведении пиролиза образуются три основных продукта – биоуголь, пиролизный газ и жидкая часть (биотопливо); при этом биоуголь выделяется как наиболее ценный компонент.



Рис. 2. Биоуголь

Некоторые области применения биоугля:

Сельское хозяйство. Биоуголь улучшает здоровье почвы, влагоудержание и поддерживает сельское хозяйство в засушливых районах. Он способствует аккумуляции питательных веществ в почвах, что особенно важно в условиях истощённых земель.

Очистка почв. Биоуголь устойчив к разложению и способен сохраняться в почве от сотен до тысячи лет, эффективно поглощая и закрепляя тяжёлые металлы.

Очистка воды. Биоуголь удаляет загрязняющие вещества, такие как тяжёлые металлы, красители, органические загрязнители [4-6].

Животноводство. Биоуголь в качестве кормовой добавки улучшает пищеварение и гигиену животных, а также укрепляет иммунную систему и увеличивает темпы роста.

Список литературы

1. StudFiles: отчет о научно-исследовательской работе. URL: <https://studfile.net/preview/2824883/> (дата обращения 30.03.2026)
2. ИНТЕХ ГмбХ: пиролиз. URL: https://gas-burners.ru/gas_chemistry_petrochemistry_furnaces/piroliz/ (дата обращения 30.03.2026)
3. НПП «Динамика»: что такое пиролиз? Знакомство с технологией пиролиза. URL: <https://pyroliz.ru/blog/piroliz-cto-eto-znakomstvo-s-tehnologiyey> (дата обращения 30.03.2026)
4. Зайнуллин А.М., Зайнуллина Л.Ф. Очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца мембранным способом // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. Сборник докладов III Международной научно-технической конференции. – 2017. – С. 31-35.
5. Зайнуллин А.М., Шайгаллямова Л.Ш. Очистка сточных вод производства нитросоединений ароматического ряда // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 192-195.
6. Зайнуллин А.М., Абзалова А.Г. Комплексная физико-химическая очистка сточных вод производства ТНПС // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 188-191.

Обработка избыточного активного ила с целью получения топливных гранул для термической утилизации

Исхакова Р. Я.

Доцент

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Аннотация: в статье представлен подход к обезвоживанию осадка биологической очистки сточных вод – избыточного активного ила, обеспечивающий его предварительную подготовку для дальнейшей термической утилизации, в котором используется шлам водоподготовки тепловых электрических станций в качестве вторичного материального ресурса.

Ключевые слова: избыточный активный ил, шлам водоподготовки, отходы производства, обезвоживание, термическая утилизация

Утилизация крупнотоннажных отходов, образующихся в процессе получения целевого продукта, является актуальной задачей для всех отраслей промышленности, так как общей проблемой, характерной для хранения подобных отходов, является отчуждение сельскохозяйственных земель и территорий, а также увеличение антропогенной нагрузки на окружающую природную среду [1].

В работе исследованы крупнотоннажные отходы: избыточный активный ил (ИАИ), образующийся на этапе биологической очистки сточных вод и шлам водоподготовки ТЭС, образующийся в осветлительных фильтрах при проведении известкования и коагуляции природной добавочной воды. ИАИ отводится на иловые поля для сушки в естественных условиях. При этом в Российской Федерации образуется порядка 100 млн тонн осадка ежегодно. Складирование ИАИ приводит к изменению газовоздушного фона, распространению неприятных запахов, бактериальному загрязнению почв.

ИАИ относится к группе гигрофильных органических субстратов, легко загнивающих и по этой причине подлежащих обработке. Органическая часть ИАИ подвержена быстрому загниванию с выделением неприятного запаха, при этом увеличивается количество коллоидных и мелкодисперсных частиц, вследствие чего снижается водоотдача осадков.

В исследовании предлагается извлекать коллоидно-связанную влагу за счет предварительной обработки ИАИ шламом ВПУ ТЭС и дальнейшего их совместного центрифугирования.

Экспериментальные исследования показали, что ИАИ характеризуется высокой влажностью – 99,2 %. Для эффективного обезвоживания проведено центрифугирование ИАИ и шлама ВПУ и проведена оценка по показателю индекс центрифугирования I (см³/ г):

$$I = \frac{V_k}{V_0 \cdot C}, \quad (1)$$

где V_k и V_0 – объем уплотненного и исходного осадка, см³; C – концентрация исходного осадка, г/см³. Удовлетворительные значения составляют от 6 до 8.

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис 1.

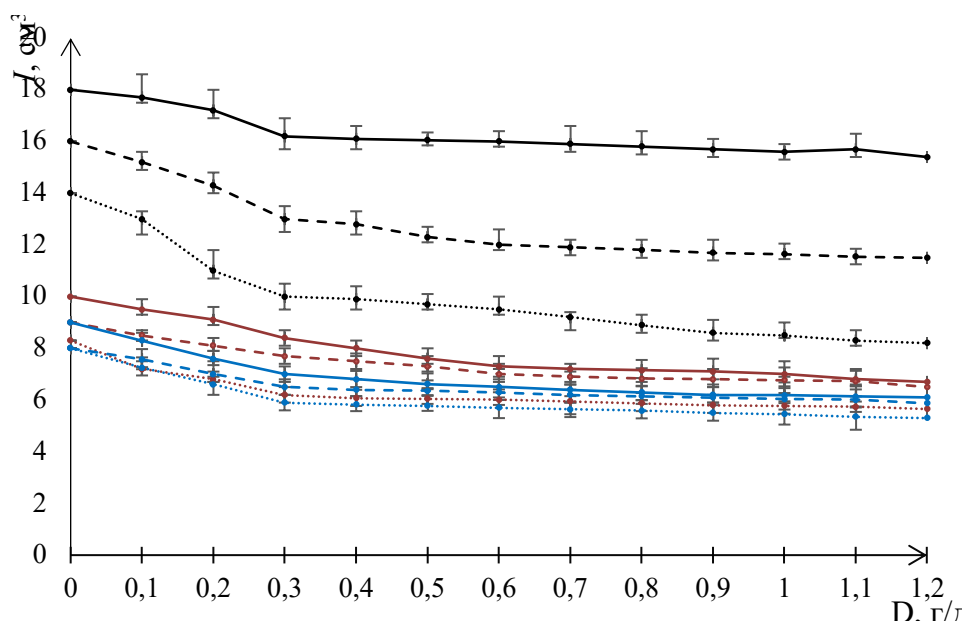


Рис. 1. Зависимость значения индекса центрифугирования (I) от вводимой дозы шлама (D):
(черная) – 500 об/мин, (оранжевая) – 1000 об/мин,
(синяя) – 1500 об/мин – 1 мин, – 2 мин, – 3 мин

Центрифугирование ИАИ при предварительной обработке шламом ВПУ в количестве 0,6 г/дм³ в течение 1 мин со скоростью 1000 об/с позволяет достичь требуемого индекса центрифугирования при наименьших энергозатратах. При центрифугировании твердые частицы шлама ВПУ способствуют разрыву коллоидных систем и повышенному выходу гидратно-связанной влаги.

Нарушается агрегативная устойчивость ИАИ, что способствует повышению влагоотдачи.

При отсутствии предварительной обработки шламом активный ил прочно удерживает влагу и характеризуется низкой влагоотдающей способностью, в то время как при введении шлама ВПУ из ИАИ извлекается коллоидно-связанная влага, в результате центрифугирования образуется твердая фаза, которая легко отделяется от фугата после центрифугирования.

Для оценки влагоотдачи осадка также использовали экспресс-метод [2], основанный на капиллярном поглощении влаги осадка фильтровальной бумагой.

На рис. 2 видно, что максимальная высота столба жидкости соответствует воде, так как она легче всего впитывается в фильтр. Связанная влага, присутствующая в ИАИ, впитывается значительно хуже, за счет этого величина столба жидкости уменьшается. При введении шлама ВПУ получен более высокий подъем столба жидкости, что свидетельствует об улучшении водоотдачи ИАИ за счет перехода связанной влаги гидратных оболочек частиц ила в свободную влагу.

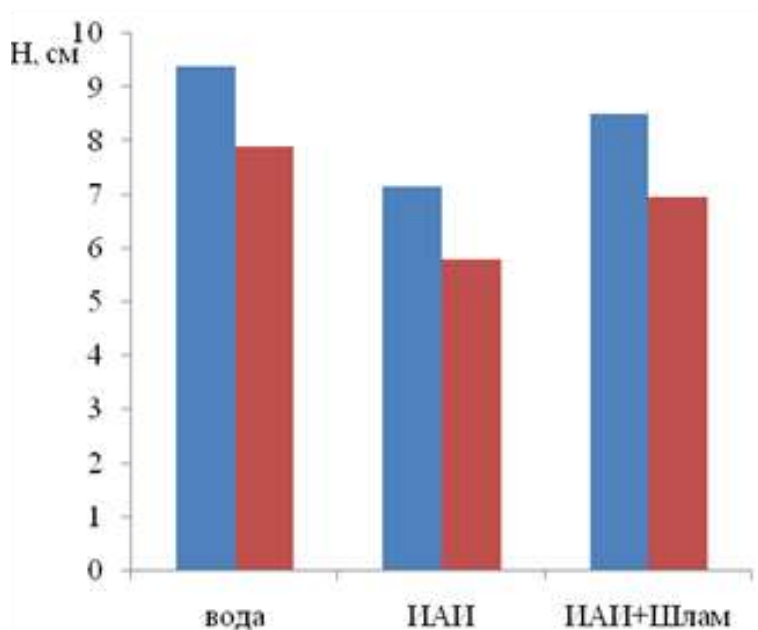


Рис. 2. Эффективность водоотдачи суспензии ИАИ и шлама ВПУ на фильтре «синяя» ($d=2-3$ мкм) и «белая» ($d=8-12$ мкм) лента: 1 – H_2O ; 2 – ИАИ; 3 – шлам ВПУ и ИАИ

Далее смешанный осадок, имеющий влажность не более 60–64 %, направляется на формование топливных гранул диаметром 5–7 мм с применением

связующих лигносульфоната технического. Низшая теплота сгорания топливных гранул составила 12,73 МДж/кг, что сравнимо с теплотой сгорания торфа [3].

Таким образом, обработка ИАИ шламом ВПУ позволит снизить влажность полученного материала и использовать его как вторичный энергетический ресурс.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 25-29-00129 «Энергоресурсоэффективность широкого класса процессов и технологическая независимость промышленных аппаратов на предприятиях топливно-энергетического комплекса»).

Список литературы

1. Исхакова Р.Я. Комплексная переработка отходов водоснабжения и водоотведения промышленных и коммунальных предприятий. Монография. Казань: Вестфалика, 2026. – 96 с.
2. Ксенофонтов Б.С. Усовершенствование способа экспресс-контроля водоотдающих свойств осадков сточных вод / Б.С. Ксенофонтов, Д.В. Сазонов // Сантехника. – 2014. – № 2. – С. 44–46.
3. Шатиль А.А. Расчетное исследование топочных устройств / А.А. Шатиль. – Санкт-Петербург, 2003. – 150 с.

Переработка зерновых отходов в целлюлозу: методы и перспективы

Кравцова В. В.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Степанова С. В.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье исследуется потенциал использования шелухи пшеницы и ячменя в качестве возобновляемого сырья для производства целлюлозы. На основе данных Росстата за 2020–2024 гг. показано, что ежегодный ресурсный потенциал отходов составляет от 4 до 19 млн тонн, а их химический состав (30–45 % целлюлозы) подтверждает технологическую целесообразность переработки. Наиболее эффективным методом признан органосольвентный процесс, обеспечивающий высокий выход продукта и способствующий формированию ресурсоэффективной биоэкономики.

Ключевые слова: целлюлоза, шелуха зерновых, пшеница, ячмень, органосольвентный метод, лигнин, агроотходы, биоэкономика

В связи с постоянным увеличением количества валового продукта в сельском хозяйстве и ростом городов необходимо улучшение существующих технологий по размещению, хранению и утилизации образующихся сельхозотходов, в частности, отходов зерновых культур.

Исторически для синтеза высококачественной целлюлозы, применяемой в медико-биологических и специальных технических областях, использовалось сырьё на основе хлопкового линта. Данный выбор был детерминирован уникальными структурно-механическими характеристиками волокон: высокой степенью полимеризации, макромолекулярной чистотой, устойчивостью к гидролитической и окислительной деградации.

Однако в современных экономико-экологических реалиях доминирование хлопковой целлюлозы сопряжено с системными ограничениями:

- ресурсно-экологические дисбалансы. Культивирование *Gossypium spp.* характеризуется экстремальной гидроёмкостью (≈ 10000 л/кг сырья), интенсивной пестицидной нагрузкой и прогрессирующей деградацией почвенных

ресурсов, что противоречит принципам циркулярной экономики и устойчивого природопользования;

- геоэкономические риски. Концентрация производства хлопка в регионах с нестабильной климатической и политической обстановкой создаёт структурную уязвимость глобальных цепочек поставок целлюлозного сырья;

- технологическая неэффективность. Многостадийная переработка хлопкового сырья сопряжена с высокими энергозатратами и образованием токсичных жидких отходов (щелочные стоки, отбельные реагенты).

В данном контексте актуальность приобретает разработка технологических решений по утилизации ежегодно возобновляемых лигноцеллюлозных отходов агропромышленного комплекса. Научный интерес концентрируется на вторичных продуктах переработки злаковых культур (солома, лузга, мякина), характеризующихся:

- предсказуемой ежегодной цикличностью образования;

- локализованностью источников сырья;

- нулевой маржинальной стоимостью с точки зрения землепользования.

Таким образом, происходит трансформация парадигмы: от поиска дискретных заменителей традиционного сырья к созданию интегрированных биоэкономических систем. Стратегической задачей становится конверсия агроотходов в целлюлозные продукты с заданными функциональными свойствами через внедрение:

- селективных методов делигнификации (органосольventные, ионообменные);

- каталитических и ферментативных процессов;

- гибридных механохимических технологий.

Реализация данного подхода позволяет достичь синергетического эффекта: снижение антропогенной нагрузки на агроэкосистемы, диверсификация сырьевой базы целлюлозно-бумажной промышленности и формирование новых стоимостных цепочек в рамках концепции «zero-waste agriculture».

Согласно данным ООН, сельское хозяйство генерирует более 1,3 миллиарда тонн отходов ежегодно, что составляет приблизительно одну треть всех производимых продовольственных товаров. Из этой массы лишь 30 % перерабатывается, в то время как остальное выбрасывается, создавая экологические проблемы и потенциальные экономические убытки.

На основе данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат) РФ за 2020–2024 годы показано, что ежегодное образование шелухи составляет от 4 до 19 млн тонн (таблица 1), что соответствует 5–15 % от валового сбора зерна данных культур, что подчеркивает значительный ресурсный потенциал для переработки.

Таблица 1

Количество отходов от переработки зерна пшеницы и ячменя

Год	Общий сбор пшеницы + ячменя	Шелуха (5% от общего сбора)	Шелуха (10% от общего сбора)	Шелуха (15% от общего сбора)
2020	106,8	5,34	10,68	16,02
2021	94,2	4,71	9,42	14,13
2022	127,6	6,38	12,76	19,14
2023	114,3	5,72	11,43	17,15
2024	107	5,32	10,7	16,05

Шелуха ячменя и пшеницы является перспективным источником целлюлозы, обладающей широким спектром применения в различных отраслях.

Таблица 2

Химический состав шелухи пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и ячменя (*Hordeum vulgare* L.)

Компонент	Шелуха пшеницы, % от сухой массы	Шелуха ячменя, % от сухой массы
Целлюлоза	35 – 45	30 – 40
Гемицеллюлозы	20 – 30	25 – 35
Лигнин	12 – 18	10 – 16
Зола	4–8	5–9
Кремнезём (SiO ₂)	3–6	4–7
Экстрактивные вещества	5–10	4–8
Белки	2–4	2–5

Компонент	Шелуха пшеницы, % от сухой массы	Шелуха ячменя, % от сухой массы
Липиды	1–2	1–2
Фенольные соединения	0,5–1,5	0,8–2,0
Прочие компоненты	3–7	4–8
Пектиновые вещества	1–2	1–3
Минеральные элементы (K, Ca, Mg)	1–3	1–4

Таким образом, исходя из данных таблицы 2 можно сделать следующее заключение:

- высокое содержание целлюлозы (30–45 %) подтверждает целесообразность использования отходов зерна в качестве сырья для целлюлозно-бумажной промышленности;
- значительная доля гемицеллюлоз (20–35 %) открывает возможности для получения ксилита, фурфурола и других биопродуктов;
- содержание лигнина (10–18 %) позволяет рассматривать его как побочный продукт для производства биополимеров и топливных брикетов.

Переработка этих отходов в ценные продукты, такие как целлюлоза, уменьшает негативное воздействие на окружающую среду и создает новые экономические возможности. Исследования демонстрируют, что целлюлоза, извлеченная из растительных отходов, может обладать характеристиками, сопоставимыми с целлюлозой из древесины. В частности, она отличается высокой прочностью и пригодностью для механической переработки, что открывает возможности ее применения в самых разных отраслях [1].

Существуют различные методы извлечения ценных продуктов из шелухи злаковых культур:

- механическое измельчение позволяет существенно уменьшить размер частиц и увеличить площадь поверхности;
- химические процессы, такие как использование гидроксида натрия и серной кислоты;
- применение ферментов, таких как целлюлаза и лиголизующие ферменты [2] и другие.

Наиболее перспективным является – ораносольвный метод с использованием менее агрессивных растворителей, а также получая лигнин, который могут быть использованы, например, для получения полимеров. В сравнении с другими методами – выход продукта составляет 60–70 %.

Полученная целлюлоза имеет широкий спектр применения: производство бумаги и картона; биоматериалы; текстильная промышленность; строительство; фармацевтика [3].

Переработка шелухи в целлюлозу способствует повышению рентабельности сельскохозяйственного производства. Ожидается, что до 2026 года рынок целлюлозы вырастет на 7 % в год, при этом значительная часть будет приходиться именно на переработку сельскохозяйственных отходов [4].

Переработка зерновых отходов в целлюлозу является стратегически важным направлением для диверсификации сырьевой базы целлюлозно-бумажной промышленности России, снижения зависимости от импортного сырья и древесных ресурсов, а также для реализации принципов циркулярной экономики и «безотходного сельского хозяйства».

Развитие данного технологического направления будет способствовать повышению рентабельности агросектора, созданию новых стоимостных цепочек и снижению экологической нагрузки, что соответствует глобальным трендам устойчивого развития и формированию конкурентоспособной национальной биоэкономики.

Список литературы

1. Ходжакулыева О.Р. Бактериальная целлюлоза: получение и применение Молодежная наука: инновации и технологии: сборник материалов региональной научно-практической конференции, Великий Новгород, 12 мая 2022 года. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2022. – С. 254-257.
2. Момзякова К.С. Совершенствование технологии получения целлюлозы из травянистых растений: специальность 05.17.06 «Технология и переработка полимеров и композитов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Момзякова К.С., 2021. – 150 с.
3. Коньшин В.В., Афаньков А.Н., Серских И.А., Воробьева Е.А., Гущина Е.Н., Ефанов М.В. Получение микрокристаллической целлюлозы и продуктов на

ее основе экструзионным методом Химия и технология растительных веществ: Тезисы докладов XIII Международной научной конференции со школой молодых ученых, Сыктывкар, 28 мая – 01 2024 года. – Киров: ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2024. – С. 101.

4. Agricultural production statistics (2000–2021) / [Электронный ресурс]// <https://www.fao.org/>: [сайт]. — URL: [https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/New-FAOSTAT-data-release-Agricultural-production-statistics-\(2000-2021\)/en](https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/New-FAOSTAT-data-release-Agricultural-production-statistics-(2000-2021)/en) (дата обращения: 21.03.2025).

Получение диоксида титана из кварц-лейкоксового концентрата

Кузин Е. Н.

Заведующий кафедрой промышленной экологии

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Аннотация: титанат магния – продукт совместной пирометаллургической переработки кварц-лейкоксового концентрата и бруситсодержащего отхода производства периклаза. Сульфатизация титаната магния с последующим селективным осаждением при pH 3–5 позволяет получать диоксид титана технической чистоты и высококонцентрированные растворы сульфата магния.

Ключевые слова: кварц-лейкоксовый концентрат, титанат магния, диоксид титана

Введение

Поиск новых источников минерального сырья – крайне актуальная задача. Широкий спектр некондиционного титансодержащего сырья в настоящее время не имеет экономически обоснованной технологии его переработки и приобретает статус «отхода».

Одним из наиболее ярких примеров подобных отходов является кварц-лейкоксовый песчаник и получаемый на его основе кварц-лейкоксовый концентрат (далее КЛК). Запасы КЛК в настоящее время оцениваются более чем в 250 млн тонн и уступают только запасам месторождения Атабаска (Канада). Несмотря на высокое содержание соединений титана (до 50 % масс.), особенности минералогического состава (глубокая степень взаимного прорастания зерен кварца в рутил) существенно снижают его потенциал [1-2].

КЛК не подвергается сульфатизации в стандартных для ильменита условиях, а процессы селективного хлорирования экономически нецелесообразны ввиду перерасхода хлора на образование примесного, относительно дешевого и низкосортного тетраоксида кремния.

Целью данной работы является презентация концепт-технологии получения диоксида титана из титаната магния – продукта пирометаллургической переработки смеси КЛК и бруситсодержащего отхода производства периклаза.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследований выбран кварц-лейкоксеновый концентрат Ярегского нефтетитанового месторождения, представляющий собой смесь: 51 % SiO_2 , 42 % TiO_2 и до 7 % примесей оксидов кальция, алюминия и железа. Бруситсодержащий отход содержит порядка 75 % MgO , а также примеси диоксида кремния, оксидов железа, алюминия и кальция.

Для определения содержания металлов в кислых и нейтральных растворах применяли атомно-эмиссионный спектрометр с магнитной плазмой «Спектроскай» (ГК «Скайград», г. Королев, Россия).

Фазовый состав получаемого осадка определяли на рентгеновском дифрактометре TDM-10 (Dandong Tongda Science & Technology Co., Ltd. Dandong, China).

Результаты и их обсуждение

Фазовый состав исходного титаната магния, полученного пирометаллургической (1350 °C, 4 часа) обработкой смеси КЛК и бруситсодержащего отхода представлен на дифрактограмме 1 [3].

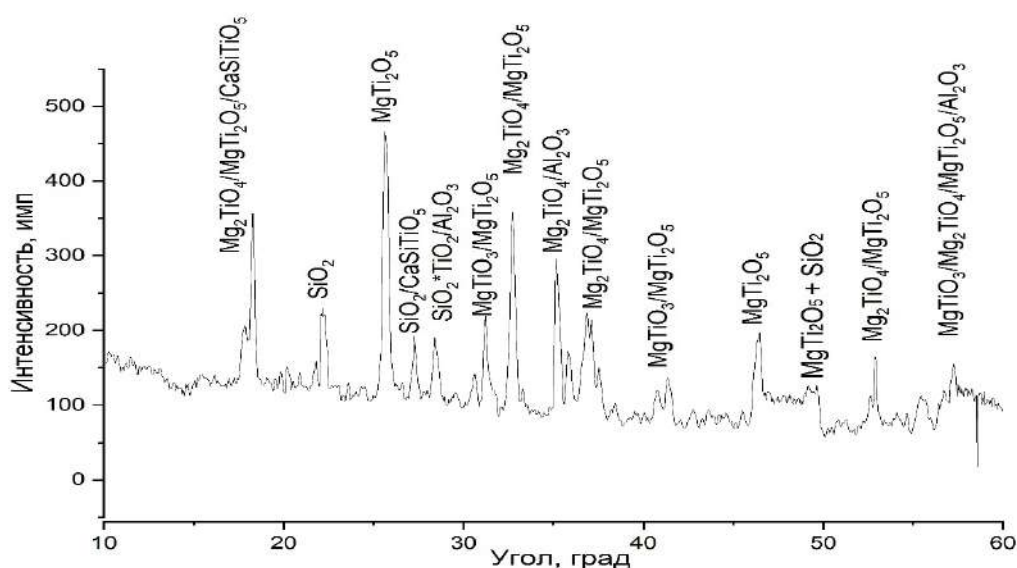
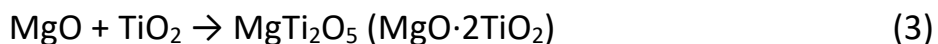


Рис. 1. Дифрактограмма продукта пирометаллургической переработки смеси КЛК и бруситсодержащего отхода

Из данных дифрактограммы 1 хорошо видно, что в процессе пирометаллургической переработки образуется смесь трех титанатов магния с примесью непрореагировавших оксидов алюминия, железа и кальция. Данные превращения описываются реакциями 1–3.



Полученный титанат магния сульфатизировали 60 %-ной серной кислотой в течение 4 часов. Полученный раствор представлял собой смесь непрореагировавшей серной кислоты, сульфатов магния и титана в количестве 21 г/дм³, 132 г/дм³ и 64 г/дм³ соответственно. Полученную смесь нейтрализовали 10 %-ным гидроксидом натрия (Иономер И-160) и определяли концентрацию титана и магния. В качестве образцов сравнения использовали индивидуальные растворы сульфатов титана или магния эквивалентных концентраций. Результаты эксперимента представлены на графике 2.

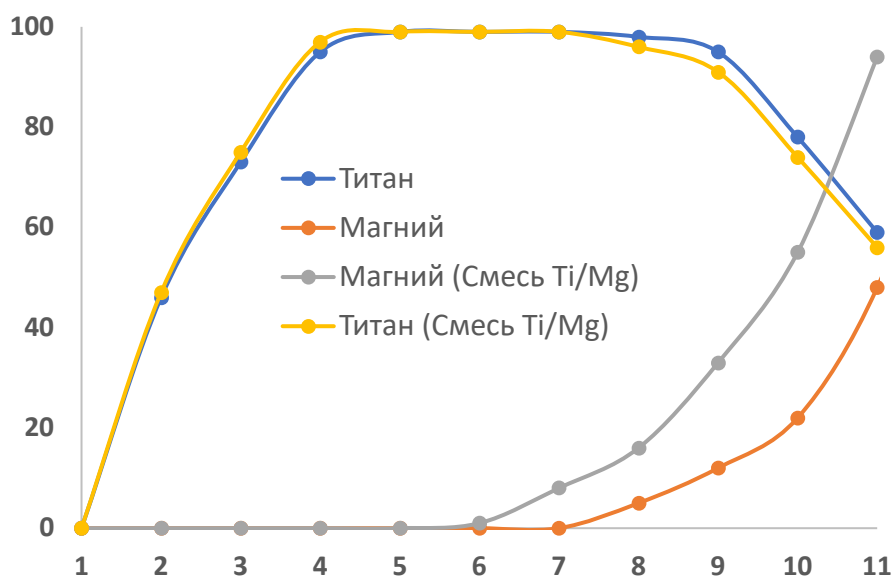


Рис. 2. Влияние pH на степень осаждения металлов из раствора

Из данных графика хорошо видно, что соединения титана в зоне слабокислых значений pH могут быть селективно выделены из сернокислых растворов переработки титанатов магния. Полученный осадок метатитановой кислоты термообработывали в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы.

Конечный продукт - диоксид титана (анатазная модификация) содержал менее 1 % примесей соединений магния и соответствовал классификации «х.ч.». Поверхностные характеристики выделенного из сернокислых растворов сульфатизации титанатов магния диоксида титана представлены в таблице 1.

Таблица 1

Поверхностные характеристики диоксида титана

TiO ₂ золь-гель	Sуд, м ² /г	VΣ, см ³ /г	D, нм
	256	0,156	3,31

Как видно из представленных в таблице 1 данных, полученный диоксид титана обладает развитой поверхностью и, вероятно, может быть использован в качестве пигмента для строительных материалов или сорбционного материала/фотокатализатора для процессов инженерной защиты окружающей природной среды.

Заключение

На основании полученных в рамках работы данных установлена возможность получения сернокислых растворов переработки титанатов магния – продуктов пирометаллургической обработки кварц-лейкоксового концентрата в присутствии бруситсодержащего отхода. Увеличение pH раствора до значений 3,0-5,0 позволяет эффективно и с высокой селективностью выделять из раствора мета- и ортотитановые кислоты, которые при термообработке переходят в диоксид титана. Поверхностные характеристики получаемого продукта свидетельствуют о возможности его применения для производства строительных материалов или реагентов (сорбентов/катализаторов) для процессов инженерной защиты окружающей природной среды.

Автор выражает благодарность научному руководителю д.т.н., проф. Кручиной Наталии Евгеньевне

Список литературы

1. Perovskiy I.A., Burtsev I.N., Ponaryadov A.V., Smorokov A.A. Ammonium fluoride roasting and water leaching of leucoxene concentrates to produce a high grade titanium dioxide resource (of the Yaregskoye deposit, Timan, Russia) // Hydrometallurgy. 2022. Vol. 210. № 105858.
2. Заблוצкая Ю.В., Садыхов Г.Б., Олюнина Т.В., Гончаренко Т.В. Перспективы развития Ярегского месторождения как источника получения искусственного рутила и волластонита // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2015. № 9. С. 12-15.
3. Кузин Е.Н. Оценка возможности использования лейкоксен-кварцевого концентрата в качестве сырья для получения титанатов алюминия и магния /

Е. Н. Кузин, И. Г. Мокрушин, Н. Е. Кручинина // Записки Горного института. – 2023. – Т. 264. – С. 886-894.

Аспекты экологической безопасности перехода от традиционной к MGL-технологии применения СОЖ при механической обработке металлов

Маврин Г. В.

Доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Инюшева А. А.

Аспирант

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Смирнова Н. Н.

Доцент

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Аннотация: в статье рассматривается переход от традиционной подачи смазочно-охлаждающей жидкости к технологии минимального количества смазки на основе рапсового масла с нанодобавками. Полученные результаты подтверждают экологические, технологические и экономические преимущества предложенного подхода, а также его соответствие принципам зелёной химии. Предложенная композиция рекомендуется для промышленного внедрения

Ключевые слова: MQL-технология, смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), рапсовое масло, экологическая безопасность, механическая обработка металлов, зелёная химия

MGL (Metalworking Lubrication Generation) технологии для механической обработки металлов представляют собой качественно новое поколение смазочно-охлаждающих материалов и систем их подачи, разработанных в соответствии с принципами «зелёной химии», экологической безопасности и максимальной производственной эффективности [1]. Экологическая привлекательность MGL-технологий обусловлена комплексом взаимосвязанных преимуществ, охватывающих как непосредственное воздействие на рабочую среду, так и долгосрочные последствия для окружающей природной среды: снижение загрязнения рабочей зоны, уменьшение объёмов отходов, безопасность для персонала, экономия ресурсов [2].

Результаты сравнительного анализа по ключевым параметрам экологической безопасности, технологической эффективности и экономической привлекательности приведены в таблице 1 [3,4].

MGL-технологии демонстрируют убедительное превосходство по всем ключевым экологическим параметрам при сопоставимой или более высокой технологической эффективности. Их внедрение обеспечивает одновременное решение экологических, санитарно-гигиенических и экономических задач металлобрабатывающих предприятий.

Таблица 1

Сравнительный анализ традиционных СОЖ и MGL-технологий по ключевым параметрам

Параметр сравнения	Традиционные СОЖ	MGL-технологии
Токсичность состава	Высокая; содержат нефтяные фракции, биоциды, хлорсодержащие EP-присадки	Низкая; биоразлагаемые эстеры, растительные масла, безопасные добавки
Аэрозольное загрязнение	Значительное при традиционной подаче струёй	Минимальное; системы MQL/масляного тумана снижают эмиссию на 80–95%
Объём отходов	Большие объёмы отработанной эмульсии, шламы	Минимальные отходы; биodeградируемые остатки
Утилизация	Сложная и дорогостоящая; требует специализированных установок	Простая; допускается биологическая очистка и компостирование
Расход жидкости	20–100 л/мин при наводнении	5–50 мл/ч при MQL-подаче
Риск для персонала	Дерматиты, пневмония, снижение иммунитета	Минимальный при соблюдении регламентов
Стойкость инструмента	Базовый уровень	Повышение на 20–60% за счёт наночастиц и EP-присадок
Инновационный потенциал	Ограниченный; консервативные формуляции	Высокий; самовосстановление, адаптивность, интеграция с IoT

Целью настоящей работы является разработка и научное обоснование формуляции смазочно-охлаждающей жидкости типа MQL на основе рапсового масла с добавлением наночастиц TiO_2 и Al_2O_3 , ингибиторов коррозии и поверхностно-активных веществ для применения при механической обработке металлов. В рамках исследования предполагается оценить экологическую, технологическую и экономическую эффективность предложенной композиции в сравнении с традиционной подачей СОЖ. Особое внимание уделяется подтверждению возможности перехода металлообрабатывающих предприятий на экологически безопасную технологию MQL на основе комплексного научного обоснования.

Разработанная MQL-композиция на основе рапсового масла с добавлением наночастиц TiO_2 и Al_2O_3 , ингибиторов коррозии и поверхностно-активных веществ обладает универсальностью и может применяться в широком спектре операций механической обработки металлов.

Эффективность данной рецептуры обусловлена сочетанием граничной смазки, обеспечиваемой рапсовым маслом, повышенной теплопроводности и трибологической активности нанодобавок, а также устойчивостью аэрозольного потока, формируемой за счёт ПАВ.

Наибольший эффект достигается в тех процессах, где основными ограничивающими факторами выступают интенсивное тепловыделение, высокие контактные давления и трение в зоне контакта инструмента и заготовки. В этих условиях MQL позволяет одновременно снижать термическую нагрузку, уменьшать износ инструмента и улучшать качество обработанной поверхности.

Перечень рекомендуемых обрабатываемых материалов с применением данной СОЖ по технологии MQL: конструкционные (45, 40Х) и нержавеющие (12Х18Н10Т) стали, а также чугун. Рекомендуемые виды обработки: токарная обработка, фрезерование, сверление, резбонарезание, шлифование.

Рецептура не рекомендуется для высокоскоростной обработки при $v > 500$ м/мин, поскольку аэрозоль может испаряться или диспергироваться до достижения зоны резания. Также её применение ограничено операциями, где требуется интенсивный отвод стружки и водяное охлаждение, например при глубоком сверлении без подачи через шпиндель ($L/D > 10$). Не рекомендуется использовать данную композицию при обработке магниевых сплавов ввиду потенциальной пожарной опасности, связанной с масляным аэрозолем.

Корректная оценка экологической безопасности перехода с традиционных СОЖ на MGL-технологии требует применения комплексной методологии [5], охватывающей весь жизненный цикл продукта — от добычи сырья до утилизации отработанной жидкости. Ключевыми методическими инструментами и показателями для оценки результатов перехода являются: LCA — Анализ жизненного цикла, включая расход при эксплуатации, регенерацию и утилизацию, аэрозольный мониторинг рабочей зоны, токсикологическое тестирование, экономическая оценка, биоразлагаемость, экологический аудит.

Результаты расчета экологической безопасности подтверждает высокую природоохранную эффективность предлагаемой MQL-рецептуры на основе рапсового масла с нанодобавками TiO_2 и Al_2O_3 , ингибиторами коррозии и ПАВ (таблица 2).

Таблица 2

Сводная таблица результатов расчёта экологического эффекта

Показатель	Традиционная СОЖ	MQL-рецептура (рапсовое масло + TiO_2 + Al_2O_3)	Снижение / Эффект
Расход СОЖ на 1 станок	5–20 л/мин (~50 000 л/год)	10–100 мл/ч (~500 л/год)	↓95–99%
Объём отходов на 1 станок в год	~50 000 л/год (III–IV кл. опасности)	~500 л/год (биоразлагаемые)	–49 500 л/год (↓99%)
Объём отходов на 10 станков в год	~500 000 л/год	~5 000 л/год	–495 000 л/год
Концентрация масляного тумана	2–5 мг/м ³ (выше ПДК)	0,3–0,8 мг/м ³ (ниже ПДК)	↓70–85%
Выбросы летучих органических соединений (VOC)	Высокий уровень	Минимальный уровень	↓70–85%
Нагрузка на очистные сооружения	Высокая (эмульсии, масла)	Практически отсутствует	↓80–90%

Углеродный след (CO ₂ -эквивалент)	Высокий (нефтехимическая основа)	Низкий (возобновляемая основа)	↓40–60%
Класс опасности отходов	III–IV (требует специализации)	V (биоразлагаемые)	Снижение класса опасности

Таким образом, рассчитанный экологический эффект подтверждает высокую природоохранную безопасность и экономическую эффективность предлагаемой MQL-рецептуры на основе рапсового масла с нанодобавками TiO₂ и Al₂O₃, ингибиторами коррозии и ПАВ. Полученные значения свидетельствуют о значительном снижении отходообразования, атмосферных выбросов и эксплуатационных затрат, что в совокупности обосновывает практическую целесообразность внедрения данной технологии в промышленной металлообработке.

Экономический эффект перехода от традиционной системы обильной подачи СОЖ к технологии минимального количества смазки (MQL) на основе рапсового масла с добавлением порошков TiO₂, Al₂O₃, ингибиторов коррозии и ПАВ определяется как совокупность прямых и косвенных затрат, связанных с эксплуатацией металлообрабатывающего оборудования. Цель данного расчёта состоит в экономическом обосновании внедрения рассматриваемой рецептуры не только с позиции экологической безопасности, но и с позиции производственной целесообразности (таблица 3).

Таблица 3

Сравнение годовых затрат на СОЖ (на 1 станок, 2025 г.)

Показатель	Традиционная СОЖ	MQL-рецептура	Экономия
Цена жидкости	120–180 руб/л	2 200–2 300 руб/л	—
Годовой расход	~50 000 л/год	~500 л/год	—
Затраты на жидкость	6 000 000–9 000 000 руб/год	1 100 000–1 150 000 руб/год	4 850 000–7 850 000 руб/год
Утилизация отходов (III–IV кл. опасности)	250 000–750 000 руб/год	8 000–20 000 руб/год	230 000–730 000 руб/год

Обслуживание системы подачи	180 000–350 000 руб/год	40 000–70 000 руб/год	110 000–280 000 руб/год
Очистка сточных вод	120 000–300 000 руб/год	0–15 000 руб/год	105 000–285 000 руб/год
ИТОГО	6 550 000–10 400 000 руб/год	1 148 000–1 255 000 руб/год	5 295 000–9 145 000 руб/год

Сопоставление годовых затрат показывает, что даже при более высокой цене литра MQL-рецептуры ее суммарная стоимость эксплуатации остается существенно ниже, чем у традиционной СОЖ. Основным экономический выигрыш обеспечивается резким сокращением расхода жидкости, а также уменьшением затрат на утилизацию, обслуживание и водоочистку.

Переход к технологии MQL на основе рапсового масла с нанодобавками всесторонне обоснован с экологической, технологической и экономической точек зрения. Предложенная рецептура соответствует принципам зеленой химии и требованиям охраны труда. Полученные результаты формируют научную основу для разработки отраслевых стандартов экологически безопасной металлообработки.

Список литературы

1. Wang X., Li C., Zhang Y. et al. Vegetable oil-based nanofluid minimum quantity lubrication turning: academic review and perspectives // Journal of Manufacturing Processes. — 2020. — Vol. 59. — P. 76–97. — DOI: 10.1016/j.jmapro.2020.09.044.
2. Zhang Y., Li C., Jia D. et al. Effects of physicochemical properties of different base oils on friction coefficient and surface roughness in MQL milling AISI 1045 // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology. — 2021. — Vol. 8. — P. 1629–1647. — DOI: 10.1007/s40684-021-00318-7.
3. Gao T., Li C., Zhang Y. et al. Tribological performance of different concentrations of Al₂O₃ nanofluids on minimum quantity lubrication milling // Chinese Journal of Mechanical Engineering. — 2023. — Vol. 36. — Art. 11. — DOI: 10.1186/s10033-022-00830-0.
4. Dambatta Y.S., Li B., Zhang Y. et al. Tribological evaluation of Al₂O₃/GO/ZnO tripartite hybrid based nanofluid for grinding Ti-6Al-4V alloy with minimum

quantity lubrication // Frontiers of Mechanical Engineering. — 2025. — Vol. 20. — Art. 1. — DOI: 10.1007/s11465-024-0817-z.

5. Gelaneh T., Cheneke S., Asefa B. An experimental study on Avocado oil-based TiO₂ cutting fluid for Minimum Quantity Lubrication in milling of AISI 4130 steel // Springer Science and Business Media LLC. — 2025. — DOI: 10.21203/rs.3.rs-7137059/v1.

О возможности применения отхода от переработки макулатуры – целлюлозы в строительной отрасли в качестве теплоизолирующего материала

Мифтахов М. Н.

Доцент

Набережночелнинский институт (филиал) Казанского федерального (Приволжского) университета, г. Набережные Челны

Аннотация: проанализированы сведения по использованию отхода от переработки макулатуры в качестве сорбционных, конструкционных теплоизоляционных материалов. Проведены исследования механических свойств и рассчитаны коэффициенты теплопроводности песчаноцементных блоков. Сделан вывод, что скопосодержащие песчаноцементные блоки обладают малой теплопроводностью и могут применяться в качестве теплоизоляционных материалов для производства конструкционных строительных изделий.

Ключевые слова: отходы от переработки макулатуры, скоп, скопосодержащий песчаноцементный блок, теплопроводность

В настоящее время все большее внимание уделяется переработке отходов производства с целью вовлечения их в производство новой полезной для строительной отрасли, продукции. Одним из видов отхода картонно-бумажного производства при переработке макулатуры является скоп – целлюлозосодержащий отход, количество которого вызывает проблемы с его размещением [1, 2].

Трудность утилизации скопа заключается его высокой влажности и повышенного содержания слишком коротких целлюлозных волокон [3]. Данный вид отхода также может негативно влиять на водные объекты [4].

Скоп нашел свое применение в основном в производстве строительных материалов, в том числе известно применение скопа в качестве материала для производства волокнистых теплоизоляционных плит [5-7].

Утилизация отхода от переработки макулатуры – целлюлозы (скопа), содержащего органическую часть, также может быть проведена при помощи пиролизного процесса, при котором можно получить целый ряд продуктов пиролиза – от газов до твердого вещества, которые в свою очередь, являются ценными полупродуктами в других отраслях промышленности [8].

Важным аспектом применения скопа является использование его в качестве конструкционных строительных материалов [9]. Так как в скопе присутствует органическая часть, энергетически выгодно термическое обезвреживание скопа [10].

Учитывая тот факт, что при термической обработке скоп способен терять часть своего объема, он может быть использован в качестве выгорающей добавки в исходные смеси при производстве пористых строительных изделий [11–13].

Кроме того, продукты переработки скопа могут быть использованы в качестве сорбентов тяжелых металлов [14,15].

С целью дальнейшего расширения сферы применения скопа в строительной отрасли, были изучены теплопроводные свойства изделий из скопа. Так, были изготовлены несколько образцов скопосодержащих песчаноцементных блоков (с размерами 100x100x100 мм) и определены их прочностные свойства и определены коэффициенты теплопроводности. Компоненты смешивали в определенной пропорции, добавляли воду при перемешивании до определенной консистенции и заполняли полученным пластичным составом стандартную разборную металлическую форму. Полученные образцы сушили при комнатной температуре в течение 72 часов. Механическую прочность определяли на приборе МСМ-01-09. Далее, на основании зависимости коэффициента теплопроводности от плотности материала рассчитаны соответствующие коэффициенты теплопроводности. Методика расчета коэффициента теплопроводности приведена в [16].

Наряду со скопом в качестве армирующего компонента использовали опилки древесные (фракция 2-4 мм). Замечено, что увеличение содержания скопа приводит к уменьшению плотности, что в конечном итоге отражается в улучшении теплоизолирующей способности материала.

В таблице представлены данные по плотностям, прочности и теплопроводности образцов. Соотношение компонентов цемент: ПГС: опилки: скоп представлены в массовых долях.

Для сравнения, коэффициент теплопроводности кирпича керамического полнотелого находится в пределах 0.81–0.87 Вт/м*°С, что значительно выше коэффициентов теплопроводности, предлагаемых к применению песчаноцементных блоков с добавлением скопа [16].

Состав и показатели песчаноцементных образцов, содержащих скоп

№ образца	Соотношение компонентов, масс. Доля				Плотность, г/см ³	Прочность, кгс/см ²	Теплопроводность, Вт/м*°С
	цемент	ПГС	опилки	скоп			
1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,75	106,25	0,26
2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,57	68,30	0,19
3	0,25	0,25	-	0,5	0,70	79,38	0,24
4	0,33	0,33	-	0,34	0,83	187,50	0,34
5	0,31	0,31	0,07	0,31	0,92	187,50	0,47
6	0,48	0,24	0,04	0,24	0,73	250,00	0,50
7	0,27	0,27	0,06	0,4	0,68	200,00	0,24

Таким образом, проведенные исследования по изучению теплофизических свойств скопосодержащих изделий свидетельствуют об удовлетворительных теплопроводных свойствах песчаноцементного блока с теплоизоляционным наполнителем из скопа, следовательно, такие изделия могут быть востребованы в энергосберегающей строительной индустрии.

Список литературы

1. Trends and Current Status of the Contribution of the Forestry Sector to National Economies". Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2004. Retrieved 21 September 2007: сайт. - URL: [https://www.yandex.ru/search/?text=Trends+and+Current+Status+of+the+Contribution+of+the+Forestry+Sector+to+National+Economies%22.+Food+and+Agriculture+Organization+of+the+United+Nations+\(FAO\).+2004.+Retrieved+21+September+2007&lr=236](https://www.yandex.ru/search/?text=Trends+and+Current+Status+of+the+Contribution+of+the+Forestry+Sector+to+National+Economies%22.+Food+and+Agriculture+Organization+of+the+United+Nations+(FAO).+2004.+Retrieved+21+September+2007&lr=236) (дата обращения 26.03.2026).
2. Wastes – Resource Conservation – Common Wastes & Materials – Paper Recycling". US EPA". Epa.gov. 2006-06-28. Archived from the original on 9 May 2013. Retrieved 2014-06-09: сайт. – URL: <http://www.epa.gov/osw/conserves/materials/paper/basics/index.htm> (дата обращения 26.03.2026).
3. Аким Э.Л. и др. Технология обработки и переработки целлюлозы, бумаги и картона. Л., 1977.

4. Алексеева Т.Н. Оценка и анализ техногенного воздействия целлюлозно-бумажного предприятия на природные водные объекты: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 25.00.36 / Рос. гос. гидрометеорол. ун-т (РГГМУ). - Санкт-Петербург, 2003. - 22 с.
5. Козлов И.А. Новые конструкционно-теплоизоляционные материалы на основе скопа-отхода целлюлозно-бумажной промышленности: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.23.05 / Козлов Игорь Алексеевич; [Место защиты: Юж.-Ур. гос. ун-т].- Челябинск, 2008. - 21 с.: ил.
6. Строительные материалы/ Под ред. В.Г. Микульского. – М.: АСВ, 2000. – 537с.
7. Охотина Е. В. Технология получения волокнистых плит из волокносодержащих осадков сточных вод целлюлозно-бумажного производства: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.21.03. – Санкт-Петербург, 1992. – 18 с.: ил.
8. Мифтахов М.Н., Ахметов И.Р. Перспективы утилизации СКОПа – отхода картонно-бумажного производства. Международное научное периодическое издание по итогам международной научно-практической конференции 14 ДЕКАБРЯ 2015 г. «НОВАЯ НАУКА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД», Стерлитамак, РФ, РИЦ АМИ, 2015. – С. 26-27.
9. Плотникова С.В. Экологически безопасные ограждающие конструкции жилых зданий. ПРОБЛЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО БИОСФЕРНО-СОВМЕСТИМОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ, ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ И ДОРОЖНОМ КОМПЛЕКСАХ. Материалы 4-й международной научно-практической конференции, посвященной 55-летию строительного факультета и 85-летию БГИТУ. Том 2. 2015. С. 129-134).
10. Ширинкина Е.С., Айтжанова У.М. Переработка скопа, образующегося в технологическом процессе картонно-бумажного производства. EUROPEAN SCIENCE. 2016. № 2 (12). С. 13-16.).
11. Радыгин Р.В. Исследование возможности применения скопа, образующегося в технологическом процессе производства целлюлозно-бумажной продукции, в качестве выгорающей добавки к полнотелому керамическому кирпичу. EUROPEAN SCIENTIFIC CONFERENCE. Сборник статей VIII Международной научно-практической конференции: в 3 ч. Том Часть 1. 2018, С. 109-116.

12. Залыгина О.С., Латош Е.С. Использование скопа в качестве выгорающей добавки при производстве керамического кирпича. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА. Материалы 85-ой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск, 2021, С. 170 – 172.
13. Богданова А.А., Залыгина О.С. ХИМИЯ И ЖИЗНЬ. Сборник XXII Международной научно-практической студенческой конференции. Новосибирск, 2023. С. 484 – 491.
14. Мифтахов М.Н., Махнюк Д.В., Яровикова Д.А. О возможности применения скопа в качестве сорбента тяжелых металлов. ПРОРЫВНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ДВИГАТЕЛЬ НАУКИ. сборник статей Международной научно-практической конференции. Том Часть 2. 2019. С. 105 – 107.
15. Мифтахов М.Н., Махнюк Д.В. Исследование сорбционных свойств модифицированных сорбентов, полученных из отходов целлюлозно-бумажной промышленности – скопа. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ: ИССЛЕДОВАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ. 2020, № 3 (86), С. 21-28.
16. Основные свойства строительных материалов: сайт.- URL: <https://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/Stroy-Mat/mmaterials/MainProperties.pdf> (дата обращения 26.03.2026).

Отраслевые утилизаторы в промышленных симбиозах как региональные центры по утилизации промышленных отходов

Михрабов А. И.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»

Тихонова И. О.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»

Аннотация: промышленные отходы, образованные в ходе производственной деятельности различных предприятий, множество из которых объединены в промышленные симбиозы, составляют основную массу всех образованных отходов в регионе. Их интеграция в производственный оборот при помощи размещения утилизатора на месте их образования имеет первостепенное значение с точки зрения развития экономики замкнутого цикла в регионе.

Ключевые слова: промышленных отходы, промышленный симбиоз, утилизация отходов, экономика замкнутого цикла

Структура промышленности в Российской Федерации сильно различается в зависимости от региона и существующей в нём сырьевой базы, однако промышленные отходы составляют основную часть образованных отходов любого субъекта. Для развития отрасли по обращению с отходами регионы утвердили собственную Территориальную схему в области обращения с отходами, в которой указаны целевые показатели, основные характеристики образуемых отходов производства и потребления, существующие мощности утилизации, крупнейших отходообразователей и тд [1]. Крупнейшими отходообразователями чаще всего являются промышленные лидеры региона, концентрирующие вокруг себя более мелкие предприятия или же находящиеся в непосредственной близости друг от друга.

Подобное расположение предприятий позволяет говорить о них как о потенциальных промышленных симбиозах. Промышленный симбиоз

представляет собой совокупность трех и более разных предприятий, имеющих между собой не менее двух ресурсно-товарных потоков [2, 3]. При возникновении такого взаимодействия создается единая промышленная экосистема, направленная на повышение ресурсо- и энергоэффективности производства, а также на улучшение экономической модели каждого предприятия-участника.

Промышленный симбиоз рассматривается как эффективный инструмент экономики замкнутого цикла [4]. Одним из перспективных видов взаимодействия в промышленном симбиозе является утилизация образованных предприятиями промышленных отходов с целью получения вторичных ресурсов для повторного их использования в производственном цикле в качестве сырья.

Промышленный симбиоз интересен тем, что участвующие в нем предприятия чаще всего относятся к одной или же к схожим отраслям промышленности, благодаря чему образуемыми предприятиями группы отходов будут если не одинаковы, то подобны. Такой подход позволяет разделить образуемые в промышленном симбиозе отходы на малотоннажные и крупнотоннажные отходы.

Под крупнотоннажными отходами подразумеваются отходы, образованные в ходе производственной деятельности, количество которых во много раз превышает количество целевых продуктов при добыче, обогащении и использовании [5]. В зависимости от количества отходов по видам, границу группы крупнотоннажных отходов следует устанавливать на отметках не менее 300, 500 или 1000 т/год. Подобное деление позволяет отсеять малотоннажные группы отходов, которые на первом этапе реализации утилизатора в промышленном симбиозе перерабатывать экономически невыгодно.

Одним из ключевых аспектов утилизации крупнотоннажных отходов является возможность их использования в качестве вторичных ресурсов. Вовлечение крупнотоннажных отходов в хозяйственный оборот, представляющих собой вторичные ресурсы, на уровне региона рассматривается как перспективное направление развития экономики замкнутого цикла, направленную на минимизацию образования отходов, передаваемых на захоронение и максимальное использование вторичных ресурсов в производстве [6].

Вовлечение вторичных ресурсов позволяет экономить потребление полезных ископаемых, предотвращает деградацию экосистем, связанную с накоплением и захоронением отходов. Многие виды отходов представляют собой ценные вторичные ресурсы для дальнейшего создания вторичного сырья, которое

можно использовать наравне с первичным. Повышение доли вторичного сырья в составе продукции может ограничиваться технологическим регламентом и рентабельностью, ключевую роль в которой играет логистика.

В таблице 1 представлен краткий перечень отходов, образующихся на предприятиях химической отрасли, и потенциально относящихся к вторичным ресурсам.

Таблица 1

**Виды отходов, образующихся на предприятиях химической отрасли –
потенциальных вторичных ресурсов**

Вид отхода	Вторичный матери- альный ресурс	Вторичный энер- гетический ресурс
Стекло	+	
Текстиль	+	+
Цветные металлы	+	
Бумага и картон	+	+
Древесина	+	+
Пластмассы	+	
Резинотехнические изделия	+	+
Нефтедержащие отходы		+

Одним из ключевых ограничений вовлечения крупнотоннажных отходов является расстояние между источником образованием отходов и местом их утилизации. Связано это в первую очередь с экономической целесообразностью транспортировки и высоким углеродным следом логистических операций. Обустройство утилизатора в непосредственной близости с крупными отходообразователями, зачастую являющимися также потребителями полученных вторичных ресурсов, позволяет решить данную проблему и снизить логистические затраты до минимума.

Поскольку промышленный симбиоз, как говорилось ранее, достаточно часто объединяет в себе одну или схожие отрасли промышленности, то размещенный в нем утилизатор на первое время может рассматриваться как «отраслевой», поскольку будет решать проблемы по вовлечению отходов конкретной отрасли в производственный оборот. Обустройство подобных утилизаторов особенно актуально в промышленных симбиозах предприятий

нефтехимической и химической отрасли, которые относятся к крупнотоннажным производствам и в которых отходы одного производства могут являться ресурсом для другого.

Одним из приоритетных направлений развития нефтехимического и химического комплекса является техническое перевооружение, модернизация и создание новых экономически эффективных, ресурсо- и энергосберегающих производств, использующих в производстве вторичные ресурсы и вторичное сырье.

Основными крупнотоннажными группами отходов нефтехимической и химической отрасли являются нефтесодержащие отходы, отработанные масла, отходы пластмасс и резинотехнические изделия, и шины [7]. Основные получаемые вторичные продукты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные получаемые вторичные продукты из отходов химической и нефтехимической промышленности

Группа отходов	Получаемый продукт
Нефтесодержащие отходы	технический углерод, пиролизное топливо
Отработанные масла	регенерированное масло
Пластмассы	вторичный гранулят
Резинотехнические изделия и шины	крошка резиновая

Полученная из отходов продукция может как повторно использоваться на производстве, так и быть товарной продукцией.

Создание единого утилизатора (Экотехнопарка) на территории промышленного узла предприятий нефтехимической и химической промышленности выгодно, в первую очередь, с экономической точки зрения. Предприятия-участники смогут получать из отходов собственного производства вторичные ресурсы, используемые на своем производстве или же товарного продукта, направляемого на продажу. Данная стратегия позволит диверсифицировать часть экономических потоков, снизить расходы как на передачу отходов на утилизацию, так и на закупку сырья, уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и оптимизировать логистику обращения с отходами.

Немаловажным фактором является потенциальное масштабирование утилизатора с увеличением мощности производства, что позволит утилизировать помимо отходов предприятий конкретного промышленного узла также сходные отходы иных предприятий.

Таким образом, размещение утилизатора в промышленном узле позволит вовлекать в производственный цикл большое количество вторичного сырья, полученного из отходов производства предприятий–участников, а потенциально – и других предприятий региона. Подобное взаимодействие способствует развитию в регионе экономики замкнутого цикла и отрасли промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов [1].

Список литературы

1. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 25.01.2018 №84-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf> (дата обращения: 02.03.2026). – Текст: электронный
2. Baas L. Planning and uncovering industrial symbiosis: Comparing the Rotterdam and Istergutland regions / L. Baas / Business Strategy and the Environment, 20, 128--440, 2011
3. Branson R. Re-constructing Kalundborg: the reality of bilateral symbiosis and other insights / R. Branson / Journal of Cleaner Production, 112, 4344--4352, 2016
4. Преображенский Б.Г. Промышленный симбиоз как инструмент циркулярной экономики / Б.Г. Преображенский, Т.О. Толстых, Н.В. Шмелева // Регион: системы, экономика, управление. – 2020. - № 4. – С. 37-48.
5. Пугин К.Г. Промышленная экология. Утилизация крупнотоннажных отходов производства: учебное пособие / К.Г. Пугин. – Пермь: ПНИПУ, 2016 – С. 96.
6. Белоногова Ю.О. Методология включения крупнотоннажных промышленных отходов в региональные программы по экономике замкнутого цикла / Ю.О. Белоногова, А.З. Ощепкова, Т.Н. Сомова. – Текст: непосредственный // Проблемы региональной экологии = Regional Environmental Issues. – 2024. - №5 – С. 62-71.

7. Тихонова И.О. Оценка перспектив формирования экотехнопарка в Нижнекамском промышленном узле / И.О. Тихонова, Е.М. Данилова, В.А. Марьев, Е.М. Аверочкин. – Текст: непосредственный // Теоретическая и прикладная экология = Theoretical and Applied Ecology. – 2022. - №4. – С. 45-51.

Исследование по использованию гидроксида калия для повышения эффективности анаэробного сбраживания осадка из очистных сооружений бытовых сточных вод

Нгуен Д. А.

Доцент

Вьет-Три университет промышленности, Вьетнам

Шайхиев И. Г.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Хоанг Т. В. А.

Доцент

Вьет-Три университет промышленности, Вьетнам

Чан Ф. Н.

Магистрант

Вьет-Три университет промышленности, Вьетнам

Аннотация: исследование показало, что предварительная обработка избыточного активного ила гидроксидом калия в течение 3,5 часов повышает эффективность анаэробного разложения активного ила, что приводит к значительному увеличению потенциала производства биогаза. Оптимальная дозировка гидроксида калия (0,15 г КОН/г летучих твердых веществ) увеличила накопленный выход биогаза на 35 % по сравнению с контрольным образцом. Данное увеличение было достигнуто за счет сильного разрушения структуры биомассы, что привело к увеличению концентрации растворенного ХПК_р почти в 5,2 раз. Благодаря значительному увеличению производства биогаза и короткому времени обработки (3,5 часа), метод имеет потенциал для практического применения с целью улучшения экономических и экологических показателей очистных сооружений биологическими методами.

Ключевые слова: предварительная обработка, биогаз, ХПК_р, летучие твердые вещества

В настоящее время, в условиях растущей индустриализации и урбанизации, управление и очистка осадка сточных вод, особенно избыточного активного ила, стали одной из серьезных экологических проблем. Избыточный активный ил является неизбежным побочным продуктом биологической очистки сточных вод на муниципальных очистных сооружениях. Неправильная

утилизация избыточного активного ила может нанести серьезный экологический ущерб из-за высокого содержания патогенов и органических веществ в осадке [1].

Надлежащая очистка избыточного активного ила, образующегося при биологической очистке сточных вод, обходится очень дорого, составляя почти 50 % от общих эксплуатационных расходов очистных сооружений. Традиционные методы очистки, такие как захоронение на полигонах и компостирование, имеют высокие эксплуатационные расходы и непостоянную эффективность. Избыточный активный ил содержит микробную биомассу и сложные органические соединения, основными компонентами которых являются белки (около 30 %), углеводы (около 40 %) и липиды (около 30 %), также имеет высокое содержание общего ХПК_{общ}, варьирующееся от 10 до 50 г О/дм³ [2]. Анаэробное сбраживание широко применяется во всем мире для уменьшения объема, стабилизации осадка и в качестве метода получения энергии в виде биогаза. Биогаз обычно содержит 60-70 % метана, который используется для выработки электроэнергии, что помогает снизить эксплуатационные расходы очистных сооружений и сократить выбросы CO₂ за счет замены ископаемого топлива [3,4].

Хотя анаэробная обработка обладает очевидными преимуществами, низкими энергозатратами и стабильными продуктами разложения, наибольшую проблему представляет низкая скорость гидролиза твердых органических веществ в активном иле из-за того, что микробная биомасса активного ила заключена в сложную и прочную внеклеточную полимерную сеть, которая препятствует доступу ферментов к внутриклеточным органическим веществам и их разложению. Из-за этого барьера, необработанный активный ил сточных вод достигает эффективности разложения летучих твердых веществ (ЛТВ) лишь около 30-45%, в то время как первичный ил может достигать 60%. Низкая эффективность гидролиза приводит к увеличению времени удержания ила (обычно 20-30 дней), низкой общей эффективности разложения и неудовлетворительному выходу биогаза [5,6]. Для преодоления этого необходимы методы предварительной обработки (такие как химическая, термическая или комбинированная), позволяющие разрушить эту структуру и повысить эффективность анаэробной обработки.

В сравнительных исследованиях предварительная обработка NaOH и KOH показала схожую эффективность в повышении значений ХПК (до почти 8 раз)

и увеличении выхода метана (50 %) при сбраживании навоза животных [7]. Однако КОН имеет преимущества с точки зрения питательной и экологической ценности после обработки. Кроме того, жидкие отходы после предварительной обработки КОН могут вызывать меньше экологических проблем (таких как засоление почвы) по сравнению с NaOH [8].

В данном эксперименте использовался избыточный активный ил (ИАИ), собранный из вторичного отстойника на централизованной очистной станции сточных вод промышленной зоны Тхуй Ван, провинция Фу Тхо (Вьетнам), с проектной производительностью 5000 м³/сутки. Собранный ИАИ и его исходные физико-химические свойства были проанализированы до предварительной обработки КОН.

Экспериментальные дозировки КОН были выбраны на основе массы ЛТВ исходного осадка, а именно: 0,03, 0,06, 0,09 и 0,15 г КОН/г ЛТВ. Целью было достижение высокого щелочного pH для обеспечения разрушения структуры осадка ИАИ и растворения органических веществ.

После 3,5 часов предварительной обработки биологического ила раствором КОН, образцы ИАИ немедленно нейтрализовали. Данное обстоятельство осуществлялось путем добавления 5 %-ного раствора H₂SO₄ до достижения нейтрального значения pH. Цель этого этапа нейтрализации — предотвратить шок pH для микробного сообщества в последующей системе анаэробного сбраживания. После предварительной обработки отслеживались следующие параметры: изменения общего содержания твердых веществ (ТВ_{общ}), общего содержания летучих твердых веществ (ЛТВ_{общ}) и ХПК_р. Кроме того, отслеживались и регистрировались изменения общего содержания азота (N_{общ}) и общего содержания фосфора (P_{общ}) в жидкой фазе.

Для оценки эффективности производства биогаза из ИАИ после предварительной обработки раствором КОН были проведены эксперименты по анаэробному сбраживанию в периодическом режиме. В качестве тестовых образцов использовались необработанный контрольный образец и четыре образца, предварительно обработанных раствором КОН в дозировках 0,03 г КОН/г ЛТВ, 0,06 г КОН/г ЛТВ, 0,09 г КОН/г ЛТВ и 0,15 г КОН/г ЛТВ. Перед введением в анаэробную систему, ИАИ доводили до нейтрального значения pH (pH = 7) с помощью 5 %-ного раствора H₂SO₄. Эксперимент проводился в мезофильных условиях при стабильной температуре 35 °C. Весь процесс мониторинга накопленного

объема биогаза осуществлялся путем сбора образующегося газа в газосборный мешок. Эксперимент продолжался до стабилизации производства газа, данные регистрировались в течение 23 дней.

Из данных в таблице 1 видно, что исходное общее содержание ХПК_{общ} в осадке составляло 9700 мг О/дм³. Концентрация растворимого ХПК_р - органического вещества, которое уже было растворено и легко доступно для анаэробных микроорганизмов – составляла 835,2±65 мг О/дм³.

Таблица 1

Параметры отходов избыточного активного ила

№	Показатель	Единица	Значение
1	рН	-	7,0
2	ТВ _{общ}	г/л	24,5±1,8
3	ЛТВ _{общ}	г/л	18,3±1,7
4	ХПК _{общ}	мг/л	9700±75
5	ХПК _р	мг/л	835,2±65
6	N _{общ}	мг/л	510±9
7	P _{общ}	мг/л	140±3

Относительно низкое соотношение значений ХПК_{общ} к ХПК_р предполагает, что большая часть органического вещества в осадке находилась в гранулированной форме или была инкапсулирована в исходной структуре биомассы. Эта характеристика отражает ограниченную исходную способность к анаэробному разложению на стадии гидролиза, также известную как «старый» осадок, что снижает потенциал производства биогаза.

Результаты измерений показали, что при дозировках всего 0,09 г КОН/г ЛТВ и 0,15 г КОН/г ЛТВ, рН после обработки достигал сильнощелочных значений рН = 12,1 и 12,3, соответственно. При более низкой дозировке (0,03 г КОН/г ЛТВ) рН составлял лишь рН = 10,7.

Полученные данные показали, что концентрации растворимого ХПК_р варьировались в четырех экспериментальных образцах: от 835,2 мг О/дм³ в исходном образце осадка, незначительно увеличиваясь в контрольном образце до 1127 мг О/дм³ и значительно возрастая в образцах, предварительно обработанных КОН, достигая 3165 мг О/дм³ при дозировке 0,03 г КОН/г ЛТВ, 3326 мг О/дм³ при дозировке 0,09 г КОН/г ЛТВ и пикового значения 4383 мг О/дм³ при

дозировке 0,15 г КОН/г ЛТВ, что эквивалентно увеличению ХПК_р примерно в 5,2 раза по сравнению с исходным образцом осадка. Это увеличение значений ХПК_р является прямым доказательством того, что щелочная предварительная обработка успешно гидролизовала микробную биомассу, высвобождая внутриклеточные и внеклеточные органические соединения в раствор, создавая обильный источник растворенного субстрата для последующего анаэробного разложения.

Таблица 2

Свойства избыточного активного ила после 3,5 часов предварительной обработки гидроксидом калия методом анаэробного сбраживания

Образцы Показатель	Контрольный образец	0,03 г КОН/г ЛТВ	0,06 г КОН/г ЛТВ	0,09 г КОН/г ЛТВ	0,15 г КОН/г ЛТВ
рН	7,1	10,7	11,3	12,1	12,3
ТВ _{общ} (г/л)	23,4	22,82	22,16	21,51	21,36
ЛТВ _{общ} (г/л)	16,3	16,12	16,97	16,72	16,65
ХПК _{общ} (мг/л)	9520	9124	8726	8147	8349
ХПК _р (мг/л)	1127	2565	2764	3326	4383
Н _{общ} (мг/л)	510	570	615	631	618
Р _{общ} (мг/л)	130	120	105	80	68

Результаты показали, что более высокие дозы КОН способствовали более интенсивному разложению биомассы, что приводило к экспоненциальному увеличению растворенного субстрата (ХПК_р). Увеличение почти в 5 раз при оптимальной дозе обеспечивало легкодоступные питательные вещества для анаэробных бактерий, снижало скорость этапа биохимических процессов (особенно гидролиза) и могло повысить эффективность производства биогаза на последующем этапе анаэробной обработки.

Эксперименты по анаэробному сбраживанию показали, что щелочная предварительная обработка КОН оказала положительное и значительное влияние на общее количество накопленного биогаза по сравнению с необработанным контрольным образцом. В течение 23 дня наблюдения, объем образующегося газа быстро увеличивался в первые 2-5 дней и постепенно

стабилизировался после 15-го дня, что свидетельствует об ускорении процесса гидролиза/подкисления за счет высвобождения растворенных субстратов. Результаты представлены на рис. 1.

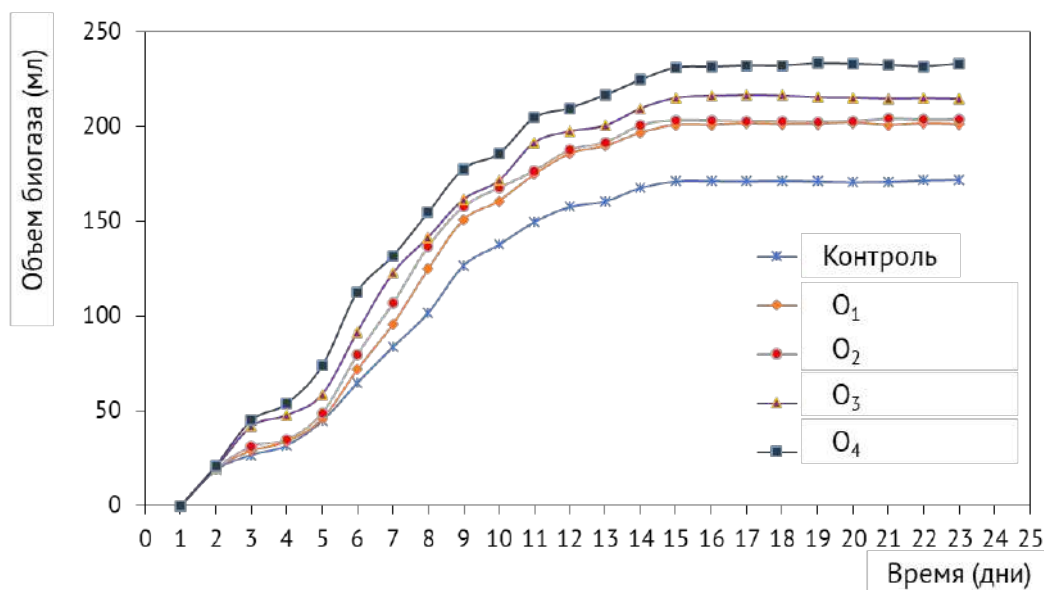


Рис 1. График, показывающий изменение объема биогаза, полученного за 23 день из 5 экспериментальных образцов

Таблица 3

Сравнение накопления биогаза (через 23 дня)

Образцы	Дозировка (г КОН/ г ЛТВ)	Накопленный объем газа (мл)	по сравнению с кон- трольным образцом
Контроль	-	172,3	-
O ₁	0,03	201,5	17 %
O ₂	0,06	203,2	18 %
O ₃	0,09	215,1	24,8 %
O ₄	0,15	232,6	35 %

Количество образующегося газа быстро увеличивалось в течение первых 2–10 дней и постепенно стабилизировалось после 15-го дня. Объем выделенного биогаза, полученный из всех предварительно обработанных образцов осадка ИАИ, был значительно выше, чем в контрольном образце. В частности, через 23 дня наибольшее увеличение выхода биогаза достигалось при дозировке КОН 0,15 г КОН/ г ЛТВ, достигнув 35 % по сравнению с контрольным

образцом. Дозы 0,03 г КОН/ г ЛТВ, 0,06 г КОН/ г ЛТВ и 0,09 г КОН/ г ЛТВ также показали значительное увеличение, на 17, 18 и 24,8 % соответственно.

Увеличение концентрации растворенного ХПК_р (с 1127 мг О/дм³ в контрольном образце до 4383 мг О/дм³ при дозе 0,15 г КОН/г ЛТВ) обеспечило достаточное количество растворенного субстрата для стимулирования газообразования, что делает максимальную дозу в диапазоне испытаний оптимальной, когда щелочная предварительная обработка создает чрезвычайно высокие уровни растворенного органического вещества, если концентрация растворенных веществ (таких как растворенное ХПК_р или разрушенные внеклеточные полимерные соединения) высвобождается слишком быстро, она может превысить метаболическую способность метанообразующих бактерий. Данное обстоятельство приводит к накоплению летучих жирных кислот, вызывая резкое падение pH в анаэробной системе и ингибируя образование метана, даже если осадок был нейтрализован до pH перед введением. В этом случае нейтрализация и поддержание средней температуры (мезофильные условия) могли способствовать стабилизации микробной системы и эффективной переработке увеличенного количества субстрата без ингибирования. Необходимы дальнейшие исследования пороговых значений щелочности, чтобы избежать риска перегрузки (передозировки) при использовании чрезмерного количества КОН.

Исследование подтвердило, что щелочная предварительная обработка раствором КОН в течение 3,5 часов является эффективным методом предварительной обработки для усиления анаэробного разложения ИАИ сточных вод, что приводит к значительному увеличению потенциала производства биогаза. Оптимальная дозировка КОН (0,15 г КОН/ г ЛТВ) увеличила суммарный выход биогаза на 35 % по сравнению с контрольным образцом. Это увеличение было достигнуто благодаря его сильной способности разрушать структуру биомассы, увеличивая концентрацию растворимого ХПК в 5,2 раза.

Список литературы

1. Salva J. Analysis of the current state of sewage sludge treatment from the perspective of current European directives / J. Salva, Sečkář. M, Schwarz. M., Samesova. D // Environmental Sciences Europe. 2025. – Vol. 37(1). 37(1). - P. 1-27.

2. Anjum M. Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods / M. Anjum, N.H. Al-Makishah, M.A Barakat // Process Safety and Environmental Protection. 2016. - Vol. 102. - P. 615-632.
3. Çağrı Ün. Assessing Biogas from Wastewater Treatment Plants for Sustainable Transportation Fuel: A Detailed Analysis of Energy Potential and Emission Reductions / Ün Çağrı // Gasses. 2025. – Vol. 5(1). - P. 1-18.
4. Waseem M. Emerging trends in sewage sludge pretreatment: Enhancing treatment efficiency and sustainable waste management / M. Waseem, M.U. Khan, A. Bokhary, B.K. Ahring // Cleaner Water. 2025. - Vol. 3. - P. 100080.
5. Zhang C. Alkaline pretreatment for enhancement of biogas production from banana stem and swine manure by anaerobic codigestion / C. Zhang, Li. J, Liu. C, Wang. J at al // Bioresource Technology. 2013. – Vol. 149. - P. 353–358.
6. Jaffar M. Wheat straw pretreatment with KOH for enhancing biomethane production and fertilizer value in anaerobic digestion / M. Jaffar, Y. Pang, H. Yuan, D. Zou, Y. Liu at al // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2016. – Vol. 24(3). - P. 404-409.
7. Zhen X. Effect of pretreatment with alkali on the anaerobic digestion characteristics of kitchen waste and analysis of microbial diversity / X. Zhen, S. Li, R. Jiao, W. Wu // Green Processing and Synthesis. 2023. – Vol. 2(1). - P. 1-10.
8. Ren W. Peracetic acid pretreatment improves biogas production from anaerobic digestion of sewage sludge by promoting organic matter release, conversion and affecting microbial community / W. Ren, Y. Zhang, X. Liu at al // Journal of Environmental Management. 2024. - Vol. 349. - P. 119427.

Методы переработки куриного помета

Сайфутдинова Р. Д.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Степанова С. В.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье рассматривается проблема утилизации куриного помета – крупнотоннажного побочного продукта птицеводства. Опираясь на актуальную нормативную базу РФ и информационно-технический справочник ИТС 42-2023, анализируются современные биотехнологические методы его переработки: компостирование, биоферментация, анаэробное сбраживание, вермикомпостирование и термическая сушка. Показано, что применение экологической биотехнологии позволяет не только нейтрализовать экологическую угрозу, но и превратить помет в ценный источник энергии и удобрений.

Ключевые слова: куриный помет, компостирование, биоферментация, анаэробное сбраживание, вермикомпостирование, термическая сушка

В России ежегодно образуется около 17 млн тонн куриного помета. Свежий помет относится к отходам III класса опасности: он содержит патогенные микроорганизмы, яйца гельминтов, тяжелые металлы и является источником токсичных газов (аммиак, сероводород, метан). При неправильном хранении он загрязняет почву и водоемы, вызывая их эвтрофикацию.

Федеральный закон № 248-ФЗ ввел понятие «побочные продукты животноводства» (ППЖ), к которым относится и помет. Закон запрещает использование необработанных ППЖ и требует их хранения только на специализированных площадках. В пересчете на сухую массу в нем содержится до 6,2 % азота, около 3,5 % фосфорных соединений и 2,1 % калия. Главная цель применения биотехнологических подходов – перевести данный побочный продукт животноводства из категории опасных отходов в разряд безопасных органических удобрений или источников энергии.

К числу наиболее технологичных решений относится анаэробное сбраживание. Этот способ подразумевает разложение органического вещества в герметичных емкостях (метантенках) в бескислородной среде. Активность

анаэробных бактерий обеспечивает получение двух основных продуктов: биогаза, состоящего из метана и диоксида углерода, а также дигестата – субстрата, прошедшего полную санитарную обработку и сохранившего высокую питательную ценность для растений.

Самым простым с точки зрения организации остается метод компостирования. Процесс базируется на естественной аэробной деструкции органики. Как указано в ИТС 42-2023, для нормального протекания биотермических процессов необходимо поддерживать влажность смеси на уровне 65–70 %, кислотность в пределах pH 6,5–7,7 и углеродно-азотный баланс в соотношении от 20:1 до 30:1.

В зависимости от применяемой технологии различают несколько вариантов: 1) При пассивной выдержке в буртах, где масса разогревается до 50–60°C, процесс занимает от двух до трех месяцев; 2) При активном компостировании с использованием принудительной подачи воздуха сроки сокращаются до 40 суток; 3) Применение биоферментации в специальных камерных или барабанных установках позволяет получить готовое удобрение уже через одну неделю (7–8 дней).

Вермикомпостирование – переработка помета дождевыми червями (*Eisenia foetida*). Содержание доступных форм азота, фосфора и калия в биогумусе в 4–8 раз выше, чем в исходном помете, при этом продукт полностью обеззаражен и не имеет запаха. Биомасса червей содержит до 82% белка и может использоваться как кормовая добавка. Процесс ведется на стеллажах в закрытых помещениях. Готовый продукт должен соответствовать нормативам: влажность 70 %, pH 6,5–7,5, азот не менее 1,2 %, отсутствие патогенов и гельминтов.

Термическая сушка применяется на крупных птицефабриках. При температуре входящих газов 800–1000 °C и экспозиции 30 минут помет полностью обеззараживается. Влажность готового продукта – не более 10–12 %.

Экологическая биотехнология предлагает широкий спектр решений для переработки куриного помета – от простого компостирования до высокотехнологичных комплексов по производству биогаза и гранулированных удобрений. Все эти методы, описанные в ИТС 42-2023, направлены на достижение главной цели: превращение опасного побочного продукта в ценный ресурс. Переход к природоподобным и безотходным технологиям – путь к устойчивому

и рентабельному агропромышленному производству, работающему в гармонии с окружающей средой.

Список литературы

1. Российская Федерация. Законы. О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон № 248-ФЗ: [принят Государственной Думой 14 июля 2022 года]. – Москва, 2022.
2. Российская Федерация. Постановления. Об утверждении требований к обращению побочных продуктов животноводства: Постановление Правительства РФ № 1940: [утверждено 31 октября 2022 года]. – Москва, 2022.
3. Росстандарт. ИТС 42-2023. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы: [утвержден Приказом Росстандарта от 14.12.2023 № 2708]. – Москва: Бюро НДТ, 2023.

Использование цинкосодержащих металлургических отходов в качестве микроудобрений и оценка их агрономического потенциала

Серазеева Е. В.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Исмаилова Р. Н.

Представитель руководства по качеству

ООО «УкуЛаб»

Гармонов С. Ю.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: проведено исследование цинкосодержащего побочного продукта, образующегося в процессе обезвреживания сточных вод электрохимического цинкования. Предложен способ утилизации отхода путём его применения в качестве почвенного микроудобрения. По результатам экспериментальных исследований методом фитотестирования установлена оптимальная концентрация шлама в качестве добавки в почву, при которой наблюдается максимальная продуктивность и биологическая активность растений.

Ключевые слова: цинкосодержащие отходы, побочный продукт, рентгенофлуоресцентный анализ, фитотестирование, микроудобрение

На сегодняшний день на промышленных предприятиях Российской Федерации сформировались отстойники-шламонакопители, которые содержат значительное количество твердых цинкосодержащих отходов. Как правило эти объекты занимают обширные территории и оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую природную среду. Обычно такие техногенные отходы являются побочными продуктами производственных процессов и потенциально могут быть использованы в качестве вторичного сырья, либо для потребления в качестве продукции [1, 2].

Проведены исследования цинкосодержащего побочного продукта одного из машиностроительных предприятий на возможность его применения

в качестве добавки в почву, а также оценки его агрономического потенциала как почвенного микроудобрения.

Для определения области применения вторичного сырья было проведено исследование его компонентного состава методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием сканирующего электронного микроскопа. Результаты исследования показали, что в шламе содержатся следующие компоненты: Mg (0,3 %), Al (0,18 %), Si (1,43 %), P (4,94 %), S (0,32 %), Cl (0,67 %), Ca (0,91 %), Fe (11,19 %), Zn (39,92 %). На основании проведенного анализа пришли к выводу, что в данном сырье содержится достаточное количество цинка, для его исследования в качестве добавки в почву и оценки влияния на сельскохозяйственные культуры. А также было отмечено, что в составе шлама не было обнаружено токсичных компонентов, влияющих на окружающую среду.

В исследовании применялся метод планшетного фитотестирования [3], который подразумевает выращивание растений в планшетах в искусственно созданных условиях. Эксперименты осуществлялись в специализированном лабораторном помещении, оснащенном необходимым оборудованием. Были подготовлены планшеты с образцами почв, содержащей различные концентрации металлургического шлама: 0,1 г/кг; 0,075 г/кг; 0,05 г/кг; 0,025 г/кг, в которые высевались семена растительной культуры. В качестве контрольного образца была использована почва, не содержащая посторонних включений. В качестве тест-объекта для исследований были выбраны растения из семейства бобовых - горох посевной (*Pisum sativum* L). Измерения исследуемых параметров проводили в трехкратной повторности.

В рамках эксперимента велись наблюдения и фиксация ключевых биологических параметров, включая всхожесть, энергию прорастания, а также морфологические характеристики растений, такие как длина наземной и корневой систем с учетом с требований ГОСТ 12038-84. Дополнительно проводилась оценка биомассы сухого вещества, что позволяет комплексно оценить физиологическое состояние исследуемых образцов.

В ходе проведенных экспериментов были получены следующие данные, которые представлены в таблице 1.

В рамках проведенного исследования было установлено, что оптимальная концентрация шлама для достижения максимальной продуктивности и биологической активности почвы составляет 0,025 г/кг. При превышении данной

величины, а именно при концентрациях шлама 0,1 г/кг, 0,075 г/кг и 0,05 г/кг, наблюдается снижение его эффективности, что сопровождается угнетением процессов роста и развития растений.

Таблица 1

**Результаты исследования образцов проростков семян гороха посевного
(*Pisum sativum* L) под действием различных концентраций
металлургического шлама**

Параметры	Кон- троль	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
Концентрация шлама, г/кг	-	0,1	0,075	0,05	0,025
Энергия прораста- ния, %	81	80	79,9	77,6	79
Всхожесть, %	100	95	95	100	100
Масса вегетатив- ной части пророст- ков, г	1,266	1,123	1,023	1,104	1,443
Масса корневой части проростков, г	0,394	0,320	0,2	0,245	0,446
Длина вегетатив- ной части пророст- ков, мм	260	250	230	190	250
Длина корневой части проростков, мм	105	70	65	135	140
Сухая масса стебля проростков, г	0,111	0,103	0,088	0,087	0,132
Сухая масса корня проростков, г	0,032	0,023	0,021	0,013	0,047

Были выполнены исследования образцов растений: надземной части и корневой системы на атомно-абсорбционном спектрофотометре чтобы

определить содержание остаточных концентраций ключевых компонентов шлама (табл. 2).

Таблица 2

Остаточные концентрации основных компонентов шлама в анализируемых образцах растений

Элемент	Надземная часть (усредненное значение), мг/кг	Подземная часть (усредненное значение), мг/кг	Допустимое значение, мг/кг
Алюминий (Al)	0,0298	0,1519	менее 5
Цинк, (Zn)	0,6378	0,2373	1,1
Железо, (Fe)	0,0251	0,2665	2,3
Магний, (Mg)	0,0670	0,0631	0,4

В ходе анализа образцов растений на предмет наличия остаточных концентраций компонентов, было установлено, что их содержание во всех исследуемых пробах находится в пределах допустимых значений. Согласно [4-6], такие концентрации считаются безопасными для потребления в пищевых продуктах, что подтверждает соответствие исследуемых образцов установленным нормам и стандартам безопасности.

Результаты лабораторных исследований, проведенных с использованием метода фитотестирования, демонстрируют значительную биологическую эффективность анализируемого шлама при его внесении в почву и воздействии на сельскохозяйственное растение горох посевной (*Pisum sativum* L). Оптимальная концентрация шлама, обеспечивающая максимальную продуктивность и биологическую активность культурных растений, составляет 0,025 г/кг почвы. Последующие аналитические исследования образцов растений на содержание остаточных концентраций компонентов, присутствующих в шламе, с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра, показали их незначительное присутствие во всех протестированных образцах.

Представленные данные свидетельствуют о необходимости строгого соблюдения дозирования шлама при его применении в агрономических целях. Это подчеркивает значимость проведения дополнительных исследований

в данной области для оптимизации использования данного материала в сельскохозяйственной практике.

Список литературы

1. Константинов В.М., Гегеня Д.В., Богданчик М.И. Обзор рынка цинков и цинковых отходов // Литейные процессы. МГТУ – 2014, -267 с.
2. Об отходах производства и потребления: федер. закон Рос. Федерации от 24 июня 1998 г. N 89-ФЗ : принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 22 мая 1998 г. : одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 10 июня 1998 г. URL: [http:// www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (дата обращения: 15.10.2025).
3. ФР.1.31.2020.38716 Биологические методы контроля. Методика измерений биологической активности гуминовых веществ методами фитотестирования “Фитоскан – 2”. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. 25 с. 27.
4. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В. А. Тетельяна.- М.: ДеЛи принт, 2002. – 236 с.
5. Горох пророщенный - химический состав, пищевая ценность. [Электронный ресурс]. URL: <https://fitaudit.ru/food/120497>(дата обращения: 5.09.2025).
6. Алюминий: оценка риска для здоровья потребителей при поступлении с пищевыми продуктам / О.В. Багрянцева, Г.Н. Шатров, С.А. Хотимченко, В.В. Бессонов, О.В. Арнауты // Практика оценки риска в гигиенических и эпидемиологических исследованиях. Анализ риска здоровью. – 2016. – № 1 (13). – С. 59–68.

Биотехнология в рециклинге отходов АПК

Федосеева О. Д.

Студент

Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева

Саржевская Е. А.

Студент

Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева

Снурницына В. А.

Доцент

Российский государственный аграрный университет МСХА им. К.А. Тимирязева

Аннотация: в статье рассматривается проблема накопления отходов агропромышленного комплекса. Анализируются традиционные методы утилизации (компостирование, термическая обработка) и их недостатки. Основное внимание уделяется современным экологически безопасным подходам: анаэробному сбраживанию с получением биогаза, микробиологически обогащенному вермикомпостированию с использованием дождевых червей и специфических микроорганизмов, а также быстрому пиролизу отходов целлюлозно-бумажной отрасли для получения бионефти.

Ключевые слова: отходы, вермикомпостирование, биогаз, анаэробное сбраживание, био-гумус

В настоящее время накопление огромного количества отходов является существенной проблемой промышленности. Площадь свалок в Российской Федерации составляет около 4 млн гектаров, что примерно равно размеру Нидерландов или Швейцарии. По прогнозам аналитиков, если не искать новые методы уменьшения и переработки отходов, то к 2050 году мусорные полигоны могут занять почти 1 % площади нашей страны [1].

Рассматривая агропромышленный комплекс, можно выделить несколько наиболее распространенных видов отходов. В первую очередь стоит отметить животноводство, на долю которого приходится более половины общей массы отходов АПК. При этом переработке подлежат около 10 % этих веществ. Основные виды отходов животноводства – это продукты жизнедеятельности зверей и птиц: навоз или помет, сточные воды, вредные газы. Следующая отрасль АПК, на которую стоит обратить внимание, - растениеводство. На полях, занятых

сельскохозяйственными культурами, образуется ряд отходов – опадающие листья, стебли, ботва и корни растений, солома и остатки первичной переработки зерна после сбора урожая. При заготовке и переработке древесины образуются опилки, щепа, кора, хвоя, листья.

Выше перечислено лишь малое количество примеров отходов, которые образуются в результате деятельности человека в сфере сельского хозяйства. Все эти вещества оказывают негативное влияние на окружающую среду. Например, метан, который выделяется из навоза при складировании его в ямы и накапливается в атмосфере, является одной из главных причин глобального парникового эффекта [2]. Таким образом, существует острая необходимость найти способы уменьшения количества отходов для сохранения природы.

Долгое время люди не задумывались о необходимости переработки образующихся отходов. Наиболее распространенным способом утилизации считалось производство удобрений. Часто использовался такой прием, как вывоз навоза на поля, где он с течением времени перегнивал и обогащал почву питательными компонентами. Однако этот метод утилизации отходов имеет ряд минусов:

- при чрезмерном внесении навоза может произойти дисбаланс питательных веществ, что негативно отразится на росте сельскохозяйственных культур;
- вместе с навозом могут занестись семена сорных растений, что также является проблемой.

Другой распространенный способ утилизации отходов АПК – компостирование. Этот метод заключается в том, что создают контролируемые условия для естественного разложения отходов птицеводства и животноводства в присутствии кислорода. В результате получается биогумус, который используют в качестве удобрения. Однако при таком способе переработки отходов улетучивается около 30-40 % питательных веществ, что является значительной потерей.

Также часто применяли термические методы утилизации ненужных веществ. Изначально отходы просто сжигали, что приводило к образованию большого количества вредных газов, скапливающихся в атмосфере.

Сейчас стараются находить такие способы переработки отходов АПК, которые будут экологически безопасными и содержать большое количество питательных веществ. Так, стали применять анаэробное сбраживание. Этот метод основан на расщеплении отходов в бескислородной среде с образованием

биогаза (метана) и дигестата, который обогащен питательными веществами. Биогаз используют для производства энергии, а дигестат – в качестве удобрения. Анаэробное сбраживание позволяет уменьшить количество патогенов, неприятного запаха и объем отходов.

Обсуждается внедрение такого метода, как микробиологически обогащенное вермикомпостирование. Этот метод заключается в совместном применении дождевых червей (*Eisenia fetida*) и специфических микроорганизмов, что позволяет сократить время компостирования и получить обогащенный питательными веществами конечный продукт. Индийские ученые использовали четыре микроорганизма: *Trichoderma viride* (целлюлолитический гриб), *Azotobacter chroococcum* (азотфиксатор), *Bacillus polymixa* (фосфатмобилизующая бактерия), *Bacillus firmus* (калиймобилизующая бактерия). Исследования показали, что наилучшее качество компоста достигается при совместном внесении всех четырех микроорганизмов с последующим вермикомпостированием. Данный подход приводит к значительному снижению pH, органического углерода, содержания целлюлозы и соотношения C/N, а также к существенному увеличению содержания гуминовых кислот, общего азота, доступного фосфора и обменного калия [3].

Полученный вермикомпост может быть использован не только как удобрение, но и в качестве биологической защиты растений от патогенов. Ученые Китая в 2025 году провели исследование, в котором доказали, что выделенные из вермикомпоста штаммы микроорганизмов с фунгицидной активностью проявляют прямое ингибирующее действие на мицелиальный рост *Fusarium oxysporum* и *Neopestalotiopsis spp.* — возбудителей корневой гнили земляники. В полевых испытаниях *B. velezensis* JNS-1 эффективно контролировал развитие заболевания. Также можно отметить, что внесение вермикомпоста повысило активность трех почвенных ферментов (целлюлазы, уреазы и кислой фосфатазы), увеличило содержание азота ($\text{NO}_3\text{-N}$ и щелочного азота), органического вещества, доступного калия и катионообменную способность субстрата [4].

Активно обсуждается внедрение биогазовых установок, которые будут перерабатывать отходы в биогаз. При этом многие эксперты отмечают, что данный способ действительно хорош с точки зрения утилизации большого количества отходов, но также обращают внимание на экономическую сторону данного метода. Биогазовая установка в среднем обойдется примерно в 100 млн

рублей, что является значительной суммой, поэтому отмечают, что в решении подобного вопроса не получится обойтись без государственной поддержки. Аналитики считают, что такое оборудование может окупиться не меньше, чем через 10-15 лет непрерывной работы. Таким образом, использование биогазовых установок является прорывом в утилизации отходов в АПК и дает старт для новых решений и открытий [5].

В современном мире давно обсуждается проблема ограниченности ископаемых ресурсов, из которых, в частности, получают топливо. Для решения сразу двух проблем было решено перерабатывать отходы целлюлозно-бумажной отрасли способом быстрого пиролиза. В результате процесса при охлаждении парогазовой смеси образуются жидкие продукты (бионефть) с выходом до 80 % массы в зависимости от режимных параметров и вида сырья.

В настоящее время довольно часто говорят о том, что необходимо сохранять природу. Люди должны стремиться совершенствовать старые и искать новые способы переработки отходов промышленности. Это позволит уменьшить влияние антропогенных факторов на окружающую среду.

Список литературы

1. Национальное информационное агентство Экология : [сайт]. – URL: <https://nia.eco/> (дата обращения: 11.04.2026).
2. Степанова И.А. Утилизация отходов агропромышленного комплекса : учебное пособие / И. А. Степанова, А. С. Степанов. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 164 с.
3. Das D. Bioconversion and biodynamics of *Eisenia foetida* in different organic wastes through microbially enriched vermicomposting technologies / D. Das [et al.] // Ecological Engineering. – 2016. – Vol. 86. – P. 154–161. – DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.11.012.
4. Jiang L. Use of *Bacillus velezensis* JNS-1 from vermicompost against strawberry root rot / L. Jiang [et al.] // Frontiers in Microbiology. – 2025. – Vol. 16. – Article 1566949.
5. Recycling Technology : [сайт]. – URL: <https://rte.company/> (дата обращения: 11.04.2026).

Способы утилизации отходов производства полиэтилентерефталата

Фильцов Р. Н.

Магистрант

Волгоградский государственный технический университет

Кудашев С. В.

Профессор

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: в статье анализируются отходы химической промышленности, в частности остатки переработки полиэтилентерефталата. Рассматриваются различные методы их утилизации. Оцениваются основные плюсы и минусы этих методов.

Ключевые слова: полиэтилентерефталат, отходы, утилизация, рециклинг

Полиэтилентерефталат (ПЭТ) – это линейный термопластичный полиэфир, широко применяемый в различных отраслях. Производство полиэтилентерефталата сопровождается образованием твердых технологических отходов. К технологическим отходам относятся остатки исходного сырья, образовавшиеся в процессе производства и частично или полностью утратившие показатели качества. Часть из них – литники, отходы, образующиеся при выходе на режим, бракованные детали – могут использоваться после предварительной подготовки для производства различных товарных продуктов, но большая часть технологических отходов не перерабатываются в изделия, а подвергаются сжиганию или захоронению [1, 2, 3].

Методы переработки ПЭТ можно классифицировать по четырем группам: первичная (рециклинг), вторичная (механическая), третичная (химическая) и четверичная (термическая) переработка [1, 3]. Первичная переработка ПЭТ-пластика подразумевает использование незагрязненных отходов без обработки [3].

В настоящее время на предприятиях используют следующие методы [1, 2, 4]: переработка отходов различными методами в полимерное сырье и повторное его использование для получения изделий; сжигание вместе с бытовыми

отходами; химический (гидролиз); пиролиз и получение жидкого и газообразного топлива; захоронение на полигонах.

Несмотря на преимущества рециклинга, объемы его применения невелики из-за трудоемкости процесса. Сжигание – наименее эффективный способ, так как уничтожает дорогостоящий полимер и используется лишь при невозможности иных методов. Перспективен пиролиз, дающий топливо из жидких углеводородов (95 %) и горючего газа (5%) [1,2,4,7-9].

Утилизация методом гидролиза включает сбор, сортировку, измельчение отходов и их деполимеризацию водёй с катализаторами при 200–300°С и давлении. Полученные терефталевая кислота и этиленгликоль очищаются и используются для синтеза нового ПЭТ, создавая замкнутый цикл. Недостатки метода: высокие энергозатраты, необходимость катализаторов и сложность масштабирования [1,2,4,7-10].

Наиболее перспективным методом является повторное использование (рециклинг), который подразделяется на химический и физический. Химический рециклинг (сольволиз) направлен на деполимеризацию полимера до мономеров или олигомеров с помощью метанола (метанолиз), этиленгликоля (гликолиз), кислот или щелочи (гидролиз, омыление) для последующего синтеза. Эти методы энергоемки и дороги, но позволяют использовать сырьё низкого качества и проводить дополнительную очистку [1–7].

Физический (механический) рециклинг – переработка без изменения химической структуры: измельчение, очистка, переплавка и формование с использованием дробилок, мельниц, грануляторов. Под механическим и тепловым воздействием отходы переводятся в смолоподобное состояние, продавливаются через калибровочные отверстия и нарезаются на гранулы, иногда с добавками. Это экономически выгодный и экологичный способ [1,9].

Наиболее перспективным и рациональным методом переработки полиэтилентерефталата из существующих является их повторное использование. Рециклинг подразделяется на химический и физический.

Химический рециклинг представляет собой группу методов, направленных на деполимеризацию полимера до мономерных или олигомерных составляющих, которые затем могут быть повторно использованы для синтеза нового ПЭТФ или других химических продуктов [1,2,4,7–9].

Физический рециклинг отходов ПЭТФ, также известный как механический рециклинг, представляет собой процесс переработки отходов ПЭТФ без существенного изменения химической структуры полимера. Этот метод фокусируется на физическом преобразовании отходов в новое сырье или изделия путем измельчения, очистки, переплавки и формования. Физический рециклинг является более экономически выгодным и экологически чистым по сравнению с химическим рециклингом, поскольку требует меньше энергии и не использует агрессивные химические реагенты [1,2,4,7–9].

При химическом рециклинге (сольволизе) ПЭТФ подвергается деполимеризации при взаимодействии с химическими веществами, такими как, вода (гидролиз, соответствующая реакция представлена на рис. 1), этиленгликоль (гликолиз с получением мономера бисгидроэтилтерефталата, схема процесса представлена на рис. 2), кислота (гидролиз с получением терефталевой кислоты) или щелочь (омыление, соответствующая реакция представлена на рис. 3), метанол (метанолиз с получением мономера диметилтерефталата, схема процесса деполимеризации при взаимодействии со спиртами представлена на рис. 4) [1,2,4,7–10].

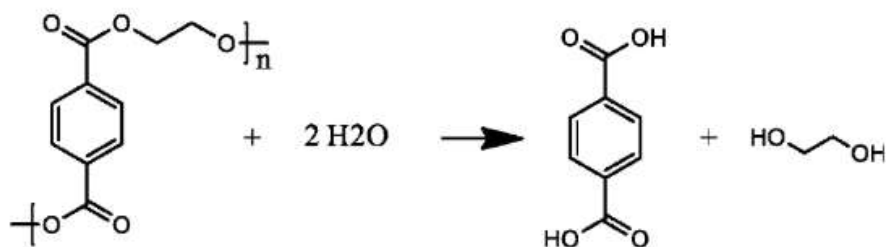


Рис. 1. Схема деполимеризации ПЭТФ путём гидролиза

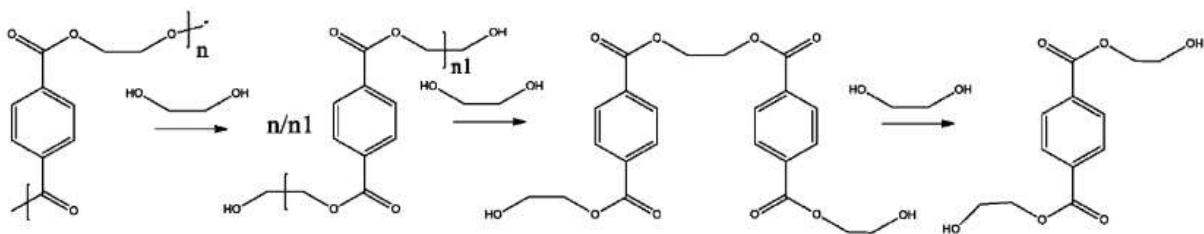


Рис. 2. Схема гликолиза ПЭТФ

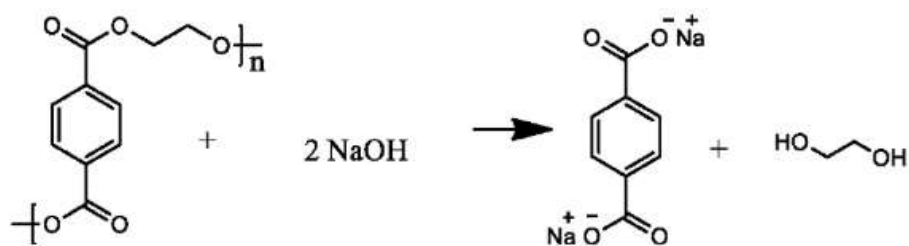


Рис. 3. Омыление ПЭТ гидроксидом натрия

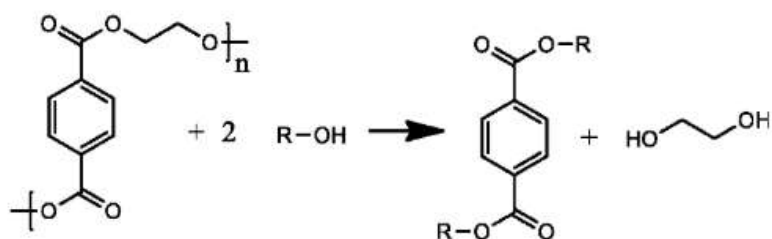


Рис. 4. Схема алкоголиза ПЭТ

Методы сольволиза достаточно энергоемки, требуют высокотехнологичного оборудования и поэтому весьма дорогостоящи. Однако эти методы дают возможность использовать сырье более низкого качества, поскольку химические процессы позволяют производить дополнительную очистку. Это наиболее распространенный, экономичный и безопасный для окружающей среды способ переработки отходов ПЭТФ [1–7].

Список литературы

1. Кабанов В.А. Энциклопедия полимеров : в 3 т. Т. 3 / В. А. Кабанов. – Москва : Советская энциклопедия, 1977. – 1028 с.
2. Петухов Б.В. Полиэфирные волокна / Б. В. Петухов. – Москва : Химия, 1976. – 272 с.
3. Ананьев В.В. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов / В.В. Ананьев, М.И. Губанова, И.А. Кирш, Г.В. Семенов, Г.К. Хмелевский – М. ; МГУПБ 2006 – 110 с.
4. Базунова М.В. Способы утилизации отходов полимеров / М.В. Базунова, Ю.А. Прочухан // Вестник Башкирского университета. – 2008 – № 4 – С. 875–878.
5. Калдашева Э.Н. Вторичная переработка полиэтилентерефталата (ПЭТ) / Э.Н. Калдашева // Вестник магистратуры. – 2017 – № 7 (70). – С. 35–37.

6. Кирш И.А. К проблеме вторичной переработки полимерных материалов / В.В. Ананьев, И.А. Кирш, Т.И. Аксенова, С.Г. Трубина // Пластические массы – 2003. – № 5 – с. 8-11.
7. Клинков А.С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов / А.С. Клинков, П.С. Беляев, М.В. Соколов. – Тамбов : ТГТУ, 2005. – 80 с.
8. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник : в 3 т. Т. 3 / А. С. Тимонин. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревской, 2003. – 884 с.
9. Chemical recycling of monolayer PET tray waste by alkaline hydrolysis / A. Barredo, A. Asueta, I. Amundarain [et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2023 – Vol. 11 (3). – P. 109823.
10. Клинков А.С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов / А.С. Клинков, П.С. Беляев, М.В. Соколов. – Тамбов : ТГТУ, 2005. – 80 с.

Цифровизация системы учета и контроля в сфере обращения с отходами производства

Шайхаттаров А. М.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье описан один из подходов к цифровизации системы учёта и контроля отходов производства кондитерских изделий, который включает разработку веб сайта на основе HTML и CSS

Ключевые слова: обращение с отходами, проект нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, лицензирование, цифровизация, сайт

На сегодняшний день каждое предприятие обязано вести отчетность в области обращения с отходами вне зависимости от их категории как объекта, оказывающего негативное воздействие на окружающую среду (НВОС). И в отличие от объектов III и IV категорий, объекты I и II обязаны разрабатывать проект нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (ПНООЛР) входящий в состав комплексного экологического разрешения (КЭР) для объектов I категории и декларации о воздействии на окружающую среду (ДВОС) для объектов II категории [1].

Проект нормативов образования отходов и лимитов на их размещение разрабатывается на предприятии в случае образования отходов V, IV, III, II и I классов опасности для окружающей природной среды. ПНООЛР необходим для их учёта, обоснования нормативов их образования и для разработки мер по минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

ПНООЛР включает в себя информацию о предприятии, его деятельности, перечень всех видов отходов, образующихся на предприятии в соответствии с ФККО, их классы опасности, расчеты нормативов образования отходов и лимитов на их размещение (НЛООР), данные о передаче отходов сторонним организациям для их утилизации, обезвреживания, обработки, размещения [2].

Организации, которым передаются отходы, должны иметь лицензии для определенного вида деятельности с отходами. То есть чтобы организация могла утилизировать отход на это должна быть лицензия и, если организация имеет лицензию на утилизацию и ни на что, кроме этого, она не может

предоставлять иные виды деятельности с отходами помимо утилизации [3]. К сожалению, организаций этих лицензий периодически лишают и предприятию приходится искать новые организации для передачи отходов.

Очевидно, что ручной поиск данных для нахождения организаций, которые могут принять тот или иной отход может занять большое количество времени, тем более если в организации образуются несколько сотен различных отходов, поэтому в настоящей работе предложено цифровизировать данное действие. Для чего был разработан сайт на HTML и CSS. Разработка велась на основе ПНО-ОЛР предприятия по производству кондитерских изделий. Код написан вручную, без использования визуальных конструкторов. CSS отвечает за стиль страниц и использовался для придания сайту более презентабельного вида. Сайт разработан на локальной машине с использованием приложения XAMPP.

Сайт состоит из множества страниц:

- 1) основная страница, где пользователь выбирает класс опасности отхода;
- 2) страницы с отходами определенного класса встречающихся в организации;
- 3) страницы определённого вида отхода;
- 4) страницы организаций, принимающих отходы.

В общей сложности получилось 82 страницы с расширением .html и два стилистических файла .css отвечающих за внешний вид сайта.

Некоторые страницы сайта представлены ниже.

Основная страница сайта позволяет пользователю выбрать класс опасности отхода производства и потребления (I-V) или класс медицинского отхода (А и Б), она представлена на рис. 1.

После выбора класса опасности выходит список отходов выбранного класса с их названиями и кодами ФККО (рис. 2).

После выбора отхода появляется страница со списком организаций, принимающих этот отход, и информацией о способе обращения с этим отходом. Эта страница изображена на рис. 3, здесь представлены организации принимающие отходы минеральных масел промышленных.

Далее после выбора организации, которой планируется передача отхода, отображается краткая информация об этой организации: электронная почта, номер телефона, юридический адрес, ссылка на её сайт, а также ссылка на реестр лицензий по обращению с отходами I-IV классов опасности на сайте Портала Контрольной (надзорной) деятельности (КНД) [4], где пользователь может

убедиться в актуальности необходимой лицензии, открыв страницу и введя код ФККО искомого отхода в соответствующую колонку в таблицах, открывающихся после нажатия на «Места осуществления деятельности». Пример страницы с информацией о организации изображен на рис. 4. Так же пример поиска отхода по ФККО на сайте КНД изображен на рис. 5, где для примера представлен отход «Отходы минеральных масел промышленных» с ФККО 4 06 130 01 31 3 на странице лицензии организации ООО «ШАРЛ».

Рис. 1. Основная страница

Рис. 2. Список отходов III класса

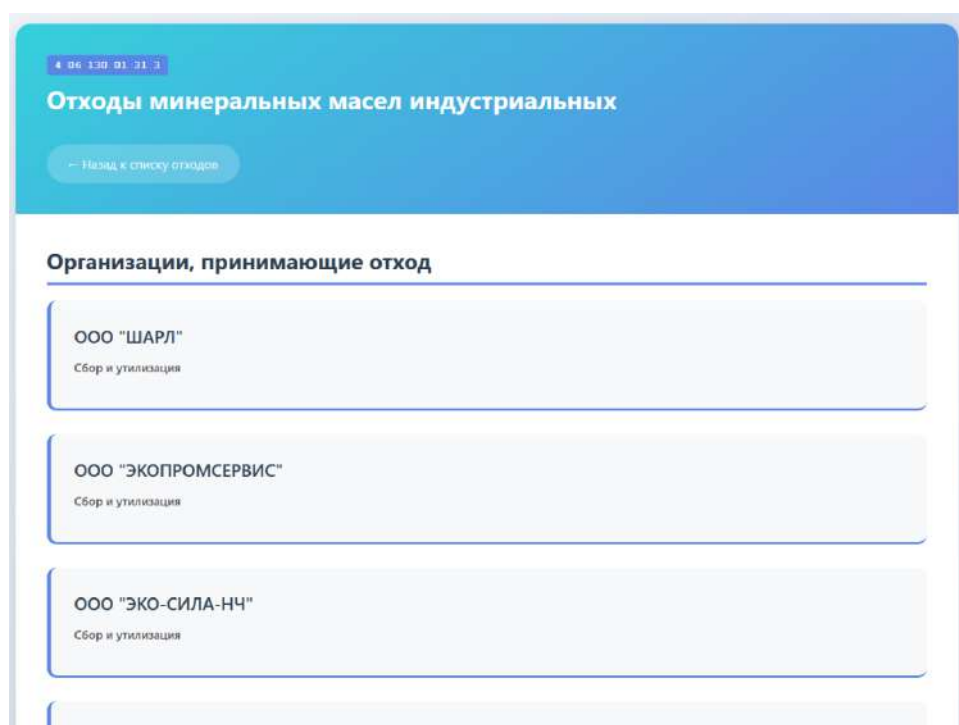


Рис. 3. Список организаций принимающих отходы минеральных масел промышленных

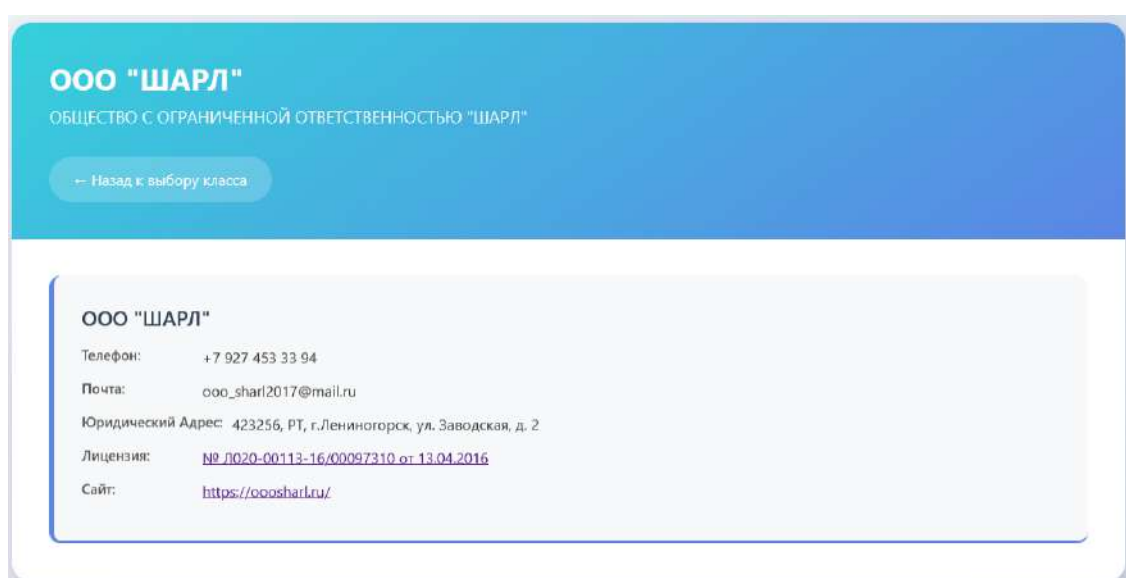


Рис. 4. Страница-карточка с информацией об организации ООО «ШАРЛ»

Удобство созданного мной сайта в том, что в нем легко можно добавлять и удалять как отходы, так и организации, которым можно передавать тот или иной отход. Сайт значительно упрощает поиск организаций, которые принимают определенный вид отхода, и проверку наличия лицензии для обращения с этим отходом.

МЕСТА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

423250, Республика Татарстан, г.Лениногорск, ул. Заводская, 2

Адрес: 423250, Республика Татарстан, г.Лениногорск, ул. Заводская, 2

Кадастровый номер: не определен Регион: Республика Татарстан

Информация о частичном приостановлении действия лицензии

Приостановление всех работ в области обращения с отходами по данному адресу: Нет

Приостановление отдельных видов работ в области обращения с отходами по данному адресу

Сбор: Нет Транспортирование: Нет Обработка: Нет Утилизация: Нет Обезвреживание: Нет Размещение: Нет

Вид отходов	тка	Утилизация	Обезвреживание	Размещение
отходы минеральных ...		Да	Нет	Нет

Рис. 5. Пример поиска определенного отхода на сайте КНД

Список литературы

1. Система нормирования негативного воздействия на окружающую среду: новые подходы к формированию и возникающие проблемы / В.И. Титаренко, Н.В. Петрова, О.В. Усикова, Д.Н. Лоницкая // Московский экономический журнал. 2019. № 2. С. 171-184.
2. Закон Российской Федерации «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ // СПС КонсультантПлюс.
3. Приказ Минприроды России «Об утверждении порядка разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение» от 08.12.2020 № 1029 // СПС КонсультантПлюс.
4. Портал КНД Контрольная (надзорная) деятельность URL: <https://knd.gov.ru/main>.

Перспективы использования порошка тыквенной кожуры в рецептуре мясных изделий

Шайхиева К. И.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Фазуллина А. А.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Хабибуллин Р. Э.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: приведены данные по количеству образования отходов от переработки плодов тыквы в мировом масштабе и по составу кожуры тыквы из различных литературных источников. Показано наличие в кожуре плодов тыквы составе большого количества биологически активных веществ, таких как пищевые волокна, пектин, каротиноиды, фенольные соединения, терпеноиды, полисахариды, аминок- и жирные кислоты, различные витамины и минеральные вещества. Кратко приведены данные о фармакологических аспектах влияния муки из кожуры тыквы на организм человека. Приведены сведения по использованию муки из кожуры плодов тыквы в рецептуре мясных изделий.

Ключевые слова: кожура плодов тыквы, биологически активные вещества, пищевая ценность, мясные продукты

Все возрастающее количество населения планеты предполагает и увеличение производства различных продуктов питания для удовлетворения насущных потребностей человека. Растительное сырье является основным источником для изготовления различных продуктов питания. Однако, при переработке сельскохозяйственного сырья с целью выделения целевого продукта, образуется огромное количество растительных отходов, которые не находят в настоящее время должного применения. Как правило отходы от переработки сельскохозяйственного сырья не используются в качестве вторичных материальных ресурсов, а банально сжигаются или запахиваются в почву.

В последнее время в мировом сообществе быстрыми темпами развивается инновационное направление в области переработки сельскохозяйственных

отходов – использование последних в качестве ингредиентов в рецептурах для производства различных функциональных продуктов питания для усиления их нутрицевтических и пищевых характеристик [1-13].

Одними из повсеместно распространенных овощей на всех материках, кроме Антарктиды, являются тыквы (*Cucurbita L.*) – овощи семейства тыквенных, принадлежащие к семейству тыквенных, насчитывающее 130 родов и более 800 видов. Род *Cucurbita* включает пять одомашненных видов, из которых тыква мускатная (*Cucurbita moschata*), тыква гигантская (*Cucurbita maxima*) и тыква обыкновенная (*Cucurbita pepo*) являются наиболее экономически важными видами, выращиваемыми во всем мире [14]. Плод растения - тыква, которая состоит из плотной кожуры, плаценты, мякоти и семян [15]. Выявлено, что в плодах тыквы содержание кожуры составляет от 10 до 13 %. Плоды тыквы обладают антигиперлипидемическим, противовирусным, противовоспалительным, антигипергликемическим, иммуномодулирующим, антигипертензивным, противомикробным, антиоксидантным и противодиабетическим действием [16].

При переработке плодов тыквы, отходы, такие как кожура, тыквенные выжимки, семечки. Если семена тыквы находят применение для воспроизводства продукции и создания антигельминтных препаратов, то кожура и выжимки тыквы не находят должного использования и, в лучшем случае, скармливаются животным, в худшем - гнивают в буртах. Определено, что в 2021 году по данным FAO в мире было выращено примерно 27 млн. тонн плодов тыквы. Соответственно, количество образующихся отходов от переработки плодов тыквы составило до 5,4 млн. тонн [17]. Однако, как показывает обзор мировой литературы, образующиеся в процессе переработки плодов тыквы отходы, являются ценным вторичным сырьем, содержащем в своем составе различные биологически активные вещества. В частности, показано, что в составе кожуры плодов тыквы содержатся пищевые волокна, пектин, каротиноиды, фенольные соединения, терпеноиды, полисахариды, аминок- и жирные кислоты, различные витамины [18].

Определено, что общее содержание пищевых волокон в кожуре плодов тыквы составляет 40,07 %, нерастворимых и растворимых пищевых волокон – 37,69 % и 2,60 %, пектина – 5,33 % [19]. Кожура тыквы включает в себя наибольшее количество общих каротиноидов (неоксантин, β -каротин, виолаксантин, полностью транс-лютеин) и изомеров (9-цис β -каротин, β -ионон, β -цикло-

цитраль, 13-цис-β-каротин, α-ионон, дигидропсевдоионон, токоферол). Выявлено, что кожура овоща содержит 10–40 % от общего содержания каротиноидов, присутствующих в тыквах. Содержание каротиноидов в кожуре плодов тыквы составляет 12–1751 мг/кг [19]. Содержание самого β-каротина в зависимости от сорта тыквы варьируется от 6,91 мг/кг до 640,99 мг/кг [20].

Также обнаружены в кожуре тыквин различные фенольные соединения. По данным работы [19], их содержание составляет 5,14 мг/г. Показана, возможность экстрагировать фенольные соединения в состав экстрактов. Так, в случае использования воды как экстрагента, содержание полифенолов в экстрактах составляет 11,0–17,7 мг GAE/1 г сухого вещества, при экстракции 20 %-ным раствором пропиленгликоля – 9,87–13,92 мг GAE/ г сухого вещества, при использовании 70 % этилового спирта – от 4,62 до 17,59 мг GAE/ 1 г сухого вещества [21]. В составе экстрактов из кожуры плодов тыквы идентифицированы некоторые фенольные соединения, в частности, эпикатехин, кемпферол-О-дидезоксигексозил-гексозид, изорамнетин-О-дидезоксигексозил-гексозид и 7 4-О-(6/-О-Глюкозил-4/-гидроксibenзоил)-4-гидроксibenзиловый спирт [22].

Определенное содержание протеинов в составе кожуры тыквы составило 3,66 % [19]. Указывается, что содержание протеинов в составе кожуры плодов тыквы варьируется от 1,65 % до 25,0 % [23]. Был исследован аминокислотный состав порошка тыквенной кожуры, и определено, что аспарагиновая кислота является самой распространенной аминокислотой в кожуре (2,64 %), за ней следуют глутаминовая кислота (2,53 %) и лейцин (1,21 %). В работе [19] определено содержание аминокислот в различных частях биомассы плода *Cucurbita maxima*, в том числе и в кожуре, мг/г: аспарагиновая кислота – 8,49, треонин – 3,44, серин – 4,73, глутаминовая кислота – 11,48, глицин – 4,85, аланин – 6,39, цистеин – 1,79, валин – 7,16, метионин – 2,88, изолейцин – 3,62, лейцин – 6,99, тирозин – 3,95, фенилаланин – 4,64, гистидин – 5,65, лизин – 15,74, аргинин – 4,65 и пролин – 3,64.

Содержание жирных кислот в составе кожуры тыквин колеблется от 0,27 % до 6,57 % [24]. Содержание жирных кислот в % от общего содержания в кожуре вышеуказанных видов тыквы составляет: ленолеиновая – 36,4–56,6 %, олеиновая – 14,83–32,4 %, пальмитиновая – 10,84–12,97 %, стеариновая – 4,67–7,33 %, содержание остальных жирных кислот менее 1 % или совсем не

обнаружены [25]. Содержание липидов составляет от 3,6 до 7,6 г/100 г сухого вещества, углеводов – 37–85 г/100 г сухого вещества.

Кроме того, в составе кожуры плодов тыквы идентифицированы такие химические элементы, мг/кг: Fe (63,98), Mn (7,33), Zn (31,42), Cu (5,37), Na (707,22), K (2255,53), Ca (5856,66), Mg (3441,83) и P (7998,87) [19]. В работе [26]. Определено содержание следующих металлов в кожуре плодов тыквы, мг/100 г сухого вещества: Ca (5571), Fe (247,33), Zn (42,92) и Cu (12,91)

Учитывая большой набор биологически активных веществ и элементов, кожура плодов тыкв оказывает антиоксидантное, противодиабетическое, антираковое действие, проявляет иммуномодулирующую, противовоспалительную, антимикробную и противовирусную, антигемолитическую, антигипергликемическую и антигиперлипидемическую активность. Вышеназванное обстоятельство делает порошок кожуры тыквы ценной нутрицевтической добавкой в различных продуктах питания, в том числе и мясных. Однако, проведенный анализ литературных источников выявил практическое отсутствие исследований по использованию кожуры в рецептурах мясных изделий.

Так, оценено влияния добавления порошка из кожуры тыквы на физико-химические, кулинарные и сенсорные характеристики говяжьего бургера. Было приготовлено пять гамбургеров: стандартный и опытные с добавлением тыквенной муки в количестве 1–4 % в рецептуру изделия. Порошок из кожуры плодов тыквы характеризовался высоким содержанием минералов, углеводов и пищевых волокон, что улучшило пищевой профиль гамбургера. Отмечено также увеличение выхода готового продукта, удержания влаги и снижение усадки и удержания жира по мере увеличения уровня добавления тыквенной муки. Также определено, что включение порошка в количестве 3 и 4 % в состав мясного бургера улучшает сенсорные характеристики изделия. Определено, что все рецептуры показали индекс приемлемости более 70 % [27].

Отсутствие исследований по использованию кожуры тыкв в рецептурах мясных продуктов питания, наличие в их составе большого количества биологически активных веществ, придающих продуктам питания большой спектр нутрицевтических свойств, делает данное направление весьма перспективной областью научных разработок.

Список литературы

1. Valorization of peel-based agro-waste flour for food products: a systematic review on proximate composition and functional properties / D. Lesmana, Y.M. Vianney, Y.A. Goenawan et al. // ACS Food Science & Technology. 2021. Vol. 2. No 1. P. 3-20.
2. High value-added compounds from fruit and vegetable by-products—Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products / J.P. Trigo, E.M. Alexandre, J.A. Saraiva, M.E. Pintado // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. Vol. 60. No 8. P. 1388-1416.
3. Natural plant fibers obtained from agricultural residue used as an ingredient in food matrixes or packaging materials: A review / Y. Soleimanian, I. Sanou, S.L. Turgeon et al. // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2022. Vol. 21. No 1. P. 371-415.
4. Mohamed K., Khalil E., Arafa S. Utilization of food industry by-products in producing high added value foods: a review // Food Technology Research Journal. 2023. Vol. 2. No 1. P. 1-11.
5. Shammari B.B.J. The use of food processing by-products to improve the quality characteristics and nutritional value of baked products // Iraqi Journal of Market Research and Consumer Protection. 2023. Vol. 15. No 2. P. 265-274.
6. Sustainable recovery of preservative and bioactive compounds from food industry bioresidues / M.G. Leichtweis, M.B.P. Oliveira, I.C. Ferreira // Antioxidants. 2021. Vol. 10-11. P. 1-20.
7. Martínez-Yañez R.C., Rodríguez-Huezo M.E. Obtención de fibra soluble a partir de desechos agroindustriales y su aplicación en alimentos // Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2023. Vol. 8. No 1. P. 724-731.
8. Side streams of vegetable processing and its bioactive compounds support microbiota, intestine milieu, and immune system / J. Fotschki, A.M. Ogradowczyk, B. Wróblewska, J. Juśkiewicz // Molecules. 2023. Vol. 28. No 11. Article 4340.
9. Pathania S., Kaur N. Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients // Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre. 2022. Vol. 27. P.1-8.
10. Использование кожуры плодов тыквы и тыквенных выжимок в продуктах питания (обзор литературы) / С.В. Борисова, К.И. Шайхиева, А.А. Фазуллина, И.Г. Шайхиев // Пищевая промышленность. 2026. № 1. С. 10-19.

11. Использование отходов от переработки гороха (*Pisum sativum*) в продуктах питания / К.И. Шайхиева, С.В. Степанова, С.В. Борисова, И.Г. Шайхиев // Пищевая промышленность. 2025. № 9. С. 56-65.
12. Борисова С.В., Шайхиева К.И., Степанова С.В. Использование жома сахарной свеклы в рецептуре хлебных изделий (по данным литературных источников) // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности». Казань, 2025. С. 390-397.
13. Шайхиева К.И., Степанова С.В., Борисова С.В. Использование отходов от переработки стручков фасоли в качестве ингредиентов в пищевых изделиях // Сборник докладов международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология». Белгород. 2024. С. 209-212.
14. Loy J.B. Morpho-physiological aspects of productivity and quality in squash and pumpkins (*Cucurbita* spp.) // Critical Reviews in Plant Sciences. 2004. Vol. 23. No 4. P. 337-363.
15. Елисеева Т., Ямпольский А. Тыква (лат. *Cucurbita*) // Журнал здорового питания и диетологии. 2018. Т. 4. № 6. С. 23-33.
16. Utilization of pumpkin, pumpkin powders, extracts, isolates, purified bioactives and pumpkin based functional food products: A key strategy to improve health in current post COVID 19 period: An updated review / A. Hussain, T. Kausar, S. Sehar et al. // Applied Food Research. 2022. Vol. 2. No 2. P. 1-9.
17. Tsegay Z.T., Gebreegziabher S.T.B., Mulaw G. Nutritional qualities and valorization trends of vegetable and fruit byproducts: A comprehensive review // Journal of Food Quality. 2024. Article ID 5518577. P. 1-42.
18. Tran G.T., Nguyen D.T.C. Innovative approaches to transform pumpkin peel-based biowaste into value-added products // Biomass Conversion and Biorefinery. 2024. P. 1-11.
19. Bioaccessibility and bioavailability changes of phenolic compounds in pumpkins (*Cucurbita moschata*): A review / Z. Yang, B.K. Amrit, W. Zhao et al. // Food Bioscience. 2022. Vol. 47. Article 101753. P. 1-15.

20. Valorization of pumpkin byproducts: antioxidant activity and carotenoid characterization of extracts from peel and filaments / N. Pinna, F. Ianni, R. Selvaggini et al. // *Foods*. 2023. Vol. 12. No 21. P. 1-13.
21. Valuable compounds derived from cucurbitaceae subproducts and potential ways of its valorization / I. Galit, N. Radu, N. Babeanu, O. Coman // *Scientific Papers. Series B. Horticulture*. 2024. Vol. 68. No 1. P. 1-13.
22. Valorization of pumpkin peel as a source of bioactive compounds: Optimization of heat-and ultrasound-assisted extraction / M.G. Leichtweis, A.K. Molina, S.A. Petropoulos et al. // *Molecules*. 2023. Vol. 28. No 7. P. 1-22.
23. Pumpkin and pumpkin by-products: A comprehensive overview of phytochemicals, extraction, health benefits, and food applications / R.N. Gavril, F. Stoica, F.D. Lipşa et al. // *Foods*. 2024. Vol. 13. No 17. P.1-28.
24. A comprehensive review of functional ingredients, especially bioactive compounds present in pumpkin peel, flesh and seeds, and their health benefits / A. Hussain, T. Kausar, S. Sehar et al. // *Food Chemistry Advances*. 2022. Vol. 1. P.1-11.
25. Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (Cucurbitaceae) species and parts / M.Y. Kim, E.J. Kim, Y.N. Kim et al. // *Nutrition Research and Practice*. 2012. Vol. 6. No 1. P. 21-27.
26. Chemical composition and biological activity of ripe pumpkin fruits (*Cucurbita pepo* L.) cultivated in Egyptian habitats / S.E.A. Badr, M. Shaaban, Y.M. Elkholy et al. // *Natural Product Research*. 2011. Vol. 25. No 16. P. 1524-1539.
27. Addition of pumpkin peel flour affect physicochemical and sensory characteristics of bovine burger / G.L. Hartmann, A.M. Marconato, M.R. Santos et al. // *International Journal of Regulation and Governance*. 2020. Vol. 8. No 2. P. 254-263.

Исследование процесса регенерации отработанных моторных масел

Шанина П. А.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Шабрина А. А.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Пестерникова Г. Г.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Шарифуллин А. В.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: проведено исследование методов утилизации и переработки отработанных моторных масел и их влияния на окружающую среду. Описан один из способов очистки масел - сорбционная очистка с предварительной вакуумной дистилляцией. Выявлена динамика изменений основных физико-химических характеристик после каждого этапа очистки.

Ключевые слова: отработанные моторные масла, регенерация, сорбционная очистка

В 2025 году российский рынок моторных масел оценивался примерно в 1,32 млрд. литров и прогнозируется только рост [1]. Основная функция смазочных материалов – снижение трения и износа между деталями металлических поверхностей, продление срока службы оборудования и экономия ресурсов и энергии. Крупнейшим сектором рынка смазочных материалов является моторное масло, используемое в автомобильных двигателях. На фоне дефицита многих санкционных автомобильных марок, авторынок демонстрирует восстановление после падения в 2025 году и стремительно растет благодаря китайским и локальным брендам. Растет и потребление моторных масел и параллельно с ним частота замен отработанного масла (ОМ).

Согласно собранным и проанализированным данным, оценки объема потребления смазочных масел различных видов отличаются высокой

изменчивостью в зависимости от применяемых подходов и используемых данных. Так, по разным источникам, их количество составляло в России в последние годы от 1 850 тыс.т до 3 000 тыс.т и более [2]. При этом, согласно сложившейся практике, 30% этого количества считаются сгорающими в процессе эксплуатации, а еще 30% - не собираются из-за отсутствия возможностей его слива и транспортировки на места сбора. Наиболее сложная ситуация со сбором в настоящий момент складывается в удаленных от крупных промышленных и жилых центров населенных пунктах (села, деревни, малые города), где обращение с отработанными смазочными маслами требует больших транспортных расходов, денежных, а также временных затрат.

В таком случае, образование отработанных моторных масел составляет от 1 295 тыс.т до 2 100 тыс.т, при этом собирается в настоящее время только от 740 тыс.т до 1 200 тыс.т отработанных масел. Объем утилизации отработанных смазочных масел составляет около 200 тыс.т (что составляет от 10 до 15 % обрабатываемых масел), из которых только 100 тыс.т – путем регенерации.

У отработанного масла есть несколько путей утилизации. Отработанное масло, не пошедшее на сбор в специализированные пункты сбора, может сливаться на рельеф, а также в различные водоемы. Собранное ОМ может быть сожжено или переработано с использованием различных технологий, а именно: сжигание с использованием выделившегося тепла и энергии или переработка/очистка с целью восстановления прежних товарных характеристик.

Согласно оценкам экспертов, в России сжигается минимум 650 тыс. тонн отработанных масел в год или 85% собираемого масла. Несобранное масло попадает в незаконный оборот топливных продуктов, которые значительно загрязняют окружающую среду, являясь отходами 3 класса опасности. Владельцы автомобилей предпочитают сдавать масло по более низкой цене в те точки сбора, которые являются главными конкурентами автосервисов, отправляющие отработанное моторное масло на переработку. Так называемый «гаражный» сервис утилизирует масла сливом их в близлежащие водоемы или обычным сжиганием. При этом следует помнить, что при сжигании ОММ возможно выделение веществ фенильной группы (включая полихлорированные бифенилы), которые входят в 1 класс опасности.

Утилизации отходов различных процессов нефтепереработки, с вовлечением удаляемых компонентов в другие процессы и получением новых,

уделяется особое внимание. Ввиду увеличения объемов производства и потребления нефтепродуктов необходимо отметить, что рациональное природопользование должно включать полный цикл по хранению, сбору и рекуперации углеводородов.

На текущий момент в Российской Федерации отсутствует централизованная система сбора и переработки отработанных моторных масел (ОММ), но распространен их топливный путь использования с получением печного топлива. Специализированные пункты приема ОММ работают по схеме сбора всех сданных им ОММ в одну тару для удобства в транспортировке и хранении. В качестве топлива смесь различных видов моторных масел не представляет трудностей в технологии ее сжигания, но как было сказано выше, способно выделять опасные и даже канцерогенные вещества. Но если говорить о переработке, то она сопряжена со сложностью определения масляной основы, поскольку в зависимости от своего первоначального состава, масло может быть синтетическим (состоящее из полиальфаолефинов), минеральным (на основе высокомолекулярных углеводородов) и полусинтетическим, что является смесью двух предыдущих. Это разнообразие затрудняет выбор подходящей технологии переработки, так как каждая категория требует уникальных подходов к утилизации и рециклингу. Учитывая, что деградация масла не происходит полностью, потенциал получения очищенного масла с характеристиками, соответствующие товарному, довольно высок.

В ранее проведенных работах по изучению вакуумной дистилляции было установлено, что одна стадия не может рассматриваться как монооперация и для достижения полного комплекса эксплуатационных свойств схема переработки ОММ должна быть дополнена стадией сорбционной доочистки. На основе проведенных исследований можно представить следующий вариант использования ОММ в системе полного рецикла, представленной на рис. 1.

Настоящее исследование посвящено изучению физико-химических и эксплуатационных характеристик исходного и восстановленного образца масла на стадии сорбционной доочистки с различным расходом сорбента.

В последнее время для регенерации отработанных масел активно используют сорбенты. Они позволяют эффективно удалять смолистые вещества, кислоты и другие загрязнения, образующиеся при старении масла. Правильный

выбор сорбента позволяет достичь высокой степени очистки, а простота процесса делает адсорбционную очистку особенно привлекательной.

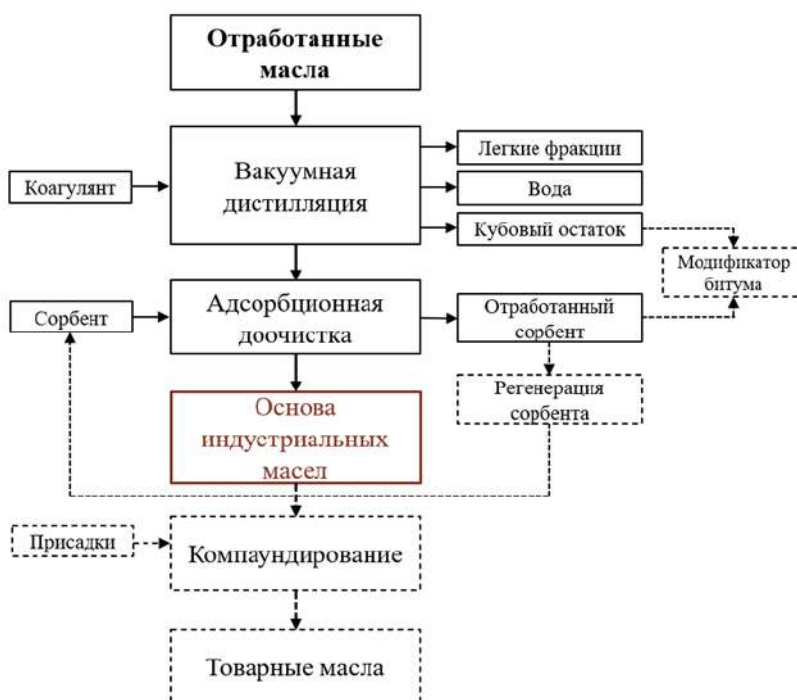


Рис. 1. Блок-схема процесса 2-стадийной регенерации масел

Для определения эффективности сорбционной способности и оптимального расхода адсорбента был проведен ряд лабораторных испытаний с различным соотношением сорбент:масло (1:10; 1:20; 1:30; 1:40). Оценивалась эффективность применения опытного образца сорбента под условным наименованием «Силином-СОРБ» на основе микронизированного аморфного диоксида кремния, синтезированного на кафедре «Технологии неорганических веществ и материалов». Анализ проводился согласно ГОСТ 20799-2022 по трем основным параметрам: показатель кинематической вязкости, содержание общей серы и цветность. Результаты испытаний приведены на рис. 2.

Значения кинематической вязкости, определенной в соответствии с ГОСТ 33-2016, снижаются по мере увеличения соотношения сорбент:масло, что говорит об удалении из отработанного образца остатков смолистых и высоковязких продуктов окисления [3].

Определение серы проводилось в соответствии с ГОСТ Р 51947-2002. Как видно на диаграмме, процентное содержание серы в исходном образце уже соответствует экологическому нормативу Евро-5. Само изменение после

сорбционной доочистки незначительно и можно сделать вывод, что вакуумная дистилляция справляется с удалением сернистых соединений. Цвет масел после каждого этапа регенерации измерялся на колориметре ЦНТ согласно ГОСТ 20284-74. На диаграмме наглядно показано изменение цветности с помощью колонок различных оттенков. По мере увеличения расхода сорбента, уменьшалось количество окрашивающих смолистых соединений.

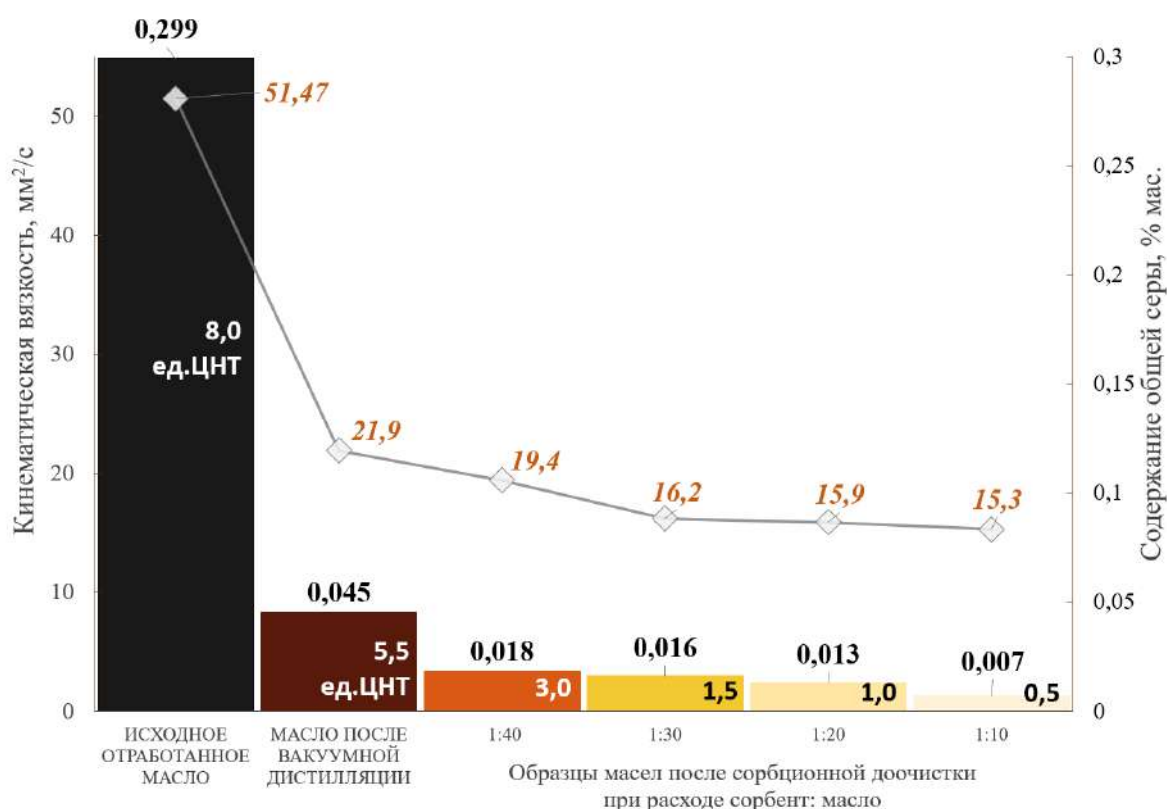


Рис. 2. Зависимость кинематической вязкости, содержания общей серы и цветности образцов масел при различной степени очистки отработанного масла

После проведения всех вышеописанных экспериментов процесса регенерации ОММ через сорбент можно сделать вывод, что оптимальным соотношением сорбент: масло является 1:30, так как последующее увеличение расхода сорбента в меньшей степени влияет на степень очистки.

Комбинированная технология регенерации отработанных моторных масел, основанная на вакуумной дистилляции с последующей сорбционной доочисткой, является экологически безопасным решением и вносит вклад в решение проблемы утилизации отходов и сбережения природных ресурсов. Проведенное исследование лишь подчеркивает важность изучения и разработок

новых технологий регенерации отработанных масел, поскольку все еще отсутствует технология быстрого определения состава ОММ, что помогло более ускоренно подобрать способ регенерации. Дальнейшее развитие технологии должно быть направлено на создание замкнутых систем регенерации с рециклингом отработанных адсорбентов и повышение энергоэффективности процесса.

Список литературы

1. Russia Lubricants Market Size & Share Analysis [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/russia-lubricants-marke](https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/russia-lubricants-market)
2. Романовская А.А., д.б.н., чл.-корр. РАН, Нахутин А.И., к.ф.-м.н., Гинзбург В.А., к.г.н., Грбар В.А., к.б.н., Имшенник Е.В., к.г.н., Карабань Р.Т., к.с.-х.н., Коротков В.Н., к.б.н., Вертянкина В.Ю., Григурина Т.В., Говор И.Л., Литвинчук Г.Г., Лытов В.М., Полумиева П.Д., Попов Н. В., Трунов А.А., Прохорова Л.А. НАЦИОНАЛЬНЫЙ ДОКЛАД О КАДАСТРЕ антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2020гг
3. Шашкин, П. И. Регенерация отработанных нефтяных масел // П. И. Шашкин, И. В. Брай. - М.: Химия, 1970. - 304 с.

Секция 4. УПРАВЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ В СИСТЕМЕ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 628.3.477.8

Применение газового хроматографа «Кристалл-5000» с ионной комплектацией для мониторинга содержания угарного газа в выбросах ТЭС

Акчурина А. Р.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева – КАИ

Галимова А. Р.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева – КАИ

Аннотация: в работе рассматривается применение газового хроматографа «Кристалл-5000» с ионной комплектацией для мониторинга содержания угарного газа (монооксида углерода, CO) в выбросах теплоэлектростанций. Описаны современные методы газохроматографического анализа. Проведён сравнительный анализ характеристик различных хроматографов, обосновывающий выбор прибора «Кристалл-5000» для экологического контроля. Приведена методика отбора и анализа проб воздуха, а также результаты измерений концентраций CO и метана, не превышающие предельно допустимых значений.

Ключевые слова: газовый хроматограф, угарный газ, выбросы ТЭС, реакционная газовая хроматография, пламенно-ионизационный детектор, анализ воздуха

Мониторинг компонентов атмосферного воздуха и их количества в нем – необходимый этап работе над качеством атмосферного воздуха. Огромное количество угарного газа попадает в атмосферный воздух от автомобилей и предприятий, в том числе и от теплоэлектростанций, что в свою очередь плачевно влияет на качество атмосферного воздуха и делает его очень опасным как для здоровья человека, так и для всех.

Существует множество различных способов для определения угарного газа в воздухе, одним из таких методов является газовая хроматография,

которая в свою очередь включается в себя несколько своих методов. Одним из них является метод пламенно-ионизационной газовой хроматографии.

Хроматографические методы определения обладают высокой чувствительностью (до 10–8 %) и точностью (до 0,5 %). Следует особо отметить экспрессность хроматографического разделения смесей. Так, при использовании современной безинерционной детектирующей и регистрирующей аппаратуры разделение нескольких компонентов можно осуществить за минуты и даже секунды.

Метод газовой хроматографии получил наибольшее распространение, поскольку для него наиболее полно разработаны теория и аппаратное оформление. Газовая хроматография – это гибридный метод, позволяющий одновременно проводить и разделение, и определение компонентов смеси. Для определения содержания СО в воздухе, как правило, используется метод реакционной газовой хроматографии. Реакционная хроматография является одним из наиболее точных методов для определения низких концентраций СО с диапазоном измерений от 2,0 до 600 мг/дм³. В таблице 1 сравниваются различные методы газохроматографического определения содержания монооксида углерода.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов определения СО

Реакция	Катализатор	Детектируемое соединение	Детектор
$\text{CO} + \text{NO}_2 = \text{CO}_2 + \text{NO}$	палладий, 350°C	NO	ХЛД (хемилюминесцентный детектор)
$\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$	никель, 450°C	CH ₄	ПВД (пламенно-ионизационный детектор)
Прямое детектирование	–	СО	ГИД (гелиевый ионизационный детектор)

Пламенно-ионизационный детектор наиболее широко используется в газовой хроматографии. Как известно, газы не проводят ток в нормальных условиях. Если под воздействием пламени или радиоактивного излучения в газе образуются ионы, радикалы или свободные электроны, то даже при очень небольшой концентрации этих частиц газы становятся проводниками

электрического тока. Принцип действия пламенно-ионизационного детектора основан на ионизации, происходящей при горении за счет энергии окисления углерода.

В результате патентно-реферативного поиска было выявлено несколько пламенно-ионизационных газовых хроматографов. Обзор пламенно-ионизационных газовых хроматографов и их характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2

Обзор пламенно-ионизационных газовых хроматографов

Марка прибора	Область применения	Достоинства/Недостатки
«Цвет-800»	Предназначен для анализа сложных многокомпонентных смесей органических и неорганических соединений.	<p>Универсальность применения за счет возможности использования шести детектирующих систем, капиллярных и насадочных колонок и дополнительных устройств.</p> <p>Высокая чувствительность прибора, позволяющая определять микропримеси от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ без концентрирования и от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-10}$ % об. С предварительным концентрированием пробы.</p> <p>Высокая точность анализа.</p> <p>Широкий набор тестируемых кварцевых капиллярных и насадочных колонок.</p> <p>Ручной и автоматический ввод газовых или жидких проб.</p> <p>Задание режимных параметров с персонального компьютера или пульта.</p>

		Цифровой и аналоговый выходы, позволяющие проводить обработку выходной информации персональным компьютером или выводить на самопи-сец для ручной обработки.
ЛХМ-2000М	Хроматографические анализы газовых и жидких смесей, органических и неорганических соединений в лабораториях и на технологических потоках в нефтеперерабатывающей, химической, металлургической отраслях промышленности, в фармакологии, а также научные исследования, контроль загрязнения окружающей среды и др.	В аналитический блок хроматографа ЛХМ-2000М может быть одновременно установлено до трех детекторов различных типов. В хроматографе имеется возможность простого и оперативного перехода к работе с любым из детекторов, входящих в комплект поставки.
«Кристалл 5000»	Для медицинских исследований, производственных, контролирующих и научно-исследовательских лабораторий и центров.	Электронное регулирование расхода и давления газов. Объемный термостат, достаточный для размещения любых колонок. Свободный доступ к устройствам при техническом обслуживании. Простота в ежедневной работе и широкие возможности модернизации.
ГАЛС-311	Контроль загрязнения объектов окружающей среды (воздух, вода, почва) и выбросов промышленных предприятий Технологический контроль в химической, нефтехимической, газовой,	Высокая точность поддержания температуры колонок, испарителей и детекторов. Пятиступенчатое линейное программирование температуры колонок с высокой воспроизводимостью.

	пищевой и других отраслях промышленности Контроль качества и сертификация пищевых продуктов Научные исследования.	Автоматизированная система самодиагностики, система защиты от внезапных перепадов напряжения электропитания и его внезапного отключения, система автосохранения условий анализа. Возможность регистрации хроматограмм на самописце или с использованием компьютерной системы сбора и обработки данных.
--	---	---

После анализа существующих газовых хроматографов на основе литературных источников для определения оксида углерода в выбросах был выбран газовый хроматограф «Кристалл-5000». Помимо того, что прибор обеспечивает достаточно точные и быстрые результаты, его можно использовать как в медицинских, так и в научно-исследовательских и промышленных целях.

В данной работе была использована методика выполнения измерений массовых концентраций оксида углерода и метана в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах методом реакционной газовой хроматографии (ПНД Ф 13.1:2:3.27-99). Диапазон измеряемых концентраций от 2,0 до 600 мг/м³. В этой методике определение содержания оксида углерода и метана в пробе газа основано на использовании метода реакционной газовой хроматографии, который включает отделение метана и оксида углерода из воздуха в колонке с цеолитами, превращение оксида углерода в метан на никелевом катализаторе и обнаружение пламенно-ионизационным детектором.

Анализируемый газ отбирали в стеклянные газовые пипетки на 250–500 см³. Анализируемым газом промывают пипетку со скоростью 0,5–2 дм³/мин, перекрывают оба зажима одновременно, выключают аспиратор и отсоединяют пипетку от системы. В процессе отбора измеряется температура и давление газовой пробы у пипетки. Газовые пипетки или цельностеклянные шприцы с анализируемыми образцами предварительно выдерживают в помещении при комнатной температуре. Образец вводится в хроматограф с помощью дозирующего крана не менее 3 раз. Кран дозатора переводится

в положение «отбор», подсоединяется шприц или газовая пипетка и проба (объемом 20-30 см³) вытесняется в дозу. Объем пробы, вводимой в хроматограф, составляет 2 см³. Вытеснение образцов из пипеток осуществляют насыщенным раствором хлорида натрия. Затем отсоедините шприц или газовую пипетку от крана дозатора, чтобы выровнять давление в нем, и через 1-2 секунды переведите кран дозатора в положение «анализ». Подсоединение и отсоединение шприца (пипетки) должно осуществляться таким образом, чтобы в пробу не попадал воздух. Для этого следует поддерживать избыточное давление пробы в шприце (пипетке) с помощью поршня (раствор хлорида натрия). Во время анализа измеряют атмосферное давление (Па, кПа) и температуру дозы (таб °С).

В результате проведенных исследований содержание метана в атмосферном воздухе составило $1,269 \pm 0.29$ мг/дм³. Результат не превышает ПДК (7000 мг/дм³). Содержание угарного газа в атмосферном воздухе составило 0.245 ± 0.056 мг/дм³. Результат не превышает ПДК (5 мг/дм³).

Таким образом, применение газового хроматографа «Кристалл-5000» с ионной комплектацией обеспечивает точное, быстрое и надёжное определение содержания угарного газа в выбросах теплоэлектростанций. Метод реакционной газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором позволяет проводить мониторинг на уровне, соответствующем современным экологическим требованиям.

Список литературы

1. Дмитриев М.Т. Газохроматографическое определение окиси углерода с пламенно-ионизационным детектором в атмосферном воздухе / М.Т. Дмитриев, Н.А. Китросский, Л.Г. Масленковский // Гигиена и санитария. – 1976. – №9. – С. 60-64.
2. Яшин Я.И., Яшин Е.Я., Яшин А.Я. Газовая хроматография. Москва: РосКонсульт, 2009. 528 с.
3. Чомаева М.Н. Основные Источники Загрязнения Атмосферы На Территории Карачаево-Черкесии / М.Н. Чомаева, Р.Ю. Джуртубаев // Евразийский Союз Ученых. – 2014. – № 8-5. – С. 71-72.

4. Хроматография [Электронный ресурс] : интерактив. справочник. – URL: <http://chromatography.narod.ru/links/index.html> (дата обращения 06.04.2026).
5. ПНД Ф13.1:2:3.27-99 Методика выполнения измерений массовых концентраций оксида углерода и метана в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах методом реакционной газовой хроматографии [Электронный ресурс] : интерактив. справочник. - URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/5ee/4293775501.pdf> (дата обращения 06.04.2026).

Экологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения в РФ

Ахмадиев Г. М.

Профессор

ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Набережные Челны

Аннотация: целью настоящей работы является экологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения, включая при проявлениях чрезвычайных ситуаций техногенного характера, что и необходимо проводить оценку, прогнозирование для принятия конкретных технических и технологических решений. Эффективное решение экологических задач подразумевает применение комплексного, многоуровневого подхода к анализу отобранных проб для проведения экологического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. В исследованиях часто и необходимо применять сочетание методов: оперативные количественные (ИК-спектрометрия, флуориметрия) для скрининга и мониторинга; высокоселективные хроматографические (ГХ, ГХ–МС) для детальной характеристики состава, решения специфических задач (источник, нормирование, прогноз) и корректировки данных, полученных количественными методами (особенно при наличии легких фракций).

Ключевые слова: экологический мониторинг, земля сельскохозяйственного назначения, нефтепродукты, радиоактивная и химическая опасность, чрезвычайная ситуация техногенного характера

Актуальность проблемы. Указом Президента РФ определена стратегия экологической безопасности Российской Федерации на долгосрочные периоды. Экологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения является приоритетной неотделимой составной частью государственного мониторинга земель и представляет собой систему наблюдений, оценки и прогнозирования, направленных на получение достоверной информации о состоянии и об использовании земель сельскохозяйственного назначения на территориях РФ[1, 11].

Целью настоящей работы является экологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения с последующей аналитической оценкой, прогнозированием для принятия конкретных технических и технологических решений.

Материал и методы. Для проведения экологического мониторинга земель сельскохозяйственного назначения следует применение системного,

проблемного, территориального подходов, логических и формализованных методов анализа нацелено на выявление направлений и особенностей изменения организации земельного фонда аграрного сектора.

Для оценки загрязнений и распространения, разработки, алгоритма технологии оздоровления земель сельскохозяйственного назначения проводят отбор проб почв и грунтов, осуществляют на пробных площадках, которые представляют собой участки исследуемой территории, характеризующиеся сходными с сравнимой, остальной территорией условиями. При этом должны учитываться такие факторы, как структура почвы, рельеф, разнообразие почвенного покрова, климатические особенности региона и специфические характеристики исследуемого вещества. Размер пробной площадки, количество и вид проб зависят от целей исследования и условий его проведения. Основные нормативные документы, которыми необходимо руководствоваться при отборе проб почв.

На сегодня существует методы для определения нефтепродуктов (НП) в почве и к ним относят: для определения валового содержания массовой доли НП (неполярные, малополярные, ароматические углеводороды) – ИК-спектрометрию, флуориметрию и гравиметрию; для определения индивидуальных соединений (полиароматические углеводороды (ПАУ), бензол, толуол, фенолы и др.) – газовую и жидкостную хроматографию [8]. При этом независимо от методики определения нефтепродуктов, необходим обязательный учет содержания органических соединений самой почвы.

Выбор оптимального метода анализа почв и грунтов на наличие загрязняющих веществ (нефтепродуктов) – актуальная прикладная экологическая проблема, для решения которой следует применять комплексный подход, учитывающий множество факторов с целью уточнения определяющих, приоритетных и значимых параметров почвенной среды. При этом нельзя однозначно утверждать, какой метод лучше для оценки и прогнозирования, так как ответ напрямую зависит от конкретных условий исследования. Один из ключевых параметров – состав почвы. Глинистые почвы, с их высокой адсорбционной способностью, требуют специфической пробоподготовки и, возможно, использования более сверхпороговых веществ, сильнодействующих экстрагентов для эффективного извлечения НП. Песчаные почвы, напротив, характеризуются меньшей способностью адсорбций, что упрощает процедуру экстракции. При анализе

органогенных почв, богатых органическим веществом, следует уделять особое внимание выбору методики, так, как органическая матрица может искажать ожидаемые результаты исследования. Для каждого из этих типов почв требуется выбор оптимальных способов и реагентов для пробоподготовки, что напрямую влияет на применяемый метод анализа [8].

Экологический мониторинг осуществляется по согласованному нормативно-правовому регулированию в сфере агропромышленного комплекса и участием органов государственной власти субъектов Российской Федерации, в установленном порядке федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере агропромышленного комплекса [2, 10].

В 2021 г. утвержденной Государственной программе направленного на развитие мелиоративного комплекса Российской Федерации, обозначена необходимость проведения земельного контроля и проведение эффективных мероприятий [2]. Основной целью программы являлись осуществление сбора и систематизация данных о землях сельскохозяйственного назначения [3–5].

К основным приоритетным прикладным проблемам актуализации достоверной информации о землях сельскохозяйственного назначения относят недостаток финансирования и ресурсов для проведения регулярного мониторинга и обновления данных, недостаточное владение геоинформационными системами и другими инструментами аналитики земельных ресурсов, отсутствие обмена информацией между структурами, выполняющими эти функции [6].

В результате аварии на Чернобыльской АЭС территория Брянской области земельные ресурсы, почва подверглась интенсивному радиоактивному поражению. Природное и агрохимическое очищение угодий от радионуклидов происходит вследствие естественного распада изотопов и реализации системы мер реабилитации территории. Особый вызов – экологическая Чернобыльская катастрофа – наиболее значим для самой радиоактивно загрязненной юго-западной урбанизированной территории. Этот регион отличает сложное «сочетание» общероссийских и региональных процессов, наиболее проблемная перестройка земельного фонда [7].

Многоцелевые программы – федеральные российские, областные, Союзного государства России и Белоруссии по развитию территорий, подвергшихся

радиоактивному воздействию вследствие чернобыльской катастрофы, к настоящему времени завершены. Проведение эффективного комплекса реабилитационных мероприятий возможно в рамках новой специальной целевой программы по преодолению последствий аварии на ЧАЭС в юго-западных районах Брянской области [7].

В регионах РФ, на урбанизированных территориях приоритетной текущей проблемой, неблагоприятными факторами и загрязнителями являются нефтепродукты (НП), которые относятся к наиболее опасным и распространенным контаминантам почвенного покрова, особенно в районах нефтедобычи, транспортировки и промышленных производств. Источники загрязнения значительных территорий: аварии на трубопроводах; утечки с нефтебаз и АЗС; деятельность нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий; транспорт. Последствия такого долгосрочного неблагоприятного воздействия крайне негативны и многообразны. Во-первых, происходит снижение плодородия почв, что и приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур и нарушению функционирования агропромышленных экосистем. Во-вторых, нефтепродукты токсичны и оказывают губительное воздействие на почвенную биоту, в частности микроорганизмам, растениям и животным, обитаемых в почвенной среде. В-третьих, такие почвы становятся источником загрязнения грунтовых вод, что влияет на качество питьевой воды. Кроме того, нефтепродукты легко воспламеняются, создавая высокую пожарную природно-техногенную, техносферную опасность. Наконец, загрязнение почв нефтепродуктами ухудшает экологическую обстановку и санитарно-гигиенические условия в окружающей среде, что может негативно сказаться на продуктивности и устойчивости растений, жизнеспособности и воспроизводимых показателях, здоровья сельскохозяйственных животных, птиц и может способствовать к снижению устойчивости человека к болезням разной этиологии [8].

Таким образом, очевидно, что масштабные и долгосрочные последствия загрязнения почв, грунтов и донных отложений нефтью и нефтепродуктами требуют принятия серьезных мер по предотвращению и ликвидации существующих загрязнений. В связи с этим к основным экологическим задачам относятся мониторинг состояния почв и грунтов в районах, расположенных промышленных производств, нефтедобычи и нефтепереработки. Обращает на себе внимание и приемы оценки поверхностных и глубинных нефтяных загрязнений

территорий при разработке проектов рекультивации; контроль полноты выполнения рекультивационных работ и приемов по восстановлению нефтезагрязненных участков; оценка и прогнозирование процессов самовосстановления нефтезагрязненных участков; разработка нормативов ПДК нефтепродуктов с учетом содержания легких фракций в почвах, грунтах и донных отложениях; идентификация источника нефтяного загрязнения [9, 12].

Результаты. В результате аварии на Чернобыльской АЭС урбанизированная агропромышленная территория Брянской области подверглась интенсивному радиоактивному загрязнению и значимому губительному поражению. Практически 38 % пашни, 45 % сенокосов и пастбищ области имели плотность загрязнения цезием-137 (Cs) более 1 Ки/км² [14]. Вследствие этого с 1986 года в субъекте из сельскохозяйственного оборота было изъято 93 тыс. га земель [13]. Наиболее пострадал юго-запад. Здесь уровень загрязнения почв превысил показатели, которые были до аварии, в 55-428 раз, а по отдельным участкам – более чем в 1000 раз [14]. Природное и агрохимическое очищение угодий от радионуклидов происходит вследствие естественного распада изотопов и реализации системы мер реабилитации территории. Однако ситуация улучшается довольно медленно и что желает скорейшему оздоровлению земельных ресурсов Брянской области.

Ожидаемый уровень загрязнения НП играет прикладную ключевую роль. Если ожидается высокое содержание НП, то можно использовать менее чувствительные методы, например ИК-спектроскопию. Однако, для обнаружения следовых количеств загрязняющих веществ необходима высокая чувствительность, которую обеспечивает ГХ–МС, с ее низкими пределами обнаружения. Этот аспект критичен для оценки экологического риска и принятия решений по рекультивации загрязненных территорий. Точность получения ожидаемых результатов – еще один важный критерий. Для нормирования и проведения судебных экологических экспертиз предъявляются строгие требования к точности исследованиям и воспроизведению достоверных данных. В таких случаях предпочтительнее использовать более точные и валидированные методы, часто с более сложной и дорогостоящей аппаратурой, такие, как ГХ–МС. Для рутинного экологического мониторинга допустимы методы с меньшей точностью, но более высокой пропускной способностью. Финансовые и технические ресурсы лаборатории также оказывают существенное влияние ГХ–МС – дорогостоящий

и сложный в обслуживании метод, требующий привлечения квалифицированного персонала. ИК-спектрометрия и флуориметрия являются более доступными и простыми в использовании методами, несмотря на необходимость калибровки и применения, стандартных образцов. Выбор метода анализа неизбежно зависит от имеющегося в лаборатории материалов, оборудования и бюджета. Значимый фактор – время, необходимое для проведения анализа. Быстрые экспресс-методы, например, некоторые варианты ИК-спектроскопии и флуориметрии, подходят для оперативного экологического контроля и мониторинга безопасности. Более длительные, но информативные методы, такие как ГХ/ГХ–МС, применяют для детальных исследований и оценки широкого спектра загрязняющих веществ. Наконец, нельзя забывать о нормативной базе. Многие страны имеют национальные стандарты (ГОСТ, РД, СанПиН), регламентирующие методы анализа почв для конкретных задач. Например, для определенных видов контроля ГОСТ предписывает обязательное использование ИК-спектроскопии, несмотря на преимущества ГХ–МС в других случаях. Игнорирование нормативной базы может привести к недостоверным результатам и юридическим проблемам.

На основании проведенного анализа и специфики выбора методов определения нефтепродуктов в почвах и грунтах для решения различных приоритетных, фундаментальных, прикладных экологических задач можно сформулировать следующие ключевые выводы [8].

Обсуждение. Эффективное решение проблемных экологических задач подразумевает применение комплексного, многоуровневого подхода к анализу отобранных проб. Часто необходимо сочетание методов: оперативные количественные (ИК-спектрометрия, флуориметрия) для скрининга и мониторинга; высокоселективные хроматографические (ГХ, ГХ–МС) для детальной характеристики состава, решения специфических задач (источник, нормирование, прогноз) и корректировки данных, полученных количественными методами (особенно при наличии легких фракций). Следует отметить, что анализ одного и того же образца на определение валового содержания НП различными методами анализа (гравиметрия, флуориметрия и ИК-спектрометрия) может давать различные результаты исследования.

Для России Чернобыльская катастрофа является наиболее значимой экологической проблемой, особенно для самой радиоактивно загрязненной юго-

западной территории Брянской области. Ведущим трендом трансформации стало интенсивное сужение угодий, особенно посевной площади, несмотря на современные позитивные тенденции [7].

Заключение. Восстановление в систему землепользования, части длительно выведенных из сельскохозяйственного оборота радиоактивно загрязненных угодий ее юго-запада – важное направление развития агропромышленного комплекса Брянской области [7].

Таким образом, оптимальный выбор метода определения нефтепродуктов в почвах и грунтах – сложная, многофакторная задача, требующая четкого понимания цели и задач исследования, знания возможностей и ограничений существующих методик, учета специфики загрязнения (тип НП) и свойств почвенной матрицы, а также осознания проблем, связанных с пробоподготовкой и потерей легких фракций. Понимание специфики каждой задачи и требований к ожидаемым прогнозируемым данным позволяет разумно подходить к выбору методики анализа, комбинировать методы исследований и, в конечном итоге, получать достоверную информацию, необходимую для эффективного управления экологическими рисками, связанными с нефтяным загрязнением почв. Развитие аналитических методов и их адаптация под конкретные прикладные экологические задачи остается актуальным направлением исследований [8].

Список литературы

1. Указ Президента РФ. О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года //Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips>. – 2017.
2. Бондарев Н.С., Бондарева Г.С., Харитонов А.В. Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения угледобывающего региона //Уголь. – 2025. – Т. 1200. – №. 12. – С. 46-50.
3. Калитка Л.С., Евстратова Л.Г. Мониторинг зарастания земель сельскохозяйственного назначения по космическим снимкам высокого и среднего пространственного разрешения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 4(382). С. 7-9. DOI: 10.24412/2587-6740-2021-4-7-9. Kalitka L.S., Evstratova L.G. Imperfection of the Conceptual Basis of Reverse Engineering Technologies in the Life Cycle of Complex Systems.

InternationalAgriculturalJournal. 2021;4(382):7-9. (InRuss.). DOI: 10.24412/2587-6740-2021-4-7-9.

4. Рогатнев Ю.М. Теоретические основы землеустройства в современных условиях // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2024. № 3. С. 133. RogatnevYu.M. Theoretical foundations of land management in modern conditions. Land management, cadastre and land monitoring. 2024;(3):133. (In Russ.)
5. Сюняева О.И., Окунева О.А., Леонова Ю.В. Региональный мониторинг параметров плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения // Земледелие. 2021. № 6. С. 10-13. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-6-10-13. Syunyaeva O.I., Okuneva O.A., Leonova Yu.V. Regional monitoring of soil fertility parameters of agricultural lands appointments. Agriculture. 2021;(6):10-13. (In Russ.). DOI: 10.24412/0044-3913-2021- 6-10-13
6. Ишамятова И.Х., Чабанов А.Г., Отвагина М.Г. Мониторинг земель Пензенской области, нарушенных твердыми бытовыми отходами, на основе ГИС-технологий // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2023. № 1. С. 47-53. DOI: 10.33920/sel-04-2301-07. Ishamyatova I.Kh., Chabanov A.G., Otvaagina M.G. Monitoring of lands of the Penza region, disturbed by solid household waste, based on GIS technologies. Land management, cadastre and land monitoring. 2023; (1):47-53. (In Russ.). DOI: 10.33920/sel-04-2301-07.
7. Куница М.Н. Трансформация сельскохозяйственного землепользования Брянской области: особенности Чернобыльской зоны // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – 2018. – №. 3 (55). – С. 15.
8. Марютина Т.А., Романова Ю.Н., Мусина Н.С. Особенности выбора метода определения нефтепродуктов в почвах в зависимости от экологических задач. Журнал «Аналитика веществ и материалов», Том 15, №4, 2025, с.292-300.
9. Сулаева А.О., Азиева И.А. Анализ данных о состоянии и использовании земель // Научный редактор. – 2025. – С. 161.
10. Шевченко И.В. Земельное правовое регулирование и продовольственная безопасность: проблемы правового оборота сельскохозяйственных земель // Инновации и продовольственная безопасность. – 2025. – №. 3. – С. 72-96.

11. Бондарев Н.С., Бондарева Г.С., Харитонов А.В. Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения угледобывающего региона // Уголь. – 2025. – Т. 1200. – №. 12. – С. 46-50.
12. Васильев А.В., Быков Д.Е., Пименов А.А. Экологический мониторинг загрязнения почвы нефтесодержащими отходами. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015; 17(4): 269–272.
13. Chaika I.V. Economy of the territories victim by the accident on Chernobyl nuclear power plant // Chernobyl – 20 years later. Social and economic problems and prospects for the development of victim areas: Materials of the international scientific and practical conference [Economika territoriy, postradavshikh otavariiina Chernobylskoy AES // Chernobyl – 20 let spustya. Sotsialno-ekonomicheskie problemy i perspektivy postradavshikh territoriy: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii]. Klitsy, Publishing house of Klitsy city printing house, 2005. Pp. 207- 213.
14. «Chernobyl» a quarter of a century later. 2011: Statistical collection [Chernobyl chetvertveka spustya: Statisticheskiy sbornik]. Bryansk, 2011. 175 p.

Пространственно-временная динамика качества воды реки Сухая под влиянием сброса сточных вод

Зайнуллин А. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Габдулхакова Л. И.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в работе представлены результаты эколого-аналитического мониторинга реки Сухая за 2025 год. Выполнен сравнительный анализ гидрохимических показателей (рН, БПК₅, ХПК, NH⁴⁺, NO²⁻, NO³⁻, PO₄³⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, нефтепродукты, металлы, АПАВ, взвешенные вещества, фенолы) в трёх контрольных створах: выше места сброса сточных вод, в месте сброса и ниже по течению. Установлено статистически значимое снижение концентраций большинства загрязняющих веществ в створе сброса по сравнению с фоновым, что может свидетельствовать о разбавляющем эффекте либо о предварительной очистке сбрасываемых вод. Выявлены приоритетные загрязнители (хлориды, нитраты), поступающие от точечного источника. Рассчитан индекс загрязнённости вод (ИЗВ) для каждого створа, показано улучшение качества воды от «грязной» до «умеренно загрязнённой» вниз по течению. Полученные результаты позволяют оценить вклад сброса в антропогенную нагрузку на водный объект и могут быть использованы для разработки природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: качество воды, сточные воды, мониторинг, гидрохимические показатели, точечный источник загрязнения, индекс загрязнения вод

Проблема загрязнения поверхностных водных объектов сточными водами сохраняет высокую актуальность во всём мире. Сброс недостаточно очищенных или неочищенных сточных вод приводит к ухудшению качества воды, нарушению экологического равновесия и ограничению возможностей водопользования [1–5]. Особую значимость приобретает оценка влияния точечных источников загрязнения, поскольку именно они поддаются наиболее эффективному контролю и нормированию [6].

Цель настоящей работы – оценка влияния сброса сточных вод на качество воды реки Сухая на основе данных ежемесячного эколого-аналитического мониторинга в трёх контрольных створах в течение 2025 года.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является участок реки Сухая в зоне влияния организованного сброса сточных вод. Пробы отбирались ежемесячно (январь–ноябрь 2025 г.) в трёх створах: фон (выше сброса), место сброса и 500 м ниже по течению. В пробах определялись: водородный показатель (рН), массовая концентрация ионов аммония, нитритов, нитратов, фосфатов, хлоридов, сульфатов, АПАВ, нефтепродуктов, взвешенных веществ, летучих фенолов, а также металлов (медь, железо, цинк, марганец), ХПК и БПК₅. Анализы выполнялись по аттестованным методикам в аккредитованной лаборатории.

Статистическая обработка данных включала расчёт средних значений, стандартных отклонений, оценку достоверности различий между створами с помощью t-критерия Стьюдента. Для комплексной оценки качества воды использовался индекс загрязнённости вод (ИЗВ), рассчитываемый как среднее арифметическое отношения концентраций шести приоритетных показателей к их предельно допустимым концентрациям (ПДК для рыбохозяйственных водоёмов) [7].

Результаты и обсуждение

Анализ полученных данных выявил устойчивую пространственную неоднородность гидрохимических показателей. В таблице 1 представлены среднегодовые концентрации основных загрязняющих веществ в трёх створах.

Таблица 1

Среднегодовое содержание загрязняющих веществ в контрольных створах р. Сухая, мг/дм³ ($M \pm m$)

Показатель	Выше сброса	Место сброса	Ниже сброса	ПДК р/х
БПК ₅	11,8 ± 1,6	2,01 ± 0,32*	2,17 ± 0,36*	2,0
ХПК	28,7 ± 4,1	21,5 ± 3,3*	28,1 ± 4,0	15,0
НН ⁴⁺	0,91 ± 0,19	0,36 ± 0,08*	0,40 ± 0,09*	0,5
NO ³⁻	1,16 ± 0,23	5,84 ± 0,88*	2,24 ± 0,34*	9,0
PO ₄ ³⁻	0,86 ± 0,13	0,054 ± 0,011*	0,20 ± 0,04*	0,2
Хлориды	28,3 ± 3,5	40,1 ± 4,5*	14,2 ± 2,1*	300
Нефтепродукты	0,19 ± 0,04	0,041 ± 0,016*	0,052 ± 0,020*	0,05
Железо	0,18 ± 0,04	0,074 ± 0,020*	0,062 ± 0,018*	0,1
Взвешенные вещества	13,2 ± 2,1	14,1 ± 2,3	3,5 ± 0,6*	+0,75 к фону

Примечание: * – различия с фоновым створом статистически значимы ($p < 0,05$).

Обсуждение полученных результатов

Как видно из таблицы 1, в створе «место сброса» наблюдается статистически значимое снижение концентраций БПК₅, ХПК, аммонийного азота, фосфатов, нефтепродуктов и железа по сравнению с фоновым участком. Это противоречит классическому представлению о том, что сброс сточных вод должен ухудшать качество воды. Возможны два объяснения: либо сточные воды проходят эффективную очистку и содержат меньше загрязнений, чем речная вода в фоновом створе, либо происходит простое разбавление речной воды сбрасываемыми водами иного состава. Повышение концентрации нитратов и хлоридов в месте сброса указывает на присутствие в сточных водах этих компонентов (характерно для бытовых стоков и противогололёдных реагентов).

В створе ниже сброса отмечается частичное восстановление уровней некоторых показателей (ХПК, фосфаты) за счёт процессов самоочищения и дополнительного поступления загрязнений с притоками. Особого внимания заслуживает аномально высокий рост концентраций многих веществ в ноябре во всех створах, вероятно, связанный с паводковыми явлениями или залповым сбросом.

Комплексная оценка качества воды

Расчёт ИЗВ проводился по шести показателям, лимитирующим качество воды: БПК₅, ХПК, NH_4^+ , PO_4^{3-} , нефтепродукты, Fe. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения ИЗВ и класс качества воды в створах р. Сухая

Створ	ИЗВ	Класс качества	Характеристика
Выше сброса	3,45	IV	Грязная
Место сброса	1,38	III	Умеренно загрязненная
Ниже сброса	1,71	III	Умеренно загрязненная

Полученные значения свидетельствуют о том, что фоновый участок реки уже испытывает значительную антропогенную нагрузку (вероятно, от диффузных источников и вышерасположенных сбросов). В месте сброса качество воды парадоксально улучшается, а ниже остаётся на том же уровне. Это

подтверждает гипотезу о том, что исследуемый сброс не ухудшает, а скорее «разбавляет» загрязнённую речную воду.

Проведённое исследование показало, что влияние сброса сточных вод на качество воды р. Сухая имеет неоднозначный характер. Установлено статистически значимое снижение концентраций большинства загрязняющих веществ в зоне сброса, что может быть связано с высоким качеством очистки сточных вод либо с их разбавляющим эффектом. Маркерными веществами, поступающими со сбросом, являются хлориды и нитраты. Комплексная оценка по ИЗВ показала, что качество воды в фоновом створе соответствует классу «грязная», тогда как в створах сброса и ниже – «умеренно загрязнённая». Полученные данные позволяют рекомендовать проведение дополнительных исследований непосредственно состава сточных вод и учёта гидрологического режима реки для более точной количественной оценки влияния.

Список литературы

1. Зайнуллин А.М., Зайнуллина Л.Ф. Очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца мембранным способом // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. Сборник докладов III Международной научно-технической конференции. – 2017. – С. 31-35.
2. Зайнуллин А.М., Шайгаллямова Л.Ш. Очистка сточных вод производства нитросоединений ароматического ряда // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 192-195.
3. Зайнуллин А.М., Абзалова А.Г. Комплексная физико-химическая очистка сточных вод производства ТНРС // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 188-191.
4. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели: Аналит. обзор. – Барнаул: День, 2000. – 132 с.
5. Фашевская Т.Б., Полянин В.О., Кирпичникова Н.В. Диффузное загрязнение водных объектов: источники, мониторинг, водоохранные мероприятия:

- учебное пособие / под науч. ред. В.И. Данилова-Данильяна. – М.: Ин-т водных проблем РАН, 2020. – 208 с.
6. Кашулин Н.А., Беккелунд А., Даувальтер В.А., Петрова О.В. Апатитовое горно-обогащительное производство и эвтрофирование арктического озера Имандра // Арктика. Экология и экономика. – 2019. – № 3. – С. 16-34.
 7. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семёнова. – Л.: Гидрометеиздат, 2009. – 532 с.
 8. Бончковський А.С., Осипов В.В. Оцінка навантаження біогенними елементами басейну р. Сула від точкових та дифузних джерел // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2024. – № 1(71). – С. 54-63.
 9. Амбросова Г.Т., Матюшенко Е.Н., Синеева Н.В. Места дефосфатирования городской сточной жидкости и эффект удаления фосфора реагентами // Научный журнал. – 2017. – Т. 22, № 4. – С. 13-25.
 10. Эксперты объяснили, чем опасно мытьё посуды и купание с шампунем в Байкале // МК в Бурятии. – 2025. – 22 июля. – URL: <https://www.mk.ru> (дата обращения: 01.03.2026).
 11. Василевский А.С., Войтов И.В. Получение материалов для очистки сточных вод от фосфатов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – 2020. – № 2 (235). – С. 169-175.
 12. Татур П.К., Балбуцкий Е.А., Гранкина Л.С. Проект «Фосфору – STOP!». – Мамоново, 2018. – 45 с.
 13. Пакалова Е.В., Абуова Г.Б., Шарагин Л.А. Реагентный метод удаления фосфатов как способ улучшения качества очистки сточных вод // Научный журнал. – 2023. – Т. 46, № 4. – С. 46-50.

Мониторинг и популяризация реализации принципов Хартии Земли в Татарстане

Газеев Н. Х.

Профессор, Академик Российской экологической академии, Председатель Общественного совета при Министерстве экологии и природных ресурсов Республики Татарстан

Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан

Аннотация: данная статья посвящена обзору системы информационно-аналитических и природоохранно-просветительских мероприятий, реализуемых в Республике Татарстан в контексте этического кодекса «Хартия Земли».

Ключевые слова: Республика Татарстан, Хартия Земли, устойчивое развитие, основополагающие принципы, экологические и социально-экономические проблемы

29 июня 2000 года в Гааге, во Дворце Мира, был принят на уровне мирового сообщества современный этический кодекс «Хартия Земли» - Декларации прав Земли [1].

В этой связи необходимо отметить, что первой территорией для практического применения принципов Хартии Земли стала территория Республики Татарстан (РТ) (по письменному обращению первого Президента РТ М.Ш. Шаймиева, представленному в Гааге в 2000 г.).

25 лет назад было принято Постановление Государственного Совета РТ от 27.04.2001г. № 722 «О проекте Хартии Земли» где этот документ был одобрен на законодательном уровне [2]. Тем самым, за Татарстаном был закреплён статус первого в мире региона практического применения принципов международного документа ООН, охватывающего вопросы создания справедливого, устойчивого и мирного глобального общества в XXI веке. Данное мероприятие состоялось при участии Международной Комиссии по Хартии Земли, делегации Международного Зеленого Креста, Совета Земли, представителей Национальных комитетов по хартии из США, Австралии, Европы, Индии, стран-участниц СНГ, международных экспертов в области экологии, права, политических и религиозных деятелей, представителей культуры и деловой элиты.

С этого времени началась разработка крупномасштабного проекта «Татарстан – территория устойчивого развития и культуры мира» при поддержке

Правительства, Парламента, Министерств и ведомств, а также неправительственных организаций, общественных движений РТ. Ценность и новизна реализации в РТ указанных принципов заключается, во-первых, в том, что в осуществлении этого проекта участвуют все республиканские министерства и ведомства, муниципальные образования, использующие разнообразные организационные формы экологических мероприятий. Во-вторых, в проекте задействованы все основные организационные инструменты формирования экологической культуры населения: система непрерывного экологического образования, эколого-просветительская работа, экологическая пропаганда и эколого-художественная деятельность. В-третьих, в проекте участвуют множество организационных институтов: общеобразовательные и профессиональные учреждения, средства массовой информации, заповедники, природные парки, музеи, библиотеки, государственные федеральные территориальные и республиканские природоохранные органы, и службы, общественные организации, хозяйствующие субъекты и т.д.

Республика, принимая активное участие в федеральных и международных организациях, осуществляет последовательные меры по охране природы. Основная цель реализации принципов Хартии Земли) в Татарстане – достижение устойчивого развития экономики РТ в условиях рыночных отношений и создание базы для рационального и комплексного использования природных ресурсов, повышения уровня экологической безопасности населения и территории региона.

В рамках реализации принципов Хартии Земли проводится огромная работа в республике в целом, отраженная в изданиях «Хартия Земли в Татарстане» [3–6]. На страницах этих уникальных изданий, аналогов которым в мире нет, читатели найдут полезную информацию о властях и бизнесе РТ, его экономическом, социальном, культурном потенциале, откроют для себя новые возможности и грани сотрудничества в условиях мирового рыночного хозяйства. Структура и тематика изданий в рамках издательского проекта «Хартия Земли в Татарстане» опирается на надёжный постоянный локальный и региональный мониторинг политических, социально-эколого-экономических процессов в РТ и состоит из материалов, посвященным анализу принципиальных положений и практики реализации принципов Декларации прав Земли, имеющих на территории соответствующего административно-территориального образования

РТ, в том числе, показан положительный опыт по решению приоритетных социально-эколого-экономических проблем жителей, благоустройству территорий, развитию инфраструктуры, успешному развитию организаций и предприятий, расположенных в границах административно-территориального образования. Особый интерес представляет участие РТ в решении региональных, национальных и глобальных экологических проблем и информация о положительных примерах межрегионального и международного сотрудничества с другими субъектами РФ и странами мира, участия РТ в деятельности ассоциаций (объединений) РФ, СНГ, СЕ, АСЕАН и ООН. Благодаря изданиям «Хартия Земли в Татарстане» нет необходимости доказывать, что участие РТ в международном сотрудничестве по проблемам реализации принципов Декларации прав Земли, диапазон затрагиваемых внутри республики интересов поистине всеобъемлющ, универсален, а значение такого сотрудничества и его итогов для будущего развития татарстанских и российских экономики и государства – исключительно велико.

В 2006 году вышли в свет мультимедийное издание на компакт-диске «Хартия Земли в Татарстане» и настенный календарь, посвященный реализации принципов Хартии Земли в РТ.

Реализация принципов Хартии Земли в Татарстане – важное политическое и социально-эколого-экономическое событие для РТ и РФ, направленное на формирование международного междисциплинарного пилотного проекта по устойчивому развитию региона, невозможному без повышения уровня защищённости окружающей среды и человека от негативных природных явлений и антропогенного воздействия. Таким образом, охрана природы призвана сохранить оптимальные условия для существования человечества и обеспечить его дальнейшее развитие материально-энергетическими ресурсами.

Цикл работ «Хартия Земли в Татарстане», выполненный в 1995–2016 гг., способствовал:

1. Реальному продвижению республики в условиях перехода к рынку на отечественные и зарубежные рынки, укреплению имиджа лидера и репутации РТ как надежного партнера и экономически сильного региона РФ.

Хорошая репутация в современном мире – один из самых важных нематериальных активов любого региона, государства.

2. Формированию, совершенствованию и реализации инновационной политики в региональной системе экологического воспитания, образования и просвещения при переходе к устойчивому развитию и экономике знаний.

В 2007 году Правительство РТ представило на IV-ый конкурс Национальной Экологической Премии «ЭкоМир» подготовленные Министерством экологии и природных ресурсов РТ (МЭПР РТ) материалы Программы «Реализация принципов Хартии Земли в Татарстане» в номинации «Сохранение биоразнообразия и оздоровление ландшафтов» и получило звание лауреата I степени, а также серебряный знак «За заслуги».

В рамках реализации принципов Хартии Земли в Татарстане МЭПР РТ совместно с республиканским экологическим фондом и другими заинтересованными организациями активно проводились работы по обустройству и содержанию родников с целью обеспечения архитектурно-композиционных, эстетических и санитарно-гигиенических требований, сохранению ландшафтов, организации на их основе новых мест отдыха и оздоровления населения. Работы по описанию, картографированию, составлению кадастров, оценке рекреационного и бальнеологического значения родников проводились с целью обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия, совершенствования государственного регулирования режима общего водопользования, охраны водных ресурсов, источников нецентрализованного хозяйственно-бытового водоснабжения. По состоянию на 01.01.2006г. в РТ было учтено 3702 родника.

Когда речь заходит о водных ресурсах, принято говорить об океанах и морях, озерах и реках. Это справедливо – именно в них содержится основная доля мировых запасов воды. Однако нельзя забывать о родниках, которые неустанно, ежеминутно, ежесекундно пополняют русла рек, котловины озёр, морей и океанов. Родники – богатство не менее ценное. В Татарстане их очень много, почти в каждой деревне можно отыскать до десятка, а то и более источников. А сколько их затеряно в лесах и лугах, вдали от глаз человеческих?! Многие годы родникам не придавали особого значения, их присутствие в природном комплексе считалось само собой разумеющимся. Сколько родников пересохло, ушло под землю из-за равнодушия? Сколькими родниками пожертвовали ради лишней тонны нефти?

В связи с повышением уровня национального самосознания в последние годы население повернулось лицом к своим истокам в прямом и переносном

смысле. Внимательное отношение к источникам воды, как и к окружающей среде в целом, стало одной из стратегических задач развития общества. Подчеркивая чистоту и святость воды, люди возводят над родниками постройки, напоминающие часовни и мечети, у родников проводятся всенародные праздники и национальные обряды, к родникам направляются свадебные кортежи... Они – символ возрождения духовности народа.

Невозможно перечислить имена всех мастеров, возрождающих родники, благоустраивающих их территории. Радует то, что в последнее время это важное дело стало передаваться из поколения в поколение: дети и внуки продолжают следить за состоянием родников, возвращенных к жизни их отцами и дедами. Если раньше родники назывались именами святых и блаженных, то сейчас гораздо больше источников, которым народ присвоил имена их первооткрывателей...

В 2007 году МЭПР РТ подготовлена и издана в 2008 году книга-альбом «Родники Земли Татарстана» на татарском и русском языках [7], которая является по мнению Габдрафиковой Лилии Рамилевны, доктора исторических наук, главного научного сотрудника Института истории им. Ш. Марджани Академии наук РТ комплексной работой по природно-культурному представлению родников республики, где иллюстрации сопровождались краткими рассказами о легендах родников.

В статье «Новый подход к изучению историко-культурного наследия на примере научно-популярной книги о родниках Татарстана», опубликованной в сборнике трудов «Девятые Кремлевские чтения: материалы Всероссийской научно-практической конференции «Национальные культуры в историческом и музейном пространстве» (Казань, 8 октября 2020 г. – Казань: Изд-во АН РТ, 2020), Габдрафикова Л.Р. разъясняет, что родники привлекают население не только как источники питьевой воды. Наряду с другими историко-культурными объектами они являются достопримечательностями местности и несут в себе определенный туристический потенциал. В этой связи целесообразным представляется, наряду с санитарно-экологической паспортизацией, изучение родников республики как объектов историко-культурного наследия. Поэтому в 2017–2019 гг. группой исследователей Института истории им. Ш. Марджани Академии наук РТ был осуществлен специальный проект по подготовке научно-популярной книги о родниках Татарстана. Книга «Родники жизни» была

выпущена в 2019 году. Она содержит сюжеты о более ста уникальных родниках Татарстана с подробными историческими экскурсами по каждой местности.

Объемная книга богато иллюстрирована и включает тексты на трех языках (русском, татарском и английском). Эти массовые издания – «Родники земли Татарстана» и «Родники жизни» наглядно иллюстрируют и показывают, что к истории родного края можно подойти и таким образом – через легенды и образы, биографии людей. Актуальность изучения родников объясняется тем, что они выступают объединяющим историко-культурным символом для всех народов многонационального Татарстана.

Таким образом, материалы собранные и опубликованные в книгах «Родники земли Татарстана» и «Родники жизни» могут стать основой для различных историко-культурных туристических маршрутов по Татарстану или других форматов научно-популярного характера.

В 2008 году МЭПР РТ подготовлена и издана книга «На защите природы. К 15-летию образования Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан» [8]. Книга является кратким экскурсом в историю формирования и практической реализации государственной экологической политики РТ, которая берёт своё начало с момента создания в 1993 году МЭПР РТ. Вне сомнения, книга адресована в первую очередь тем, кому интересна история становления и развития органов государственного управления в сфере природопользования и охраны окружающей среды и тем, кто своим трудом вносит реальный вклад в обеспечение экологической безопасности населения и устойчивого развития экономики региона в контексте реализации принципов Хартии Земли в Татарстане.

В 2011 году республика впервые была удостоена главного приза конкурса «Национальная экологическая премия» - статуэтки «Хрустальная Ноосфера» - за экологически устойчивое развитие. Благодаря реализации принципов Хартии Земли Татарстан получил международное признание. На основе приобретенного опыта в РТ продолжается политика, направленная на привлечение иностранного и отечественного капитала в экономику региона, создавая благоприятные условия для развития бизнеса. На сегодняшний день РТ имеет репутацию территории, обладающей высоким инвестиционным потенциалом, одними из главных составляющих которого, наряду с природно-ресурсным, являются научный, производственный, трудовой и инфраструктурный потенциал.

Поэтому руководство республики уделяет огромное внимание обеспечению профессиональными кадрами планируемых производств, а также инфраструктурной подготовке площадок для реализации инвестиционных проектов.

В партнёрстве с МЭПР РТ и учеными Института экологии природных систем Академии наук Татарстана реализован инновационный научно-исследовательский проект «Атлас Республики Татарстан» [9]. На основе выполненных исследований разработаны инструментарий и система геоинформационных картографических материалов, отражающих состояние, потенциал и ограничения развития экономики с учетом природно-ресурсной и экономической базы региона («Экономическая карта Республики Татарстан» с экологической нагрузкой, 1997; карта «Предрасположенность территории к проявлению неблагоприятных ситуаций, 2002; геоинформационное справочное пособие «Атлас Республики Татарстан», 2005).

Особую значимость приобрело издание МЭПР РТ книги-альбома «Итоги охраны природы в Татарстане: история и современность» [10].

Книга-альбом предназначена для широких слоёв населения, является богатейшим информативным источником, раскрывающим многие исторические аспекты, и содержит сведения об истории природоохранной деятельности в РТ начиная с первых указов Петра I об охране природы в России до современного этапа, об истории экологических исследований учёных прошлого и настоящего на земле Татарстана – одного из самых передовых в России регионов, имеющих позитивный опыт решения экологических проблем. Представленный материал, сопровождаемый значительным объемом иллюстративного материала из истории охраны природы в Татарстане, раскрывает региональный компонент охраны природы, демонстрирует многогранные отношения природы и общества, учит людей любить и беречь природу родного края, содействует привлечению внимания широкой общественности и подрастающего поколения к экологическим проблемам, решению проблем воспитания экологической культуры и просвещения.

Отдельная глава книги-альбома посвящена опыту Татарстана по сохранению природного и культурного наследия, экологической культуре, воспитанию, образованию, просвещению, экологическому общественному движению и добровольчеству, приоритетам экологической журналистики в контексте реализации принципов Хартии Земли в РТ.

В 2017 году подготовлена и издана впервые Институтом Татарской энциклопедии и регионоведения АН РТ иллюстрированная энциклопедия «Природа и природные ресурсы Республики Татарстан» [11], в которой систематизированы и обобщены материалы научных исследований о природе и природных объектах, природопользовании и охране природы. Энциклопедия будет содействовать экологическому воспитанию подрастающего поколения, формированию у читателей чувства патриотизма и осознания необходимости сохранения природы края для будущих поколений. В августе 2019 года в типографии ООО «Фолиант» дополнительным тиражом вышло в свет 2-е издание этой энциклопедии. Первое издание данной энциклопедии на татарском языке состоялось в 2021 году.

Разработка «Атласа РТ» и энциклопедии «Природа и природные ресурсы Республики Татарстан» позволила получить новую совокупность научных знаний о природной составляющей Татарстана, ее разнообразии, что даёт возможность научно обоснованно организовать рациональное комплексное использование природных ресурсов, охрану окружающей среды и сохранить биологическое разнообразие.

Разработанные материалы позволяют оценивать и прогнозировать возможные масштабы развития и размещения производительных сил, необходимые изменения в структуре использования экономического и природно-ресурсного потенциалов, пути преодоления негативных тенденций для устойчивого развития РТ.

В 2022 году исполнилось ровно 30 лет с момента образования МЭПР РТ. За прошедшие десятилетия пройден огромный путь становления и развития важнейшего для нашей республики государственного органа. Благодаря системной работе руководства министерства, дружному коллективу единомышленников сегодня в Татарстане сформирована целостная система охраны окружающей среды и рационального природопользования, наиболее полно отраженная в книге «30 лет Министерству экологии» [12].

Все это позволило решать важнейшие задачи на территории РТ:

- повысить уровень экологической безопасности предприятий различных отраслей экономики РТ;
- обеспечить надежное финансовое сопровождение и инвестирование республиканских целевых природоохранных проектов, программ и мероприятий

за счет создания и внедрения эффективных экономических механизмов природопользования и охраны окружающей среды;

- создать экологический каркас РТ за счет формирования и развития сети особо охраняемых природных (ООПТ) регионального значения;

- сохранить и приумножить биологические ресурсы и биоразнообразие, умело организуя и координируя деятельность всего природно-ресурсного и природоохранного комплекса республики;

- объединить усилия академической, вузовской и отраслевой науки в научно-экспертном обеспечении и сопровождении экологической безопасности и рационального природопользования;

- разработать и реализовать масштабные, долгосрочные высокобюджетные природоохранные целевые программы крупнейших предприятий-природопользователей РТ («Татнефть», «Татэнерго», «Нижнекамскнефтехим», «КамАЗ», «ТАИФ-НК», «Казаньоргсинтез» и др.), проекты ликвидации (рекультивации) объектов накопленного вреда окружающей среде.

Сегодня МЭПР РТ вносит значительный вклад в общественно-социально-эколого-экономическое развитие республики, формирование современной научно-обоснованной региональной экологической политики, а также в дело сохранения и приумножения культурных и духовных традиций татарстанского народа.

С 1993 года и по настоящее МЭПР РТ издаёт ежегодные Государственные доклады о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан [13].

Госдоклад является официальным документом, основная задача которого – представить систематизированную аналитическую информацию о качестве окружающей среды и состоянии природных ресурсов республики, тенденциях их изменения, а также определить проблемы природоохранной деятельности и оказать содействие в их решении путем выявления приоритетов и алгоритма действий, направленных на сохранение благоприятной окружающей среды РТ. За годы подготовки Госдоклада стало заметно, как этот документ становился качественно лучше: детальнее проработанным, насыщеннее верифицированной экспертной фактурой. Тщательная подготовка Госдоклада особенно важна в связи с реализацией в Татарстане принципов Хартии Земли (с 2001г.) и двух нацпроектов: «Экология» (2019–2024г.г.) и «Экологическое

благополучие» (2025–2030г.г.). У них есть определенные показатели, которые необходимо соотносить и давать информацию о том, что происходит с природопользованием и экологией республики.

В целом, можно считать, что инновационное информационно-экономическое и эколого-образовательное обеспечение реализации принципов Хартии Земли явилось одним из важных факторов, содействующих достижению оптимального сочетания социально-экономических и экологических приоритетов, решению задач нормализации природопользования и улучшения качества окружающей среды для достижения целей устойчивого развития РТ. Важно понять, что реализация принципов Хартии Земли в Татарстане – это важный и практичный компонент комплексной стратегии по созданию устойчивой и комфортной среды обитания для будущих поколений татарстанцев.

Список литературы

1. Хартия Земли. 16 с. (http://www.socionauki.ru3_.pdf).
2. «О проекте Хартии Земли»: постановление Государственного Совета РТ от 27 апреля 2001 г. № 722 / Ведомости Государственного Совета Татарстана. – 2001 г. – № 4. – Ст. 534.
3. Газеев Н.Х., Галеев М.Г., Гарифзянов М.Ф. и др. Хартия Земли в Татарстане. – Казань: Заман, 2005. – 192с.
4. Газеев Н.Х., Галеев М.Г., Гарифзянов М.Ф. и др. Хартия Земли в Татарстане. 2-е изд., дополн. – Казань: Заман, 2007. – 240с.
5. Газеев Н.Х., Галеев М.Г., Гарифзянов М.Ф., Миннуллин З.С., Миннуллина Л.З., Хакимов Р.С., Щеповских А.И. Хартия Земли в Татарстане. – 3-е изд. дополн. – Казань: Изд-во «Заман», 2011. – 320с.
6. Хартия Земли в Татарстане. – 4-е изд., перераб. и доп. – Казань: ЗАМАН, 2016. – 256с.
7. Татарстан чишмэләре - Родники земли Татарстана / [авт. кол.: Н.Х. Газиев и др.]. - Казань: Заман, 2008. - 191 с.
8. На защите природы. К 15-летию образования Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан. – Казань: Заман, 2008. – 160 с.
9. Атлас Республики Татарстан // Под ред. проф. Н.Г. Рыбальского. – М.: Иван Федоров, 2005. – 216с.

10. Газеев Н.Х. 2013 год – итоги охраны природы в Татарстане: история и современность: - Казань: Фолиант, 2013. – 256с.
11. Природа и природные ресурсы Республики Татарстан: иллюстрированная энциклопедия. – Казань: Ин-т татарской энциклопедии и регионоведения АН РТ. 2017. – 584 с.
12. 30 лет Министерству экологии. – Казань: издание Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, 2022. - 152с.
13. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2024 году. - Казань: Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, 2025. –385 с.

Источники и путей миграции микропластика в водных объектах города

Гараев Т.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Зайнуллин А. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в работе рассмотрены основные источники образования и пути миграции микропластика в окружающую среду. Также представлены основные методы исследования микропластика в водных объектах и его влияние на здоровье человека.

Ключевые слова: качество воды, микропластик, антропогенное воздействие, статистический анализ, загрязнение

Введение

В последние десятилетия загрязнение водных объектов сточными водами приобрело в последние годы актуальный характер [1–3]. Среди многих загрязнений, микропластик стал одной из наиболее острых экологических проблем, особенно в условиях урбанизации. Микропластик – это частицы пластика размером менее 5 мм, которые образуются в результате разрушения более крупных пластиковых изделий или попадают в окружающую среду в виде первичных микрогранул (например, из косметики, бытовой химии). В городах, где высока плотность населения и развита промышленность, водные объекты становятся основными коллекторами микропластика, что создаёт угрозу для экосистем и здоровья человека.

Источники микропластика в городских водных объектах

Источники микропластика в городах многообразны и тесно связаны с повседневной деятельностью человека. К основным относятся бытовые и промышленные сточные воды, ливневые стоки, атмосферные осадки, а также фрагментация макропластика, который попадает в водоёмы с мусором. В городах микропластик поступает в водные системы через канализацию, дренажные системы, поверхностный сток с улиц, парковок, строительных площадок.

Промышленные предприятия, особенно связанные с производством и переработкой пластмасс, текстильной промышленностью, также вносят значительный вклад в загрязнение. Кроме того, микропластик может попадать в водоёмы с атмосферными осадками и ветром, а также образовываться непосредственно в воде из-за разрушения крупных пластиковых отходов под действием ультрафиолета, механического износа и биологических процессов.

Особое внимание стоит уделить сточным водам: даже после прохождения очистных сооружений значительная часть микропластика не удаляется полностью. В городских сточных водах преобладают вторичные микропластики в виде волокон, их концентрация может достигать 100 частиц на литр. Это связано с тем, что современные очистные сооружения не всегда рассчитаны на улавливание столь мелких частиц, и они беспрепятственно попадают в реки и озёра.

Пути миграции микропластика

Пути миграции микропластика в водных объектах сложны и зависят от множества факторов. Гидрологические процессы играют ключевую роль: частицы микропластика перемещаются по течению рек, оседают в донных отложениях или выносятся в более крупные водоёмы и моря. В зависимости от плотности и размера микропластик может либо оседать на дно, либо оставаться во взвешенном состоянии, перемещаясь на большие расстояния. Важную роль играют и биологические механизмы: микропластик поглощается водными организмами, накапливается в пищевых цепях и может попадать к человеку. Частицы пластика часто обрастают микроорганизмами, что способствует их оседанию и дальнейшей миграции по экосистеме.

Исследования показывают, что концентрация микропластика в городских водоёмах значительно выше, чем в пригородных и сельских районах. Например, в нижнем течении рек Сучжоу и Хуанпу в Китае уровень загрязнения особенно высок в городских центрах и устьях рек. В то же время количество микропластика в виде волокон имеет тенденцию к уменьшению по мере удаления от города к морю. Это связано с тем, что крупные частицы оседают в донных отложениях, а мелкие могут переноситься на большие расстояния.

Методы исследования и аналитические подходы

Для изучения микропластика в водных объектах применяются различные методы отбора проб и анализа. Пробы воды и донных отложений отбираются

с помощью планктонных сетей, дночерпателей, фильтров. Для идентификации и количественного анализа микропластика используются микроскопия, спектроскопические методы, а также термический анализ для наноразмерных частиц. Важно отметить, что размер ячеек фильтров и сетей существенно влияет на результаты: при использовании более мелких ячеек концентрация обнаруженного микропластика может быть в десятки тысяч раз выше. Это связано с тем, что мелкие частицы часто проходят через крупные фильтры и остаются незамеченными.

Влияние на экосистемы и здоровье человека

Влияние микропластика на экосистемы и здоровье человека вызывает серьёзные опасения. Микропластик оказывает токсическое воздействие на водные организмы, нарушает пищевые цепи, может вызывать физические повреждения и химические отравления. Для человека основной путь поступления микропластика – через питьевую воду и пищевые продукты (рыба, морепродукты). Микропластик способен адсорбировать опасные химические вещества и переносить их в организм, что увеличивает риски для здоровья. Недавние исследования показали наличие микропластика даже в крови человека, что свидетельствует о его способности проникать через биологические барьеры и распространяться по организму.

Заключение

Проблема микропластика в городских водных объектах требует комплексного подхода: совершенствования систем очистки сточных вод, внедрения фильтров на предприятиях и в ливневых системах, образовательных кампаний для населения, а также законодательных ограничений на использование пластика в продукции. Только совместными усилиями можно снизить поступление микропластика в окружающую среду и минимизировать его последствия для природы и человека.

Список литературы

1. Зайнуллин А.М., Зайнуллина Л.Ф. Очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца мембранным способом // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. Сборник докладов III Международной научно-технической конференции. – 2017. – С. 31-35.

2. Зайнуллин А.М., Шайгаллямова Л.Ш. Очистка сточных вод производства нитросоединений ароматического ряда // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 192-195.
3. Зайнуллин А.М., Абзалова А.Г. Комплексная физико-химическая очистка сточных вод производства ТНРС // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 188-191.

Исследование процессов влагообмена в почвах города Белгорода

Данилова П. О.

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Дворяшина Д. С.

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Смоленская Л. М.

Доцент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: изучен процесс влагообмена в отдельных районах города Белгорода. Показано, что процесс насыщения влагой почвенных образцов связан с состоянием почвенного слоя, снежного покрова, образующегося в зимнее время, а также зависит от произрастающих на территории фитоценоза.

Ключевые слова: влагообмен, почва, фитоценоз

Почвенная влага – жизненно важный ресурс для растений и геобионтов, получающих из неё воду. Её содержание определяет ключевые показатели плодородия почвы [1, 2]. Именно поэтому изучение процессов влагообмена является актуальным и в настоящее время.

Изучение процессов влагообмена почвы производилось по агроэкологическому расположению почвы на изучаемой территории, анализу талой воды, а также по состоянию фитоценоза.

Объектом исследования послужила геосистема, расположенная на территориях г. Белгорода: БГТУ им. В. Г. Шухова (участок 1), Парк им. Гагарина (участок 2), Завод «Энергомаш» (участок 3) (рис. 1).

Университет расположен в северо-восточной части города Белгорода. Рельеф территории БГТУ им. Шухова характеризуется небольшими перепадами

высот, что обусловлено расположением на склоне возвышенности (рис. 2). Преобладающие типы почв на территории университета и в его окрестностях – щелоченные черноземы.

Парк культуры и отдыха имени Ю. А. Гагарина в Белгороде находится в центральной части города. Парк расположен вдоль реки Везёлка, что создает благоприятные условия для формирования рекреационного ландшафта и обогащает его природную среду. Территория парка представляет собой равнину с небольшим уклоном к реке Везёлка. Рельеф парка искусственно изменен для создания различных зон отдыха и аттракционов.

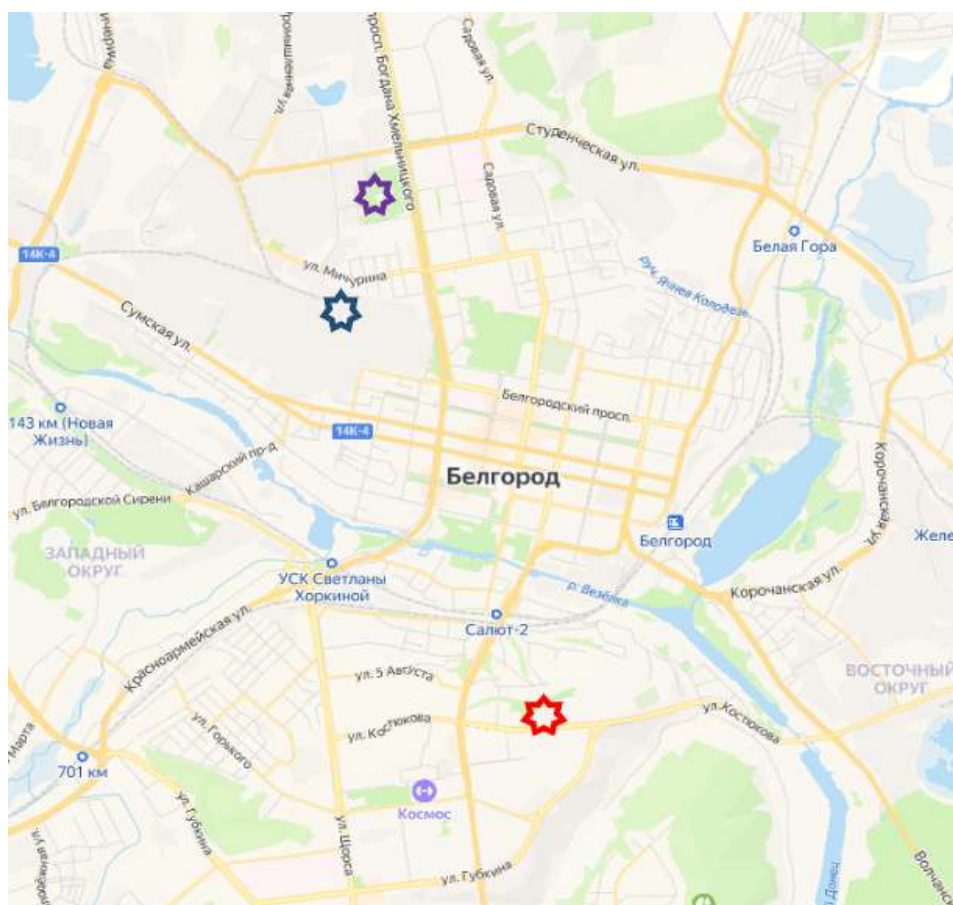


Рис. 1. Места отбора проб

-  – БГТУ им. В. Г. Шухова
-  – Парк им. Гагарина
-  – Завод «Энергомаш»

Завод «Энергомаш» расположен в промышленной зоне Белгорода, в его восточной части. Местность в районе расположения завода относительно ровная, окружающая территория характеризуется преимущественно промышленной застройкой, включающей другие предприятия и склады.

Полный анализ возможности поглощения почвой воды проводился в несколько этапов, включающие в себя физический и химический анализ почвы, талой воды, изучение растительной биомассы.

Поскольку анализ влагообмена почвы невозможен без информации о типе и состоянии почвы, то на первом этапе исследования был выполнен агрофизический и агрохимический анализ почвенных образцов.



БГТУ им. В.Г. Шухова



Парк Гагарина



Завод «Энергомаш»

Рис. 2. Исследуемые территории

Агрофизический анализ включал в себя определение механического состава почвы, её структуру, а также водопрочность и капиллярную влагоемкость. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты анализа агрофизических показателей

Наименование показателей	Участки		
	БГТУ им. Шухова	Парк Гагарина	Завод Энергомаш
Механический состав почвы	лёгкий суглинок	лёгкий суглинок	средний суглинок
Структура	кубовидная (зернистая)	кубовидная (зернистая)	кубовидная (зернистая)
Капиллярная влагоемкость, %	20	36	20
Водопрочность, %	62,9	76,2	60

Полученные результаты показали, что на всех трёх территориях почвы суглинистые – при растирании в сухом состоянии дают тонкий порошок, в котором прощупывается некоторое количество песчаных частиц. Во всех исследуемых участках структура почвы кубовидная, а именно зернистая – более или менее правильная форма, иногда округлая, с выраженными гранями, то шероховатыми матовыми, то гладкими и блестящими. Размер 5-3 мм, крупнозернистая.

Значения капиллярной влагоемкости почвы показали, что наилучший показатель влагоемкости наблюдается на участке 2–36 %. Согласно, гранулометрическому составу почвы, на участке 1 (БГТУ) и 2 (Парк Гагарина) – почва легкосуглинистая (максимально до 40–50 %). На 3 участке (Завод Энергомаш) почва среднесуглинистая максимальная влагоемкость – 40–50 %.

Проведенные исследования по основным почвенным показателям позволяют сделать общий вывод по возможному влагообмену: предельная влагоемкость составляет 30 % от массы почвы, влажность завядания – 15 % от массы почвы, коэффициент увлажнения (КУ) 0,67, водный режим характеризует непромывной тип ($KУ < 1$, от 0,1 до 0,6), где осадки распространяются только в верхних почвенных горизонтах и не достигают грунтовых вод. Между верхним промачиваемым и капиллярным слоем находится «мертвый горизонт» с постоянной влажностью, близкой к влажности завядания.

Следующий этап исследования был посвящен анализу талого снега как индикатору загрязнения атмосферного воздуха, так и поставщику в почву дополнительных примесей.

Отбор проб снежного покрова производился в период его максимального накопления, незадолго до периода снеготаяния на открытых местах. Результаты анализа талого снега представлены в табл. 2.

Согласно полученным данным, с талыми водами в почвенный покров падают примеси в незначительных количествах. Самым чистым оказался образец под номером 2. Наиболее загрязненным образцом является 3, именно там образовалась мутная вода. На цветность воды сказалось наличие песка, сажи и других посторонних загрязнителей. Присутствие постороннего запаха было незначительным – землистый.

Таблица 2

Результаты анализа талого снега

Показатели	Проба снега		
	БГТУ им. В. Г. Шухова	Парк Гага- рина	Завод Энерго- маш
Запах воды	землистый	отсутствие	землистый
Интенсивность запаха	очень слабый (1)	нет (0)	слабый (2)
Прозрачность	прозрачная (20 см)	прозрачная (25 см)	мутная (10 см)
Цветность	бесцветная	бесцветная	бледно-желтая
рН	6,5	6,5	6
Солесодержание NaCl, мг/л	20,22	20,15	24,14
Ионы SO_4^{2-} , мг/л	отсутствуют	отсутствуют	10

Для определения степени загрязненности снежного покрова использовался метод биотестирования, основанный на оценке влияния талой воды на прорастание семян кресс-салата. Результаты проведенного исследования показали, что слабая степень загрязнения присутствует в центре города (Завод «Энергомаш»). Отмечен основной источник загрязнения – автотранспорт и выбросы загрязняющих веществ (диоксид азота, оксид углерода). Почва и вода близ этих участков подвержена воздействию опасных соединений, образуемых выхлопами автомобилей.

Выполненный анализ талого снега показал, что примеси, входящие в состав снегового покрова, не влияют на влагосодержание почвенных образцов.

Последний этап исследования предусматривал изучение видового разнообразия растительности, с последующим выявлением достаточного влагообеспечения.

Из деревьев на территории произрастают сосна и береза, кустарниковая растительность представлена Голдфлейм (Goldflame) красной и «Голден

Принцесс» (Golden Princess), среди травянистой растительности преобладают: одуванчик, клевер белый, тысячелистник обыкновенный, осока и манжетка обыкновенная. Установленная зависимость между видовым составом растений и влагообеспеченностью подтверждает отсутствие дефицита влаги, при этом обилие влаголюбивых видов способствует поддержанию оптимального уровня влажности почвы.

Проведенные исследования указывают на отсутствие дефицита влаги, произрастающие на исследованных территориях растения, наличие осадков и состояние почвы пополняют запасы почвенной влаги.

Список литературы

1. Юрков И. А., Тлеуова Ж.О., Баязитова З.Е. Анализ качества атмосферного воздуха //Наука и реальность SCIENCE & REALITY. – 2021. – С. 1184.
2. Дмитриев Е.А., Щеглов В.Н., Басевич В.Ф. Морфология движения впитывающейся во влажную почву влаги и определяющие ее факторы // Вест. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1985. № 1. - с. 31–35.

Анализ состояния атмосферного воздуха в зоне деятельности фармацевтического производства

Дворяшина Д. С.

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Данилова П. О.

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Рыбина С. Ю.

Заведующий лабораторией

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: проведен анализ состояния атмосферного воздуха в зоне действия АО «Веро-фарм» с использованием методов биологического мониторинга. Установлено, что изучаемые участки подвержены антропогенному воздействию, что нашло отражение в изменении состояния древостоя на территории, прилегающей к производственной.

Ключевые слова: биоиндикация, лишайники, древостой

В крупных городах для оценки экологического состояния уделяют особое внимание анализу различных компонентов окружающей среды: воздуха, водоемов, почвы, растительности и здоровья населения. Наиболее изменчивым и сложным для исследования остается атмосферный воздух, поскольку он оказывает влияние на все элементы экосистемы [1]. Для анализа атмосферного воздуха применяются как автоматизированные станции мониторинга, так и разовые или периодические отборы проб в районах с высокой концентрацией загрязняющих веществ. Такие методы позволяют оперативно отслеживать изменения состава воздуха и выявлять наиболее уязвимые зоны города.

Помимо традиционного инструментального мониторинга, который проводится на стационарных постах или путем разового отбора проб, широкое применение получили методы сезонного анализа. Они включают изучение

природных объектов, таких как листья деревьев и также лишайники, которые накапливают загрязняющие вещества в течение длительного времени [2].

Особое значение имеет фитоиндикация – метод, основанный на реакции растений на изменения окружающей среды. Растения выступают своеобразными биомаркерами, отражающими уровень загрязнения воздуха. Благодаря высокой чувствительности растительного покрова фитоиндикация позволяет не только фиксировать уровень загрязнения, но и выявлять источники выбросов.

Целью данной работы является проведение комплексной оценки экологических последствий производственной деятельности АО «Верофарм» и определение степени антропогенного воздействия предприятия на компоненты окружающей среды.

Исследования по влиянию фармацевтического производства на качество воздуха по зеленым насаждениям проводились в окрестностях территории ОАО «Верофарм» (г. Белгород). В качестве контрольной площадки была выбрана территория Парка Победы, находящаяся вдали от транспортных потоков и промышленных объектов (рис. 1).

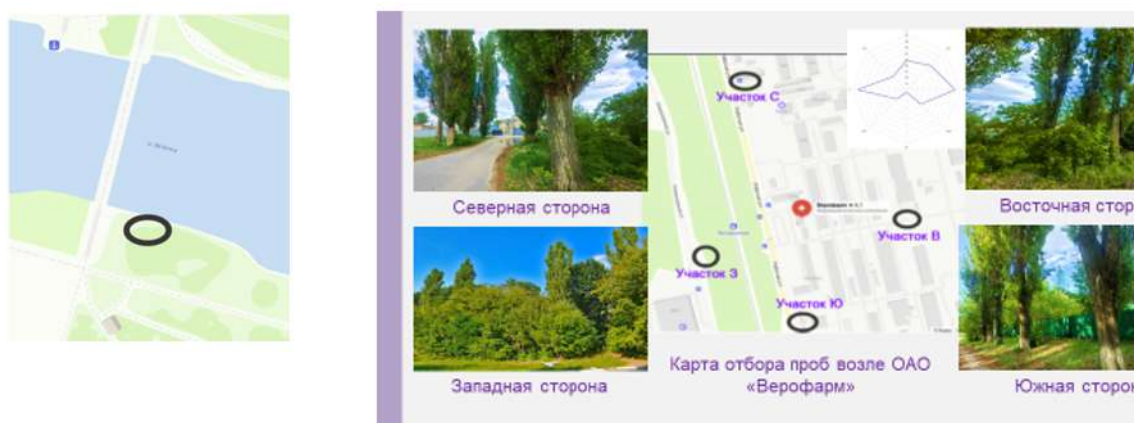


Рис. 1. Карта отбора проб в районе Парка Победы и ОАО «Верофарм»

Для оценки состояния атмосферного воздуха на территории, прилегающей к фармацевтическому предприятию, использовался метод фитоиндикации по анализу состояния лишайников и растений-индикаторов что позволило определить степень антропогенной нагрузки на природные компоненты среды.

Согласно полученным данным, используя характеристику лишеноиндикационных индексов все исследуемые участки отнесены к 4 зоне загрязнения – зоне относительно чистого воздуха, т.к. средняя концентрация диоксида серы

(SO₂) находится в допустимом диапазоне – 0,01-0,05 мг/м³. По лишеноиндикационному индексу ОЧА, с учетом видового состава лишайников экспериментальные участки можно отнести условно к зоне сильного загрязнения.

Далее на основании визуальной оценки деревьев внешних признаков на исследуемой территории был определен коэффициент состояния (К) (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика состояния древостоя

Показатель	Исследуемые участки														
	Юг			Восток			Запад			Север			Контроль		
Вид деревьев	Количество деревьев	Баллы состояния	Коэффициент состояния деревьев	Количество деревьев	Баллы состояния	Коэффициент состояния деревьев	Количество деревьев	Баллы состояния	Коэффициент состояния деревьев	Количество деревьев	Баллы состояния	Коэффициент состояния деревьев	Количество деревьев	Баллы состояния	Коэффициент состояния деревьев
Тополь	10	2,3	2,3	10	2,3	2,8	10	2,3	2,7	10	2,3	2,5	10	1,2	1,2
Клен ясенелистный	3	2,3	2,3	4	2,3	2,75	4	2,3	2,5	3	2,3	2,3	–	–	–
Ива ломкая	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3	1,2	1,3

Полученные данные указывают на сильное ослабление древостоя (K=2.6-3.5) на участке В, что соответствует III баллу состояния. На участке 3 деревья тополя также относятся к III баллу, а деревья клена ко II баллу (K=1.7-2.5) и являются ослабленными. Деревья на участках Ю и С относятся ко II баллу. В то же время Участок К, который располагается вдали от промышленного

предприятия, имеет здоровое состояние деревьев и равняется I баллу ($K \leq 1.6$). Изменение морфологических признаков подтверждает влияние антропогенного воздействия от предприятия на высшие растения.

Листья считаются наиболее информативными вегетативными органами деревьев при проведении фитодиагностики. Именно в листовом аппарате наиболее ярко проявляются реакции растений на антропогенное воздействие. Под его влиянием у деревьев могут наблюдаться морфологические изменения, такие как уменьшение площади листовой пластинки, развитие асимметрии, а также изменение окраски и структуры тканей.

Результаты эксперимента по оценке стабильности развития с использованием мерных признаков представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка стабильности развития с использованием мерных признаков

Номер признака	Исследуемые участки				
	Участок Ю	Участок В	Участок С	Участок З	Участок К
Параметры листьев, мм					
1 - ширина	29.96	33.49	31.41	26.65	25.59
2 - Длина 2-й жилки	29.97	34.79	31.73	28.56	27.37
3 - Расстояние между основаниями 1 и 2-й жилок	12.94	14.65	12.78	11.89	13.9
4 - Расстояние между концами 1 и 2-й жилок	11.78	13.92	11.61	12.51	9.18
5 - Угол между центральной и 2-й жилками	44.7	43.28	42.3	44.59	47.77
Величина показателя стабильности развития	0,050	0,054	0,052	0,052	0,021
Балл	IV	IV	IV	IV	II

Согласно полученным данным, величина показателя стабильности развития (интегральный показатель нарушений симметрии) на участках Ю, В, С и З показали значительно более высокие значения показателя (0,050–0,054), чем контрольный участок, что соответствует IV баллу по шкале оценки

экологического состояния среды и указывает на наличие выраженной экологической напряжённости, связанной, вероятно, с деятельностью предприятия.

Наибольший уровень нарушений симметрии зафиксирован на участке В (0,054), что может свидетельствовать о максимальном загрязнении среди исследуемых зон. Остальные участки (Ю – 0,050; С – 0,052; З – 0,052) также демонстрируют высокую степень дестабилизации развития, существенно превышающую уровень контрольного участка.

Таким образом, сравнительный анализ подтверждает, что участки, расположенные вблизи промышленного объекта, испытывают высокую антропогенную нагрузку, негативно влияющую на биологическую стабильность растений.

Кроме оценки состояния древостоя, осуществлен анализ растений на способность удерживать влагу для нормального функционирования листового аппарата в условиях стресса. Показатели водного обмена могут использоваться как надёжные фитоиндикаторы при экологическом мониторинге промышленных зон.

Содержание воды в большинстве вегетативных органов растений составляет 70–95 %, в семенах – от 5 до 15 %. Данный показатель клеток может служить информативным для характеристики водообмена растений в условиях техногенной среды, а, следовательно, и показателем качества среды. Данные оценки влажности листовых пластин на исследуемых территориях представлены в таблице 3.

Таблица 3

Оценка влажности и водного дефицита листьев на исследуемых участках

Исследуемые участки	Влажность листьев, %	Показатели водообеспеченности, %		
		водный дефицит ткани	относительная тургесцентность	дефицит относительной тургесцентности
Участок Ю	2,35	3,80	96,34	3,66
Участок В	2,22	4,09	96,07	3,93
Участок С	2,34	3,94	96,21	3,79
Участок З	2,31	3,76	96,38	3,62
Участок К	3,43	2,16	97,88	2,11

Анализ показателей водообеспеченности растений на исследуемой территории позволяет выявить влияние деятельности предприятия Верофарм на физиологическое состояние растительности. Участок К характеризуется минимальными значениями водного дефицита ткани (2,16 %). Это свидетельствует о хорошем водном балансе и отсутствии выраженного стрессового воздействия со стороны окружающей среды. Такая влажность может быть связана с тем, что контрольный участок находится возле реки.

В то же время на участках, расположенных вблизи предприятия (Ю, В, С, З), наблюдается ухудшение водного режима листьев растений. Наиболее выраженные отклонения от контрольных показателей зафиксированы на участках В и С, где зарегистрированы максимальные значения водного дефицита ткани (4,09 % и 3,94 % соответственно), что указывает на наличие водного стресса у растений. Эти данные свидетельствуют о потенциальном негативном воздействии предприятия на состояние окружающей среды.

Участки Ю и З демонстрируют промежуточные значения водообеспеченности, близкие к контрольным, однако также с большим снижением тургесцентности и увеличением дефицитов, что может свидетельствовать о меньшей степени, но всё же наличии воздействия.

Таким образом, пониженная водообеспеченность у растений, произрастающих вблизи предприятия Верофарм, может служить признаком ухудшения качества окружающей среды, вызванного техногенными факторами.

Проведенные исследования указывают на негативное воздействие фармацевтического производства на состояние атмосферного воздуха.

Список литературы

1. Рассадина Е.В. Биоиндикация и ее место в системе мониторинга окружающей среды // Вестник Ульяновской ГСХА. 2007. №2 (5). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bioindikatsiya-i-ee-mesto-v-sisteme-monitoringa-okruzhayuschey-sredy> (дата обращения: 25.03.2025).
2. Кладько Ю.В., Скрипальщикова Л.Н. Методика комплексной биоиндикационной оценки устойчивости древесных растений к техногенному загрязнению на урбанизированных территориях // СИБИРСКИЙ ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ. 2019. № 6. С. 27–38. URL: <https://сибирскийлеснойжурнал.рф/upload/iblock/> (дата обращения: 30.03.2025).

Оценка антропогенного влияния на качество воды р. Волга (г. Казань) по данным эколого-аналитического мониторинга

Ишмуратова Д. Р.

Инженер

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)»

Зайнуллин А. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье представлен комплексный анализ данных мониторинга качества воды реки Волга в районе г. Казани за последние пять лет. Исследование направлено на оценку уровня антропогенного воздействия, выявление основных факторов загрязнения и определение соответствия показателей действующим нормативам. Используются статистические методы обработки данных, картографическая визуализация и моделирование влияния городских и промышленных источников загрязнений. Полученные результаты позволяют сформулировать рекомендации по совершенствованию экологического менеджмента в регионе.

Ключевые слова: качество воды, река Волга, экологический мониторинг, антропогенное воздействие, статистический анализ, моделирование, загрязнение

Река Волга является одной из крупнейших водных артерий России и важным ресурсом для населения, промышленности и сельского хозяйства региона. За последние десятилетия наблюдается значительное антропогенное воздействие, обусловленное ростом городского населения, развитием промышленности и сельскохозяйственного производства [1–3]. Эти факторы приводят к ухудшению качества воды, что негативно сказывается на экосистемах и здоровье человека. В связи с этим актуальной задачей является проведение систематического экологического мониторинга и оценки степени влияния антропогенных факторов на показатели воды.

Цель исследования – анализ данных экологического мониторинга реки Волга в районе Казани за период 2019–2023 гг., выявление основных источников загрязнений и разработка рекомендаций по их устранению.

Методы – для оценки состояния водной среды использовались данные регулярных мониторинговых исследований, проведенных Казанским филиалом Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. В качестве аналитических методов применялись статистические обработки данных (описательная статистика, корреляционный анализ), геоинформационные системы (ГИС) для визуализации загрязнений, а также математическое моделирование влияния промышленных и бытовых источников на показатели воды.

Дополнительно использовались нормативные документы: СанПиН 2.1.6.1135-02, ГОСТ 17.2.3.01-86, а также международные стандарты по качеству воды.

На основе анализа данных мониторинга выявлены тенденции изменения уровней концентраций ключевых загрязнителей:

Биохимическая потребность в кислороде (БПК₅) варьировалась в диапазоне 3–6 мг/л, превышая допустимые значения в 20% наблюдений, что свидетельствует о поступлении органических веществ в водоем из бытовых и промышленных источников.

Общий азот (Нитраты, Азот аммонийный) показали рост в районе нефтеперерабатывающих предприятий и сельскохозяйственных территорий.

Содержание тяжелых металлов (Ртуть, Свинец) превышало нормативы вблизи промышленных зон, что указывает на необходимость внедрения более жестких фильтрационных технологий.

Картографическая визуализация данных подтверждает наличие очагов загрязнения вблизи урбанизированных территорий и промышленных предприятий. Статистический анализ выявил высокую положительную корреляцию между уровнем загрязнения и плотностью населения (коэффициент корреляции $r=0.78$, $p<0.05$).

Модель оценки воздействия показала, что антропогенные источники в среднем увеличивают концентрацию загрязнителей в воде на 30–50 % относительно природных уровней.

Наиболее значимыми факторами антропогенного загрязнения реки Волга в районе Казани являются бытовые стоки, промышленные выбросы и сельскохозяйственные стоки.

Показатели качества воды в ряде наблюдаемых точек превышают допустимые нормативы, что требует устранения источников загрязнения и совершенствования очистных сооружений.

Разработанная модель позволяет прогнозировать изменения показателей воды при различных сценариях антропогенного воздействия и служит основой для принятия управленческих решений.

В Республике Татарстан по данным лабораторных исследований наблюдается снижение доли проб воды водных объектов, используемых для рекреации (II-ой категории), не отвечающих санитарным нормативам по микробиологическим показателям – 2022 – 6 %, 2021 – 11,6 %, 2020 г. – 9,3 %. Доля проб воды водоемов II-ой категории, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям в 2022 составила 9,6 %, 2021 г. – 9,5 %, 2020 г. – 9,6 %. В таблицах 1, 2 и 3 приведены данные о количестве исследованных проб воды из систем нецентрализованного водоснабжения по санитарно-химическим и микробиологическим показателям в 2020-2022 г.г.

Таблица 1

**Количество исследованных проб воды из водных объектов
по санитарно-химическим показателям с 2020-2022 г.г.**

Источники водоснабжения всего: в том числе:	2020			2021			2022		
	всего	Из них не соответствует гигиеническим нормативам, %		всего	Из них не соответствует гигиеническим нормативам, %		всего	Из них не соответствует гигиеническим нормативам, %	
Водоемы 1 категории	109	7	6,4 %	99	13	13 %	112	3	2,7 %
Водоемы 2 категории	2030	194	9,5 %	1839	176	9,6 %	1621	157	9,7 %

Таблица 2

**Количество исследованных проб воды из водных объектов
по микробиологическим показателям с 2020-2022 г.г.**

Источники водоснабжения всего: в том числе:	2020			2021			2022		
	всего	Из них не соответствует гигиеническим нормативам, %		всего	Из них не соответствует гигиеническим нормативам, %		всего	Из них не соответствует гигиеническим нормативам, %	
Водоемы 1 категории	106	3	2,8 %	92	5	5,4 %	130	0	0
Водоемы 2 категории	5211	485	9,3 %	4416	514	11,6 %	4678	281	6 %

Таблица 3

**Количество исследованных проб воды из водных объектов
по паразитологическим показателям с 2020-2022 г.г.**

Источники водоснабжения всего:	2020			2021			2022		
	всего	Из них не соответствует гигиеническим нормативам, %		всего	Из них не соответствует гигиеническим нормативам, %		всего	Из них не соответствует гигиеническим нормативам, %	
Водоемы 1 категории	73	0	0	73	0	0	63	0	0
Водоемы 2 категории	1514	9	0,6 %	1529	5	0,34 %	1608	5	0,31 %

Таким образом, санитарно-эпидемиологическое состояние воды в Республике Татарстан можно оценить, как удовлетворительное, но требующее пристального внимания.

Рекомендуется усилить контроль за промышленными выбросами, внедрять современные очистительные технологии и проводить профилактические мероприятия по снижению нагрузки на водоем [5, 6].

Список литературы

1. Зайнуллин А.М., Зайнуллина Л.Ф. Очистка сточных вод производства тринитрорезорцината свинца мембранным способом // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. Сборник докладов III Международной научно-технической конференции. – 2017. – С. 31-35.
2. Зайнуллин А.М., Шайгаллямова Л.Ш. Очистка сточных вод производства нитросоединений ароматического ряда // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 192-195.
3. Зайнуллин А.М., Абзалова А.Г. Комплексная физико-химическая очистка сточных вод производства ТНРС // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Сборник докладов Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 188-191.
4. Федеральные санитарные нормы и правила (СанПиН 2.1.6.1135-02).
5. Иванов В. П., Смирнова Е. А. Мониторинг качества воды рек России: современные подходы и перспективы // Экология и промышленность. 2020. № 4. С. 45–52.
6. Кузнецов А. И., Лебедев В. В. Модели оценки загрязнения водных объектов // Вестник экологической науки. 2019. № 2. С. 78–8
7. Международный стандарт ISO 5667-3:2018 Water quality — Sampling — Part 3: Guidance on the preservation and handling of water samples.
8. ГОСТ 17.2.3.01-86. Вода питьевая. Гигиенические требования.

Анализ экосистемы реки Ракита

Коробкина Е. В.

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Юровских З. Ю.

Студент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Смоленская Л. М.

Доцент

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: проведен анализ воды реки Ракита по органолептическим, обобщенным и солевым показателям. Вода реки маломутная, умеренно загрязненная, характеризуется повышенным содержанием карбонатов и органических веществ. В речной воде наблюдается присутствие инородных примесей, влияние которых может быть нивелировано водной растительностью. Отмечено, что, несмотря на наличие загрязнения, экосистема сохраняет способность к саморегуляции за счет развитой водной растительности.

Ключевые слова: вода, река Ракита, качество воды, гидробионты

В последние годы в результате интенсивного освоения региона происходит усиление антропогенной нагрузки на окружающую природную среду, что приводит к значительному ухудшению качественного состояния вод. Подземные воды являются единственным источником питьевого, бытового и большей частью промышленного водоснабжения, что усугубляет водную проблему Белгородской области [1]. Необходимо отметить, что грамотное управление водными ресурсами является ключевым условием для обеспечения устойчивого развития, сохранения биоразнообразия и обеспечения безопасности жизни людей [2].

Изменения водных биоценозов представляют собой важный аспект, который необходимо учитывать при оценке состояния водных экосистем. В течение

года водные организмы подвержены различным изменениям, связанным с температурными колебаниями, уровнем воды, наличием питательных веществ и другими экологическими факторами [3]. Изучение этих изменений позволит выявить закономерности, которые могут быть использованы для прогнозирования состояния водоемов в будущем.

Целью данной работы является комплексное изучение экологического состояния водных экосистем на примере реки Ракиты (рисунок 1).

Река Ракита на основании Постановления Правительства РФ от 28.02.2019 № 206 «Об утверждении Положения об отнесении водного объекта или части водного объекта к водным объектам рыбохозяйственного значения и определении категорий водных объектов рыбохозяйственного значения» является водным объектом рыбохозяйственного значения первой категории.



Рис. 1. Река Ракита

Вода реки Ракита анализировалась по органолептическим, обобщенным и солевым показателям. Результаты определения органолептических и обобщенных показателей приведены в таблице 1.

Полученные данные указывают что вода реки маломутная (до 50 мг/л), по значению рН относится к нейтральным, по содержанию растворенного кислорода вода водоема загрязненная (класс качества IV), насыщение всего 42 %. Несмотря на это, поскольку в воде водоемов в любой период года до 12 часов дня концентрация растворенного кислорода должна быть не менее 4 мг/л, этот норматив всё же выдерживается. Все остальные величины показателей находятся в пределах нормы. Обращает на себя внимание незначительное появление

землистого запаха при нагревании воды, что может быть связано с размывом находящейся на реке дамбы.

Таблица 1

Органолептические и обобщенные показатели

Показатели, ед. измерений	Результаты исследований	Нормативы ПДК
рН, ед	7,45	6,5-8,5
Минерализация, мг/л	366,6	1000
Общее солесодержание мг/л	375,6	1000
Щелочность общая, мг-экв/л	6,435	7-9
Свободная щелочность мг-экв/л	4,455	
Общая жесткость, мг-экв/л	4,9	
Цветность, град	16	Не более 35
Запах, (20°С/60°С), баллы	1/2	2
Прозрачность, см	20	Не более 30
Мутность, мг/л	6,60	Не более 20
Растворенный кислород, мг/л	4,05	Не менее 6

Цветность воды реки Ракита имеет желтоватый оттенок, что может быть обусловлено примесями природного происхождения, которые вымываются из почвы, гумусовыми веществами желтоватого или коричневого цвета, железистыми соединениями от желтоватых до зеленых оттенков.

Солевые показатели приведены в таблице 2.

Согласно данным таблицы 4, при измеренном значении рН 7,45 карбонат-ионы практически отсутствуют (находятся в следовых количествах), а основная форма щелочности представлена гидрокарбонатами, расчетное содержание которых составляет 393 мг/л, что хорошо согласуется с общей минерализацией воды. Показатели солевого состава не превышают нормативное значение.

Для оценки качества воды был рассчитан индекс загрязнения воды по показателям, значения которых приближаются или превышают нормативные значения: сульфаты, аммоний, нитраты, нитриты, БПК₅ и растворенный кислород.

Рассчитанное значение величины ИЗВ (1,1) указывает, что вода умеренно загрязненная, класс качества III (1,0-2,0). Таким образом, проведенный расчет

подтвердил ранние высказывания о наличии загрязняющих веществ в реке Ракита.

Таблица 2

Показатели солевого состава

Показатели, ед. измерений	Результаты исследований	Нормативы ПДК
Хлорид-ион, мг/л	41,346	300
Сульфат-ион, мг/л	98,2	100
Карбонаты, мг/л	< 1,0	30
Гидрокарбонаты, мг/л	393,0	400
Кальций, мг/л	140,28	180
Магний, мг/л	34,05	40
Аммоний, мг/л	0,364	0,5
Нитраты, мг/л	11,9	40
Нитриты, мг/л	0,0203	0,08
БПК ₅ , мгО ₂ /л	3,5	2,1

Поскольку река Ракита является водным объектом рыбохозяйственного водопользования. Поэтому представляло интерес изучение видового разнообразия как гидробионтов, так и водной растительности с целью установления трофности реки.

Высшая водная растительность водного объекта представлена следующими видами: камыш, калужница, осока, ряска (рисунок 2).



Рис. 2. Водная растительность объекта

Ихтиофауна на запрашиваемом участке реки Ракита представлена следующими видами рыб: щука, окунь, красноперка, уклейка и др. (рисунок 3). Нагул молоди и взрослых особей рыб проходит по всей акватории. Нерестовые площади и зимовальные ямы не зарегистрированы.



Рис. 3. Ихтиофауна Ракиты

Поскольку ранее специальных гидробиологических исследований на рассматриваемом водоеме не проводилось, то работы по изучению водных биосистем являются актуальными. Необходимо отметить, что о составе гидробионтов и биологической продуктивности водоема можно судить по аналогичным исследованиям в других водоемах рассматриваемого бассейна водных объектов Белгородской области.

Качественный состав макрозообентоса представлен: весной – личинки хирономид, олигохеты, личинки стрекоз, личинки ручейников, клопы; в летний период – амфиподы, личинки поденок и пиявки; осенью – доминируют моллюски.

Основными компонентами экосистемы водоёмов, прямо или косвенно участвующими в воспроизводстве рыбных запасов, служат заросли водной растительности (макрофиты), планктонные водоросли (фитопланктон), зоопланктон и зообентос.

Основу зоопланктона реки Ракита составляют коловратки (Rotatoria,) и мелкие рачки – веслоногие (Copepoda) и ветвистоусые (Cladocera).

В весенний период преобладают коловратки *Keratella quadrata*, *K.cochlearis*, *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus diversicornis*, *Lecane* sp, *Polyarthra* sp.J, составляя до 60–80 % от общего количества организмов.

Начиная с мая, массово развиваются дафнии, а также в большом количестве науплии циклопов. С понижением температуры воды в летне-осенний период уровень развития зоопланктона постепенно снижается.

Таким образом, водная экосистема реки Ракита является сбалансированной, так как содержит все основные компоненты как биоты, так и абиоты. Вместе с тем, в речной воде наблюдается присутствие инородных примесей, приводящих к дисбалансу, проявляющегося в изменении качества воды, и как следствие, возможного нарушения гидробиологических процессов. Выявленная водная растительность частично может нивелировать наличие примесей, и тем самым поддерживать необходимый гомеостаз.

Список литературы

1. Сальникова О.Н., Балык В., Капустина Д.Д. Экологический мониторинг загрязненности водоёмов Белгородского района по данным дистанционного зондирования // Вектор ГеоНаук. 2021. №2. С. 49-55. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskiy-monitoring-zagryaznennosti-vodoyomov-belgorodskogo-rayona-po-dannym-distantcionnogo-zondirovaniya> (дата обращения 19.02.2026).
2. Водный кодекс Российской Федерации (Федеральный закон № 74-ФЗ от 03.06.2006 г.): принят Государственной Думой 12.04.2006 г. и одобрен Советом Федерации 26.05.2006 г. С изменениями на 25.06.2012 г. – М.: М-во юстиции Рос. Федерации. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 25.06.2012. 2012. 54 с.
3. Патин С.А. Антропогенное воздействие на морские экосистемы и биоресурсы: источники, последствия, проблемы // Труды ВНИРО. Контроль и охрана состояния водной среды и биоресурсов. 2015 г. Том 154. С. 85-104.

Экстракционно-фотометрическое определение массовой доли нефти в промышленных сточных водах

Мифтахутдинов Д. А.

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Романова Р. Г.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Гармонов С. Ю.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: проведено исследование по разработке методики определения нефти в промышленной сточной воде экстракционно-фотометрическим методом. В отличие от существующих методик экстракционно-фотометрического определения произведена замена токсичных органических растворителей (хлороформ, четыреххлористый углерод) с целью экстракции нефти из промышленных сточных вод на менее токсичные растворители для эффективного извлечения нефти из промышленных сточных вод. Проведена метрологическая аттестация разработанной методики.

Ключевые слова: промышленная сточная вода, нефть, изооктан, *n*-гептан, ксилол, методика выполнения измерений, фотометрия, экстракция

Загрязнение пластовых вод нефтью – приоритетная экологическая проблема, возникающая из-за аварий на скважинах/трубопроводах, а также проливов буровых растворов и нарушения правил утилизации сточных вод. Нефтяная пленка нарушает кислородный обмен, а высокоминерализованные пластовые воды вызывают засоление почв, гибель флоры и фауны, а также представляют серьезную опасность для подземных источников питьевой воды.

Контроль содержания нефти в промышленных сточных водах имеет важное значение для мониторинга загрязнения окружающей среды, а также улучшения нефтеотдачи пласта и увеличения ресурса работы насосного оборудования при проведении нефтедобычи. При извлечении смеси нефти с водой на поверхность она неизбежно перемешивается, образуя при этом эмульсию. Условия,

способствующие образованию нефтяных эмульсий, ясны, если проследить за движением смеси нефти и воды от забоя скважины и далее в зависимости от принятого способа эксплуатации, существенно влияющего на характеристику и свойства образующихся эмульсий [1]. Существующий метод анализа экстрагированием токсичными соединениями, такими как четырёххлористый углерод или хлороформ с последующим количественным определением на фотоколориметре содержания нефти в промышленной сточной воде не представляется возможным в связи с внедрением на предприятиях нефтедобычи внутренних стандартов, исключающих использование хлорорганических соединений. Данные ограничения связаны с внедрением риск ориентированного подхода на предприятиях, исключающих хлорорганические соединения на всех стадиях подготовки нефти. Ранее действовали отраслевые стандарты, позволяющие использовать данные экстрагенты для извлечения нефти из пластовой воды. На объектах подготовки нефти (после очистных сооружений) с целью контроля за технологическим процессом содержание нефти определяли по ОСТ 39-133-81 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания нефти в промышленной сточной воде». При контроле работы установки подготовки нефти допускается наряду с хлороформом применение других растворителей (ароматических углеводородов, прямогонного бензина и т.д.). Выполнение всех других анализов производится в соответствии с [3].

Изучена возможность экстракции нефти из промышленных сточных вод при использовании неводной фазы, состоящей из трех компонентов: изооктана, *n*-гептана и ксилола в соотношении 1:1:1 (об.). Данный растворитель по результатам проведенных экспериментов позволяет эффективно извлекать аналит, при этом имеет степень извлечения нефти составляет 98,4 %, что является хорошим результатом, позволяющим использовать данный растворитель в качестве экстрагента взамен токсичных хлорорганических соединений.

Алгоритм разработанной методики приведен на рис. 1. В соответствии с данным алгоритмом и при использовании нового экстрагента нами была разработана методика выполнения измерений «Промысловая сточная вода. Определение массовой концентрации нефти фотоколориметрическим методом». Методика позволяет определять содержания нефти в промышленной сточной воде в диапазоне от 0,5 до 500,0 мг/дм³ включительно.

Методика определения нефти в сточной воде



Рис. 1. Блок-схема определения нефти в воде

Способ измерения массовой концентрации нефти в промышленной сточной воде основан на извлечении нефти смесью органических растворителей из нефтепромысловой сточной воды с последующим измерением величины светопоглощения (оптической плотности) полученного экстракта фотоколориметрическим методом. Расчёт массовой концентрации нефти проводят с применением градуировочного графика или коэффициента факторизации.

Разработанная методика выполнения измерений метрологически аттестована в качестве методики выполнения измерений и успешно применяется на предприятиях ПАО «ТАТНЕФТЬ».

Список литературы

1. Каспарьяни К.С. Промысловая подготовка нефти – 1966. – 362 с.
2. Перевалов В.Г., Алексеева В.А. Очистка сточных вод нефтепромыслов – 1969. – 224 с.
3. РД 39-1-1155-84. Основные положения по качеству поверхностных пресных и промышленных сточных вод, применяемых для закачки в пласт на месторождениях Западной Сибири.

Оценка фитотоксического действия ионов свинца на начальные этапы развития кресс-салата

Мяскинова Э. А.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Степанова С. В.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье представлены результаты исследования фитотоксического действия ионов свинца на ранние этапы развития кресс-салата (*Lepidium sativum* L.). В модельных экспериментах с внесением в почву нитрата свинца в диапазоне концентраций от 337 до 1500 мг/кг установлено статистически значимое угнетение роста гипокотилия и первичного корня проростков. Выявлена нелинейная зависимость морфометрических показателей от уровня загрязнения: при концентрации 1125 мг/кг отмечен адаптационный ответ в виде увеличения длины побега и корня, тогда как при 1500 мг/кг наступает фаза глубокого ингибирования. Полученные данные обосновывают использование кресс-салата в качестве чувствительного тест-объекта для биомониторинга почв урбанизированных территорий и могут служить основой для экологического нормирования содержания свинца.

Ключевые слова: ионы свинца, фитотоксичность, кресс-салат (*Lepidium sativum*), биотестирование, загрязнение почв, адаптационный ответ, урбанизированные территории

Современные урбанизированные территории характеризуются высокой степенью техногенной трансформации природных сред, среди которых почвенный покров выступает в роли интегрального депонирующего звена. Тяжелые металлы, и в особенности свинец, относятся к приоритетным поллютантам городских экосистем ввиду их токсичности, устойчивости к деградации и способности к бионакоплению [1]. Основными источниками поступления свинца в почвы городов являются промышленные выбросы, автотранспорт (в прошлом – использование этилированного бензина), а также накопление твердых коммунальных отходов и применение фосфорных удобрений в зонах пригородного сельского хозяйства [2, 3]. В пределах селитебных, рекреационных и промышленных зон содержание свинца может превышать фоновые значения

в десятки раз, создавая риски для здоровья населения и устойчивости зеленых насаждений [4].

Одним из наиболее информативных и экономически доступных методов оценки экологического состояния почв является биотестирование с использованием чувствительных тест-культур. Кресс-салат (*Lepidium sativum* L.) широко применяется в фитотоксикологических исследованиях благодаря короткому периоду вегетации, высокой скорости прорастания, а также четкой морфометрической реакции на присутствие токсикантов в субстрате [5]. Однако характер ответной реакции растений на возрастающие концентрации свинца остается недостаточно изученным: наряду с классическим дозозависимым угнетением роста в ряде работ отмечаются немонокотонные зависимости, свидетельствующие о включении сложных адаптационных механизмов [6].

В связи с этим целью настоящей работы явилось изучение особенностей морфогенеза проростков кресс-салата в условиях возрастающего загрязнения почвы свинцом и выявление характера зависимости ростовых показателей от концентрации токсиканта.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: оценить изменение длины гипокотилия и первичного корня проростков при разных уровнях загрязнения; выявить статистически значимые эффекты фитотоксичности; определить концентрационные интервалы, в которых проявляются адаптационные процессы или глубокое угнетение развития.

В качестве объекта исследования использовались семена кресс-салата сорта «Аэлита». Моделирование загрязнения проводили путем внесения в навески почвы по 50 г водных растворов нитрата свинца ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) с различной концентрацией. Период кондиционирования загрязненной почвы составил 72 часа. Семена, предварительно замоченные в дистиллированной воде на 24 часа, высевали в опытные образцы почвы. По окончании вегетационного цикла проводили измерение длины первичного корня и гипокотилия у проростков.

Полученные экспериментальные данные демонстрируют значимое влияние ионов свинца на морфометрические параметры проростков кресс-салата (рис. 1 и 2).

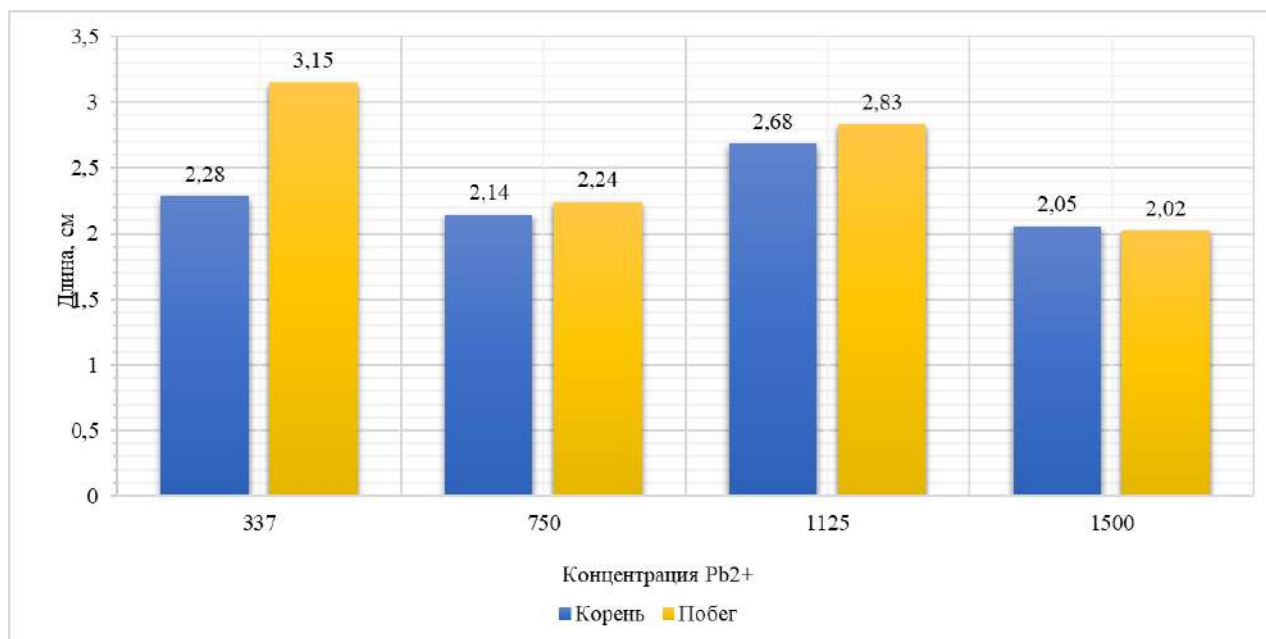


Рис. 1. Биометрические показатели кресс-салата, выращенного на почве, загрязнённой ионами свинца



а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Проростки семян кресс-салата, выращенные на почве, загрязненной ионами Pb²⁺ концентрацией: а) 337 мг/кг; б) 750 мг/кг; в) 1125 мг/кг; г) 1500 мг/кг

В результате проведенных исследований установлено, что загрязнение почвы ионами свинца в диапазоне концентраций Pb^{2+} от 337 до 1500 мг/кг оказывает выраженное фитотоксическое действие на проростки кресс-салата (*Lepidium sativum* L.), проявляющееся в статистически значимом угнетении ростовых характеристик корневой системы и надземной части. Наибольшее подавление развития зафиксировано при максимальной концентрации Pb^{2+} 1500 мг/кг, где длина побега составила 2,02 см, что подтверждает дозозависимый характер токсического эффекта и согласуется с данными, представленными в работах других авторов [7, 8].

Выявленная нелинейная динамика морфометрических показателей, в частности увеличение длины гипокотыля и корня при концентрации Pb^{2+} 1125 мг/кг, может рассматриваться как проявление адапционного ответа растительного организма на умеренный стресс, обусловленное активацией защитно-компенсаторных механизмов на клеточном и физиологическом уровнях. Последующее резкое снижение показателей при 1500 мг/кг свидетельствует о превышении компенсаторного потенциала и переходе в фазу глубокого ингибирования роста.

Полученные результаты имеют прямое практическое значение для экологии городской инфраструктуры. Высокая чувствительность кресс-салата к загрязнению ионами свинца позволяет рекомендовать данный вид в качестве стандартного тест-объекта для включения в программы биомониторинга почвенного покрова селитебных, рекреационных и промышленных зон. Выявленные пороговые концентрации Pb^{2+} (337 мг/кг – начало угнетения; 1125 мг/кг – зона адапционного ответа; 1500 мг/кг – зона необратимого угнетения) могут служить ориентирами при экологическом нормировании качества почв городских территорий и обосновании необходимости проведения рекультивационных мероприятий.

Кроме того, учет нелинейного характера ответной реакции растений подчеркивает важность применения комплексных подходов в биотестировании, исключающих прямолинейную экстраполяцию, доза-эффект. В целом, результаты работы вносят вклад в развитие методологической базы экологического мониторинга урбанизированных территорий и могут быть использованы при планировании систем зеленого строительства, направленных на повышение экологической безопасности и устойчивости городской среды.

Список литературы

1. Национальный атлас почв России. Том 2. Содержание свинца в почвах. – М.: Астрель; АСТ, 2011. – С. 317.
2. Иванищев В.В., Сиголаева Т.Е. Источники свинца в среде и проблемы снижения его содержания в почве // Вестник Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2024. – № 4. – С. 78–84.
3. Добровольский В.В., Обухов А.И., Глазовский Н.Ф. и др. Свинец в окружающей среде / Отв. ред. В.В. Добровольский. – М.: Наука, 1987. – 182 с.
4. Техногенные потоки и аккумуляция свинца в почвах городских ландшафтов / Под ред. А.И. Обухова. – М.: Изд-во МГУ, 2020. – 128 с.
5. Демиденко Г.А. Влияние свинца на рост и развитие семян и проростков гороха овощного // Вестник КрасГАУ. 2019. № 4. С. 45–51.
6. Дикарев А.В., Дикарев В.Г., Дикарева Н.С. Исследование фитотоксичности свинца для растений редиса и салата при выращивании на разных типах почв // Агрохимия. 2019. № 6. С. 72–80.
7. Желтухина В.И., Колесниченко Е.Ю., Акинчин А.В. Влияние нитрата свинца на морфометрические показатели проростков тюльпанов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2024. № 4(44). С. 78–84.
8. Романова О.В., Степанова С.В. Биотестирование почв городских территорий с использованием кресс-салата // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 2. С. 34–39.

Экологический мониторинг снежного покрова как инструмент управления качеством городской среды (на примере г. Казани)

Рахматуллин А. И.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Степанова С. В.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: представлены результаты мониторинга снежного покрова г. Казани в зимний период 2024–2025 гг. Выполнен отбор проб в пяти точках с разной антропогенной нагрузкой. Определены физико-химические показатели (рН, цветность, жёсткость, сульфаты, хлориды, нитраты, нефтепродукты, марганец, железо), перманганатная окисляемость, ХПК и фитотоксичность. Установлено, что концентрации загрязняющих веществ не превышают ПДК, однако в зонах интенсивного движения транспорта и в конце зимнего сезона наблюдается накопление органических веществ. Экономическая оценка показала, что применение органических сорбентов снижает затраты более чем на 50 %.

Ключевые слова: снежный покров, мониторинг, Казань, тяжёлые металлы, нефтепродукты, фитотоксичность, антропогенная нагрузка, талые воды

Снежный покров в условиях крупного города выполняет роль естественного накопителя атмосферных и дорожных поллютантов, аккумулируя в течение зимнего периода продукты сгорания топлива, противогололёдные реагенты, взвешенные частицы и тяжёлые металлы. При весеннем снеготаянии эти вещества поступают в почвы, водоёмы и ливневые системы, формируя вторичное загрязнение и создавая риски для экосистем и здоровья населения. В связи с этим оценка качества снежного покрова становится необходимым элементом экологического мониторинга урбанизированных территорий. Несмотря на наличие отдельных исследований по городам России, для Казани остаются недостаточно изученными пространственное распределение загрязнителей в зонах с разной антропогенной нагрузкой, а также связь между накоплением органических веществ и фитотоксичностью талых вод [1-3].

Цель работы — оценка состояния снежного покрова г. Казани, выявление зон повышенного загрязнения и рекомендации по снижению техногенного воздействия.

Отбор проб снега проведён в четырех репрезентативных точках (рис. 1) с разной антропогенной нагрузкой: фоновая зона (1 и 2) – пос. Званка; зоны высокой транспортной нагрузки -Мамадышский тракт (3), ул. Зинина (4), Сибирский тракт (5). Определен перечень критериев оценки степени загрязнения проб снега: pH, цветность, взвешенные вещества, общую жёсткость, концентрации сульфатов, хлоридов, нитратов, нефтепродуктов, марганца и железа, а также перманганатную окисляемость и ХПК (таблица 1). Фитотоксичность образцов оценена методом биотестирования на редисе [4].

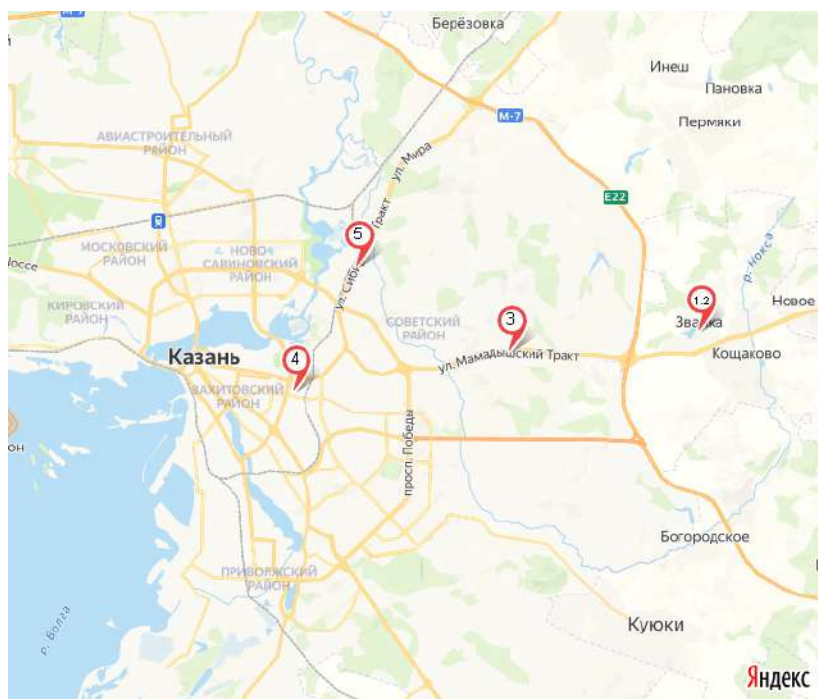


Рис. 1. Карта отбора проб

Установлено, что в фоновой зоне (Званка) все показатели находятся в пределах нормативов. В транспортных зонах (Мамадышский тракт, ул. Зинина) выявлено повышенное содержание органических веществ (ХПК до $71,9 \text{ мгО/дм}^3$ при ПДК 15 мгО/дм^3), нитратов (до $1,008 \text{ мг/дм}^3$), железа (до $0,21 \text{ мг/дм}^3$) и цветности (до 48°Ц). Превышения носят локальный характер и не являются критическими. Биотестирование показало отсутствие фитотоксичности талой воды (индекс фитотоксичности от 0 до 0,16 при нормативе $<0,1$).

Таблица 1

Результаты анализа снежного покрова в разных зонах г. Казани

Показатель	Ед. изм.	1, 2	3	4	5	ПДК
рН	ед.	7,12	6,78	6,95	7,32	6,5–8,5
Цветность	°Ц	37	44	48	42	20
Взвешенные вещества	мг/дм ³	0	0	0,2	0	—
Общая жёсткость	мг-экв/дм ³	2,77	3,13	2,95	2,88	7
SO ₄ ²⁻	мг/дм ³	0,016	0,099	0,054	0,032	100
Cl ⁻	мг/дм ³	0,01	0,04	0,03	0,02	350
NO ₃ ⁻	мг/дм ³	0,198	1,008	0,426	0,315	45
ХПК	мгО/дм ³	14,4	38,2	71,9	28,7	15
Перманганатная окисляемость	мгО/дм ³	0,53	2,33	1,86	0,96	5
Нефтепродукты	мг/дм ³	0	0,0002	0,0001	0	0,3
Ионы марганца	мг/дм ³	0,008	0,015	0,012	0,009	0,1
Ионы железа	мг/дм ³	0,08	0,15	0,21	0,12	0,3
Индекс фитотоксичности	ед.	0	0,12	0,16	0,05	<0,1

Для снижения негативного воздействия загрязнённого снега при его складировании и последующем таянии предложено использование органических сорбентов (древесных опилок). Данные материалы обладают высокой сорбционной ёмкостью по отношению к нефтепродуктам, ионам тяжёлых металлов и органическим поллютантам, экологически безопасны и после использования могут быть утилизированы или регенерированы.

В работе проведена экономическая оценка применения органических сорбентов для обработки снежных масс в зонах временного складирования. Расчёт показал, что внедрение данной технологии снижает суммарные затраты (плата за НВОС + экологический ущерб + ликвидация) с 19,9 до 9,8 млн руб., то есть на 50,7 %. Экономия достигается за счёт снижения массы загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду, и уменьшения размера взыскиваемого экологического вреда.

Таким образом, снежный покров г. Казани характеризуется умеренным загрязнением с максимальной техногенной нагрузкой в зонах интенсивного движения транспорта. Отсутствие фитотоксичности талой воды позволяет рассматривать снег как менее опасный, чем предполагалось ранее, вторичный

источник загрязнения. Применение органических сорбентов является экономически обоснованным и экологически целесообразным методом снижения экологического ущерба от загрязнённого снежного покрова. Рекомендовано включить регулярный мониторинг снежного покрова в систему городского экологического контроля г. Казани, а также предусмотреть использование органических сорбентов при обращении с загрязнёнными снежными массами в зимний период.

Список литературы

1. Чистякова А.А. Экология городов. — Москва : Академия, 2019. — 192 с.
2. Киселёв С.Н. Загрязнение снежного покрова в урбанизированных территориях // Геоэкология. — 2020. — № 1. — С. 45–52.
3. Карпухина С.М., Брагина Л.И. Химический состав снега как индикатор загрязнения окружающей среды // Вестник Томского государственного университета. — 2018. — № 3 (79). — С. 112–118.

Расчет приземных концентраций выбросов автотранспорта в зонах, прилегающих к автомагистралям г. Нижнекамска (на примере проспекта Химиков)

Рябова Т. А.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ

Шагидуллин А. Р.

Старший преподаватель

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева–КАИ

Аннотация: обоснована необходимость использования расчетных методов для оценки качества атмосферного воздуха в зонах влияния автомагистралей. Представлены результаты расчёта приземных концентраций компонентов выбросов автотранспорта на участке проспекта Химиков города Нижнекамска. Рассчитано пространственное распределение максимальных разовых концентраций основных компонентов выбросов (частицы PM_{2,5}, азота диоксид, азота оксид, серы диоксид, углерода оксид, метан, формальдегид, бензин, керосин и группы суммации азота диоксид и серы диоксид). Оценена степень превышения предельно допустимых концентраций.

Ключевые слова: автотранспорт, выбросы в атмосферу, диоксид азота, выхлопные газы, максимальная разовая концентрация

Автомобильный транспорт является одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах. Натурные наблюдения за качеством воздуха в зонах влияния автомагистралей крайне эпизодичны, а данные стационарных постов наблюдений за загрязнением атмосферы не позволяют выделить вклад автотранспортной составляющей в формируемый уровень загрязнения. Рассеивание выбросов от автотранспорта характеризуется рядом особенностей:

- узкая линейная локализация выбросов, привязанная к основным автомагистралям;
- неоднородность нагруженности и марочного состава транспортного потока во времени;

- значительная пространственная изменчивость характеристик потока, определяющаяся степенью удаленности от крупных населенных пунктов, направлением и характером покрытия дорог.

- малая высота выброса, затрудняющая процессы рассеивания [1-4].

Развитие расчетных методов количественной оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха в зонах влияния автомагистралей является крайне актуальным.

Целью данного исследования являлась оценка уровня загрязнения атмосферы выбросами автотранспорта на примере участка проспекта Химиков в г. Нижнекамск (в границах от улицы Баки Урманче до проспекта Вахитова).

Для количественной оценки объемов выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с отработавшими газами транспортных средств, применялась «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха» [5], разработанная для выполнения инвентаризации выбросов при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха.

Согласно указанной методике, расчёт выбросов базируется на данных об интенсивности транспортного потока (число проездов за фиксированный интервал времени – 20 минут) с дифференциацией по пяти категориям: легковые автомобили, лёгкие коммерческие транспортные средства массой до 3,5 т, грузовые автомобили массой 3,5–12 т, тяжелые грузовики свыше 12 т, автобусы массой более 3,5 т.

Наблюдения для определения максимальных разовых концентраций осуществляются в часы пиковой транспортной нагрузки.

Следующим этапом, на основе полученных данных наблюдений, с учетом представленных в методике пробеговых выбросов (удельных значений выбросов загрязняющих веществ на единицу длины автодороги для каждой категории транспорта) и протяженности исследуемого участка пути, проводится расчет количества выбрасываемых загрязняющих веществ.

Методика позволяет рассчитывать выбросы для следующих вредных веществ (групп веществ): углерода оксид (CO), азота оксид (NO), азота диоксид (NO₂), взвешенные мелкодисперсные частицы PM_{2,5}, бензин, керосин, серы

диоксид (SO_2), формальдегид (CH_2O), бензапирен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$, установлены только среднегодовые ПДК), метан (CH_4).

Завершающим этапом является моделирование процесса рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, позволяющее определить ожидаемые концентрации вредных компонентов в зонах, прилегающих к автодороге.

Расчеты рассеивания проводились с использованием программного обеспечения УПРЗА «Эколог» (4.70). Программа реализует методику расчета рассеивания загрязняющих веществ [6].

Моделирование проводилось с полным перебором метеопараметров в рамках климатической характеристики г. Нижнекамск для выявления максимальных разовых концентраций. Результаты детализированы для веществ, имеющих установленные нормативы максимальных разовых ПДК [7].

После изучения расположения исследуемого участка дороги и находящейся под его влиянием городской застройки, были определены параметры расчетной сетки для проведения расчетов распределения концентраций (полей концентраций). Расчеты проводились для прямоугольника 800×560 м. Шаг расчетной сетки выбран равным 20 м.

Дополнительно выделены контрольные точки в местах расположения ближайших к проезжей части зданий. Детализация максимальных концентраций выполнена для точек, приведённых в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные точки для детализации максимальных разовых концентраций

Код	Координаты (м)		Высота (м)	Тип точки	Комментарий
	Х	У			
1	2286597,	459279,5	2,00	точка пользователя	Парк семья
2	2286950,	459632,0	2,00	точка пользователя	Парк семья
3	2286705,	459172,0	2,00	точка пользователя	Химиков 64
4	2286948,	459328,5	2,00	точка пользователя	Химиков 70а
5	2287198,	459571,5	2,00	точка пользователя	Химиков 76а

Полученное в результате расчетов распределение концентраций вредных веществ в выбранных расчетных точках указано в табл. 2. Для оценки степени негативного воздействия полученных абсолютных концентраций вредных

веществ использовались установленные максимальные разовые предельно допустимые концентрации.

Таблица 2

**Распределение концентраций вредных веществ в выбранных
расчетных точках**

Код вещества	Наименование вещества	Распределение концентраций, доли ПДК	Распределение концентраций, мг/м ³
0010	Взвешенные частицы РМ _{2,5}	0,01-0,02	0,002-0,003
0301	Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)	0,55-0,91	0,110-0,181
0304	Азот (II) оксид (Азот монооксид)	0,04-0,07	0,018-0,030
0330	Сера диоксид	Менее 0,01	Менее 0,001
0337	Углерода оксид (Углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	0,02-0,03	0,096-0,174
0410	Метан	Менее 0,01	0,003-0,006
1325	Формальдегид (Муравьиный альдегид, оксометан, метиленоксид)	Менее 0,01	Менее 0,001
2704	Бензин (нефтяной, малосернистый) (в пересчете на углерод)	Менее 0,01	0,021-0,039
2732	Керосин (Керосин прямой перегонки; керосин дезодорированный)	Менее 0,01	0,004-0,007
6204	Азота диоксид, серы диоксид	0,34-0,57	-

Как можно видеть из табл. 2, ожидаемые максимальные разовые концентрации для углерода оксида, азота оксида, мелкодисперсных частиц РМ_{2,5}, бензина, керосина, серы диоксида, формальдегида и метана не превышают 0,1 ПДК, т.е. 10 % от предельно безопасных значений.

Для группы 6204 из двух веществ (азота диоксид, серы диоксид) с суммацией вредного воздействия приведенные концентрации составляют значения до 0,57 ПДК.

Максимальные из полученных значения наблюдаются для диоксида азота. По данному веществу приземные концентрации в часы наиболее интенсивного движения транспорта и неблагоприятных для рассеивания метеорологических условий могут достигать 0,91 ПДК.

Полученные поля приземных концентраций для диоксида азота и суммы 6204 представлены на рис.1, 2.



Рис.1. Поля максимальных концентраций диоксида азота

Таким образом, в зависимости от интенсивности движения транспорта на участках улично-дорожной сети и сложившейся застройки на прилегающих к автодорогам территориях, при неблагоприятных условиях автотранспорт может формировать концентрации вредных веществ на уровне ПДК.

Полученные результаты обосновывают необходимость развитие транспортной инфраструктуры (строительство объездных дорог и разгрузка основных магистралей города путем строительства дублеров транспортных направлений) и организации постоянного экологического мониторинга на наиболее напряженных участках городской транспортной инфраструктуры.



Рис.2. Поля максимальных концентраций суммации 6204

Список литературы

1. Тунакова Ю.А., Григорьева И.Г., Шагидуллина Р.А. Области применения моделей для расчета распределения примесей в приземном слое атмосферного воздуха // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 163-166.
2. Латыш Д.С. Автотранспорт как фактор влияния на экологическую ситуацию в техносфере / Д.С. Латыш, В.Н. Ефремова // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2023. – № 1(22). – С. 142-146.
3. Чупахин Д. А. Интенционное моделирование и управление автотранспортом на нерегулируемых перекрестках / Д.А. Чупахин, А.А. Пахомов, Л.В. Гаев // Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Саратов, 10 мая 2024 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2024. – С. 97-98.
4. Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С., Григорьева И.Г., Кузнецова О.Н. Разработка моделей прогноза концентраций примесей в приземном

слое атмосферного воздуха на основании значимых метеорологических параметров // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 179-181.

5. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха (утверждена приказом Минприроды России от 27 ноября 2019 года № 804)
6. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утверждены приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273)
7. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2)

Оценка комплекса инженерных и управленческих решений по снижению техногенного воздействия объектов нефтедобычи на окружающую среду

Сагдатов И.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Сольяшинова О. А.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье рассмотрены экологические последствия деятельности объектов нефтедобычи и проведена комплексная оценка инженерных и управленческих решений по снижению техногенного воздействия на окружающую среду

Ключевые слова: нефтедобыча, техногенное воздействие, охрана окружающей среды, экологические риски, инженерные решения

Нефтедобыча остаётся одной из базовых отраслей экономики, но одновременно создаёт значительную нагрузку на окружающую среду. Экологические риски возникают на всех этапах: разведке, бурении, эксплуатации скважин, транспортировке сырья и обращении с отходами. Наиболее характерные последствия — загрязнение почв и вод, выбросы метана и других загрязняющих веществ, нарушение ландшафтов и сокращение биоразнообразия.

Актуальность темы связана с ужесточением экологических требований, высокими экономическими потерями от аварий и ростом общественного запроса на устойчивое развитие. Современные технологические и управленческие подходы позволяют снижать воздействие без потери производственной эффективности, поэтому важна их комплексная оценка.

Воздействие на атмосферу проявляется в выбросах летучих органических соединений, оксидов азота и серы, а также в утечках и факельном сжигании попутного нефтяного газа. Для водных объектов риски связаны с попаданием нефтепродуктов, буровых растворов и реагентов в поверхностные и подземные воды. Почвы и недра страдают от разливов нефти, деформации грунтов и накопления буровых шламов.

Экосистемные последствия включают токсическое воздействие на флору и фауну, фрагментацию местообитаний и снижение биоразнообразия. Следовательно, меры по снижению ущерба должны быть системными и охватывать одновременно технические, организационные и социальные аспекты [1].

Ключевое направление — предотвращение утечек и аварий. Для этого используются резервуары и трубопроводы с повышенной герметичностью, системы раннего обнаружения утечек, коррозионностойкие материалы и автоматизированный контроль технического состояния. Эти меры снижают вероятность аварий и уменьшают масштаб последствий.

Важную роль играют технологии очистки и утилизации: коагуляция, мембранная фильтрация, сорбция, термическая переработка буровых шламов, а также биоремедиация загрязнённых участков. В совокупности они уменьшают нагрузку на водные и почвенные ресурсы и снижают объём опасных отходов.

Отдельный блок — энергоэффективность. Наибольший экологический эффект даёт утилизация попутного нефтяного газа: использование его для выработки энергии, закачка в пласт и переработка в полезные продукты. На удалённых объектах дополнительно применяются солнечные и ветровые установки, что уменьшает потребление традиционного топлива.

Цифровой мониторинг усиливает эффективность природоохранных мер. Спутниковое наблюдение, газоанализаторы, датчики качества воды и системы контроля трубопроводов позволяют быстро выявлять отклонения и предотвращать аварийные ситуации.

Инженерные меры работают полноценно только при эффективном управлении. Основа — соблюдение требований природоохранного законодательства, проведение оценки воздействия на окружающую среду, нормирование выбросов и сбросов, а также внедрение систем экологического менеджмента по международным стандартам, включая ISO 14001 и ISO 50001 [2].

Существенную роль играют экономические инструменты: платежи за негативное воздействие, экологические налоги, субсидии и гранты на модернизацию, зелёные облигации и страхование экологических рисков. Они стимулируют компании внедрять экологичные решения не только из-за требований контроля, но и из-за прямой экономической выгоды.

Не менее важен социальный компонент: общественные обсуждения проектов, открытое информирование населения и программы компенсации для

местных сообществ. Такой подход снижает конфликтность и повышает качество принимаемых решений.

Результативность мер оценивается по системе KPI. К экологическим показателям относятся снижение выбросов CO₂ и CH₄, уменьшение площади загрязнённых земель, улучшение качества воды и рост доли утилизации попутного газа. Экономические KPI включают затраты на экологизацию, полученную экономию и динамику штрафов. Социальные — число предотвращённых аварий и уровень удовлетворённости населения [3].

Практика показывает, что наилучший результат достигается при сочетании инженерных и управленческих инструментов. Комплексные программы снижают аварийность, уменьшают выбросы и одновременно повышают устойчивость производственных процессов.

Основные ограничения внедрения — высокие первоначальные инвестиции, сложность мониторинга в труднодоступных регионах, дефицит квалифицированных кадров и неравномерность нормативной базы. Для преодоления этих барьеров необходимы долгосрочные инвестиционные программы, развитие экологической инженерии и цифровых систем контроля, а также совершенствование механизмов стимулирования.

Снижение техногенного воздействия нефтедобычи требует системного подхода, в котором инженерные инновации, управленческие механизмы и социальный диалог работают как единая модель. Наиболее эффективны решения, сочетающие предотвращение загрязнений, оперативный мониторинг, рациональное обращение с отходами и экономическое стимулирование экологических практик.

Такой подход позволяет одновременно снижать экологический ущерб, повышать надёжность работы предприятий и обеспечивать долгосрочную устойчивость нефтедобывающей отрасли.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
2. ГОСТ Р ИСО 14001-2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению».
3. Материалы UNEP по промышленной экологии и устойчивому развитию.

Фитотоксическое влияние растворов мелассы на энергию прорастания семян редиса

Сайфутдинова Р. Д.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Степанова С. В.

Профессор

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в работе изучено влияние растворов мелассы в концентрациях 0,1–5 % на энергию прорастания семян редиса (*Raphanus sativus* L.). Установлено, что низкие концентрации (0,1–1,0 %) не оказывают статистически значимого ингибирующего действия — энергия прорастания составляет 93,3–100 %. Повышение концентрации до 2,5 % вызывает достоверное снижение энергии прорастания до 73,3 %, а при 5 % фитотоксический эффект максимален — прорастает 33,3 % семян.

Ключевые слова: меласса, фитотоксичность, энергия прорастания, редис

В современном сельском хозяйстве и биотехнологии стоит проблема поиска экологически безопасных, доступных и возобновляемых агрохимикатов для стимуляции роста растений. Традиционные минеральные удобрения, несмотря на высокую эффективность, часто приводят к засолению почв, ухудшению их структуры и накоплению токсичных соединений в продукции. В связи с этим всё большее внимание исследователей привлекают органические отходы перерабатывающей промышленности — как источник биогенных элементов и биологически активных веществ.

Меласса (кормовая патока) — побочный продукт сахарного производства, содержащий до 50–60 % сахаров, а также комплекс микроэлементов (K, Ca, Mg, Fe), витаминов группы B и аминокислот. В мировой практике мелассу используют для производства кормовых добавок, биоэтанола, а также как компонент органических удобрений и субстратов для вермикультивирования. Однако применение мелассы в чистом виде или в виде концентрированных растворов может оказывать двойственное действие на растения: низкие дозы способствуют развитию ризосферной микрофлоры и улучшают минеральное питание, тогда

как высокие концентрации создают осмотический стресс и проявляют фитотоксичность.

Особую значимость изучение фитотоксического действия мелассы приобретает в связи с расширением практики предпосевной обработки семян органическими экстрактами, а также при использовании мелассосодержащих растворов в системах капельного орошения и гидропоники. Начальный этап онтогенеза – прорастание семян – является наиболее чувствительным индикатором стрессового воздействия, поскольку именно в этот период активируются гидролитические ферменты, и зародыш переходит от покоя к активному росту. Энергия прорастания (процент проросших семян в первые 3–4 суток) служит интегральным критерием, отражающим физиологическую полноценность семян и пригодность среды для стартового развития проростков.

Цель работы – оценить фитотоксическое влияние растворов мелассы различной концентрации (0,1–5 %) на энергию прорастания семян редиса.

Объект исследования – семена редиса (*Raphanus sativus* L.). Энергию прорастания определяли на 3-и сутки как количество семян, давших корешок длиной не менее 2 мм. Повторность опыта – 3-кратная. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Энергия прорастания семян

Дистиллированная вода	Раствор мелассы, %					
	0,1	0,25	0,5	1	2,5	5
100 ± 0	96,7 ± 5,8	96,7 ± 5,8	93,3 ± 5,8	93,3 ± 5,8	73,3 ± 5,8	33,3 ± 5,8

Полученные результаты свидетельствуют о концентрационно-зависимом фитотоксическом действии растворов мелассы на энергию прорастания семян редиса. В диапазоне концентраций 0,1–1,0 % энергия прорастания статистически значимо не отличается от контроля и составляет 93,3–100 %, что указывает на отсутствие ингибирующего эффекта и позволяет рассматривать эти концентрации как физиологически безопасные для начального этапа онтогенеза. Повышение концентрации до 2,5 % вызывает достоверное снижение энергии прорастания до 73,3 %, а при 5,0 % фитотоксический эффект максимален – энергия прорастания падает до 33,3 %. Выявленная закономерность объясняется

прежде всего осмотическим стрессом: высокие концентрации сахаров (до 50–60 % в исходной мелассе) создают значительное осмотическое давление, препятствующее поступлению воды в семена, что замедляет активацию гидролитических ферментов и набухание зародыша. Кроме того, избыток органических веществ может подавлять дыхание и вызывать плазмолиз клеток. Таким образом, пороговой концентрацией, превышение которой нежелательно при обработке семян редиса, является 2,5 %. Для практического использования мелассы в качестве компонента питательных растворов или предпосевного стимулятора рекомендуются концентрации не выше 1 %.

Список литературы

1. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести: межгосударственный стандарт: дата введения 1986-07-01 / разработчик Министерство сельского хозяйства СССР. – Издательство стандартов, 1984. – 29 с.
2. Славянский А.А. Сахар и основы его производства / А.А. Славянский. – Москва: Издательский комплекс МГУПП, 2005. – 121 с. – Текст: непосредственный.

Учет выбросов от стоянки автотранспорта при инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха: нормативные изменения и сравнительная оценка выбросов автомобилей химической лаборатории

Сафина Г. Р.

Магистрант

ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Фатьянова Е. В.

Доцент

ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

Аннотация: рассматривается учет выбросов от стоянки автотранспорта при инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха в условиях изменения природоохранного законодательства. На основе расчетов для шести автомобилей проведено сравнение валовых выбросов. Установлено, что наибольший вклад вносят бензиновые грузовые автомобили, тогда как дизельный транспорт имеет иной профиль выбросов. Показана практическая значимость учета автостоянок при экологической оценке.

Ключевые слова: инвентаризация выбросов, автостоянка, передвижные источники, стационарные источники, загрязняющие вещества, автотранспорт, химическая лаборатория, оксид углерода

Российский подход к инвентаризации выбросов за последние несколько лет стал заметно строже именно в той части, которая раньше нередко воспринималась как периферийная. Если в практике экологического сопровождения акцент традиционно делался на организованных стационарных источниках – вентиляции, трубах, технологических установках, – то действующая редакция статьи 22 Федерального закона № 96-ФЗ прямо требует учитывать выбросы как от стационарных, так и от передвижных источников, которые постоянно или временно эксплуатируются на объекте негативного воздействия. Эта норма появилась после изменений 2019 года и изменила саму логику инвентаризации: автотранспорт, работающий в контуре объекта, перестал быть факультативным элементом оценки и превратился в обязательный предмет учета.

Новый порядок, утвержденный приказом Минприроды России от 19.11.2021 № 871 и действующий с 1 марта 2022 года, усилил этот сдвиг. В разъяснениях к его введению отмечалось, что при инвентаризации должны выявляться и учитываться все стационарные и передвижные источники загрязнения атмосферного воздуха на объекте. Более того, в самом порядке отдельно указано, что под учет попадают выбросы от передвижных источников на стоянках и сооружениях, где осуществляется работа, обслуживание, ремонт, погрузка и разгрузка; повторный учет не требуется лишь в том случае, если такие выбросы уже были отражены как выбросы от стационарных источников. По существу, именно эта связка норм и объясняет, почему в настоящее время выбросы от стоянки автомобилей химической лаборатории не могут игнорироваться при инвентаризации.

Здесь есть важный правовой нюанс. Сам приказ № 871 по названию посвящен инвентаризации стационарных источников и выбросов, однако его содержательная часть уже встроена в более широкую законодательную конструкцию, где инвентаризация охватывает и передвижные источники. Из-за этого на практике возникла двойственность: нормативы допустимых выбросов по-прежнему разрабатываются для стационарных источников, а учет транспортных выбросов идет через инвентаризацию как процедуру фиксации качественного и количественного состава загрязнения на объекте [4]. Таким образом, включение автостоянки в инвентаризацию является прямым следствием изменения законодательства.

Эмпирической базой исследования послужили расчеты выбросов от открытой стоянки химической лаборатории, на которой размещаются шесть автомобилей, используемых для выезда на объекты исследования и отбора проб. В составе парка присутствуют три легковых бензиновых автомобиля (Renault Duster 2020 года, Renault SR 2010 года, ВАЗ 21310 2014 года), два бензиновых грузовых автомобиля грузоподъемностью до 2 т (УАЗ 390994 2008 года, ГАЗ 27057 2019 года) и один дизельный грузовой автомобиль (Ford Transit 2012 года, на базе которого размещена мобильная экологическая лаборатория контроля атмосферного воздуха). Характеристика автомобилей приведена в таблице 1.

Расчетная часть выполнялась по методике проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных

предприятий, ой Минтрансом России 28.10.1998. Этот документ продолжает использоваться в профессиональной практике постольку, поскольку не противоречит действующему природоохранному регулированию; такой подход отражен и в судебной практике, и в правоприменительных подборках. Для открытой обособленной стоянки с непосредственным въездом и выездом на дороги общего пользования расчет выполняется по схеме, учитывающей выбросы при прогреве двигателя, движении по территории стоянки и работе на холостом ходу. С методической точки зрения это удобно: можно получить валовые и максимально разовые выбросы без инструментальных измерений. С точки зрения экологической аналитики модель грубее, чем кажется, поскольку она опирается на нормативные удельные показатели, а не на фактическое техническое состояние конкретной машины [6].

Таблица 1

**Характеристика автотранспортных средств, размещаемых
на стоянке химической лаборатории**

№	Марка автомобиля	Категория	Тип ДВС	Рабочий объем, л	Год вы- пуска
1	Renault Duster	легковой	бензин	2,0	2020
2	Renault SR	легковой	бензин	1,6	2010
3	ВАЗ 21310	легковой	бензин	1,7	2014
4	УАЗ 390994	грузовой (до 2 т)	бензин	2,9	2008
5	ГАЗ 27057	грузовой (до 2 т)	бензин	2,7	2019
6	Ford Transit	грузовой (до 2 т)	дизель	2,2	2012

В исследуемой выборке рассчитывались выбросы оксида углерода, углеводородов, оксидов азота и диоксида серы для бензиновых автомобилей, а для дизельного Ford Transit дополнительно учитывалась сажа. Уже сама структура перечня загрязняющих веществ задает дальнейшую интерпретацию результатов: бензиновый транспорт, как правило, формирует более заметный вклад по СО и СН, тогда как дизельный – по NO_x и твердым частицам. Вместе с тем сравнительный анализ в данной статье, выполненный по суммарным валовым выбросам, позволяет сопоставить общий вклад каждого автомобиля в загрязнение атмосферного воздуха.

Таблица 2

Валовые выбросы загрязняющих веществ по автомобилям стоянки, т/год

Автомобиль	CO	CH	NO_x	C	SO₂	Суммарный валовый выброс
Renault Duster	0,00870 0576	0,00046 7209	0,000073 9848	—	0,000024 134	0,009265 904
Renault SR	0,00913 6875	0,00078 7453	0,000053 5234	—	0,000022 1562	0,010000 008
BA3 21310	0,00913 6875	0,00078 7453	0,000053 5234	—	0,000022 1562	0,010000 008
УАЗ 390994	0,01886 6261	0,00207 6751	0,000163 332	—	0,000037 3361	0,021143 680
ГАЗ 27057	0,01886 6261	0,00207 6751	0,000163 332	—	0,000037 3361	0,021143 680
Ford Transit	0,00482 6241	0,00097 6450	0,001233 684	0,000076 8712	0,000153 967	0,007267 213

Полученные значения показывают, что наибольший суммарный валовый выброс установлен для бензиновых грузовых автомобилей УАЗ 390994 и ГАЗ 27057: по 0,02114 т/год. Их вклад более чем в два раза превышает вклад от Renault Duster и примерно в 2,1 раза выше, чем у Renault SR и BA3 21310. Дизельный Ford Transit выглядит по сравнению с бензиновыми автомобилями менее значимым по выбросам CO и суммарной массе выбросов в целом, но при этом при работе дизельного двигателя в атмосферу поступают более высокие количества оксидов азота и сажа.

Структура валовых выбросов, поступающих от автомобилей, приведена на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что у бензиновых автомобилей основная нагрузка на атмосферу связана с выбросом оксидом углерода и углеводородов, особенно в режимах прогрева и холостого хода. Для дизельного автомобиля главный экологический риск смещается в сторону оксидов азота, диоксида серы и сажи. На практике это означает, что решение о модернизации автопарка нельзя строить по одному суммарному показателю [8]. Если задача состоит в снижении

локального загрязнения по СО и СН, то приоритетными для замены выглядят бензиновые грузовые автомобили. Если акцент делается на NO_x и твердых частицах, то объектом отдельного внимания становится дизельная передвижная лаборатория.

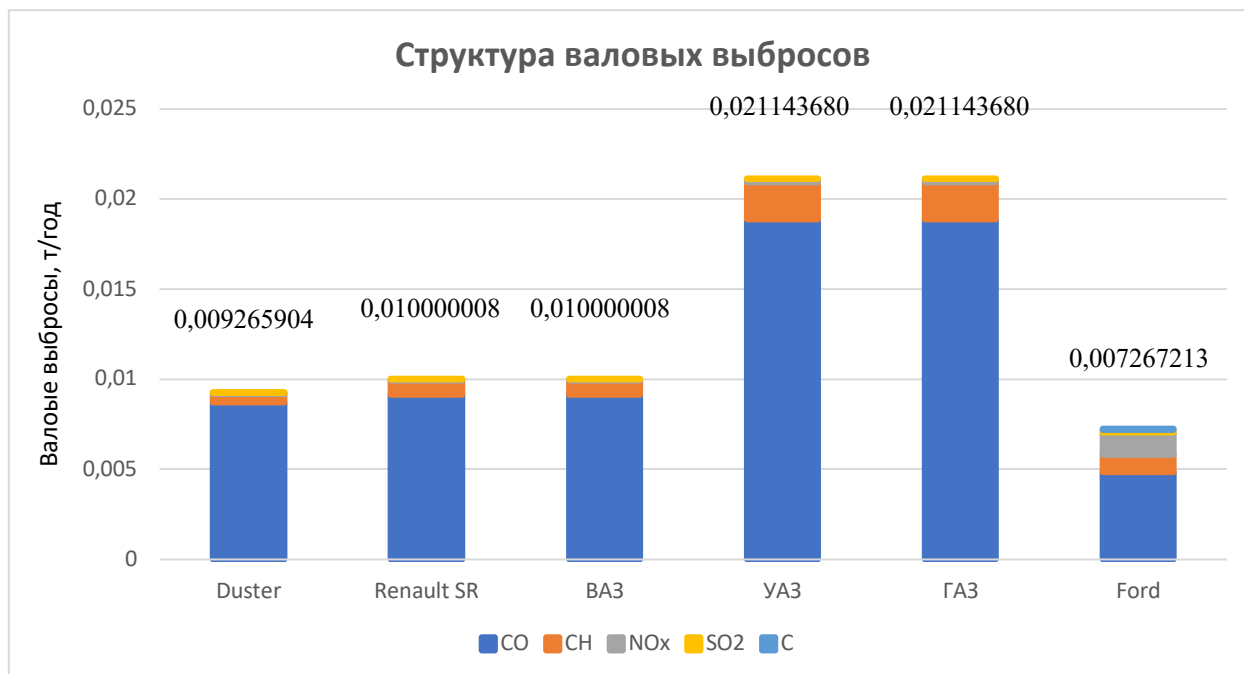


Рис. 1. Структура валовых выбросов загрязняющих веществ по отдельным автомобилям

Анализ данных показывает, что наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят грузовые автомобили YA3 390994 и ГАЗ 27057, для которых суммарный валовый выброс составляет 0,02114 т/год на каждое транспортное средство. Данные значения более чем в два раза превышают показатели легковых автомобилей.

Среди легковых автомобилей наблюдаются близкие значения выбросов. Так, для Renault SR и BA3 21310 суммарный валовый выброс составляет около 0,01000 т/год, тогда как для более современного Renault Duster этот показатель несколько ниже – 0,00927 т/год.

Минимальный уровень выбросов зафиксирован для автомобиля Ford Transit (0,00727 т/год). При этом данный результат следует интерпретировать с учетом типа двигателя и условий эксплуатации. Это означает, что суммарный показатель не исчерпывает экологическую характеристику автомобиля, однако позволяет выявить транспортные средства, формирующие наибольшую нагрузку на атмосферный воздух.

Включение выбросов от стоянки автотранспорта в инвентаризацию для химической лаборатории выглядит обоснованным и с юридической, и с экологической позиции. Законодательные изменения после 2019 года и новый порядок инвентаризации, действующий с 2022 года, сделали учет передвижных источников частью обязательной процедуры, а стоянки и связанные с ними режимы эксплуатации транспорта прямо вошли в сферу экологического учета. Проведенные расчеты показывают, что даже при небольшом автопарке вклад отдельных автомобилей в загрязнение атмосферного воздуха заметно различается. Бензиновые грузовые автомобили формируют наибольший суммарный вклад, тогда как дизельный автомобиль создает повышенную нагрузку по оксидам азота, диоксиду серы и саже. Вместе с тем сама расчетная методика ограничивает глубину сравнения: она хорошо работает как инструмент инвентаризации, но хуже подходит для тонкой диагностики различий между конкретными машинами одного класса. Таким образом, современное регулирование требует учитывать транспортные выбросы обязательно, а интерпретация полученных результатов должна осуществляться с учетом ограничений применяемой методики.

Список литературы

1. Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (ред. от 25.12.2023) // Собрание законодательства РФ. – 1999. – № 18. – Ст. 22.
2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 19.11.2021 № 871 «Об утверждении порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух» // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2021.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.05.2016 № 422 «О порядке разработки и утверждения нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух» (ред. от 14.12.2023) // Собрание законодательства РФ. – 2016. – № 21. – Ст. 3008.
4. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий (расчетным методом): утв. Минтранс РФ 28.10.1998. – М., 1998.

5. ГОСТ Р 56162–2014. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Методы расчета выбросов от автотранспорта. – М.: Стандартинформ, 2014.
6. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Методические рекомендации по проведению инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. – М., 2022.
7. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году». – М., 2024.
8. Белов С. В., Барбашин А. М., Головин Н. А. Охрана окружающей среды: учебник для вузов. – М.: Юрайт, 2021. – 495 с.
9. Кострова Е. А. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта на участке магистральных улиц города Тюмень (по концентрации CO) // Научные исследования. – 2021.

Применение жидкостного хроматографа «Стайер» с ионной комплектацией для мониторинга нитратов в сточных водах

Свинцова Е. А.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ

Галимова А. Р.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ

Аннотация: в статье рассматривается применение жидкостного хроматографа «Стайер» с ионной комплектацией для мониторинга содержания нитратов в сточных водах. Изложены этапы подготовки градуировочных растворов, проведения анализа и интерпретации хроматограмм по методике ПНД Ф 14.1.175-2000. На примере анализа реальной пробы сточной воды показано, что концентрация нитрат-ионов не превышает предельно допустимых значений.

Ключевые слова: нитраты, сточные воды, мониторинг, ионная хроматография

Поступление нитратов в воды происходит после вымывания удобрений с почвы, вместе с промышленными и сельскохозяйственными стоками. Согласно санитарным правилам в системе централизованного водоснабжения ПДК нитратов составляет 45 мг/л, в воде хозяйственно-питьевого и культурно-бытового пользования ПДК нитратов по азоту составляет 10 мг/л.

Употребление воды с повышенным содержанием нитратов приводит к повышенному риску сердечнососудистых заболеваний, развитию патогенной кишечной микрофлоры, способствующей интоксикации организма. При длительном воздействии нитраты способны уменьшать количество йода, что приводит к проблемам с щитовидной железой. Поэтому необходим постоянный мониторинг содержания нитратов в сточных водах, при этом ионная хроматография является наиболее подходящим методом для определения нитратов в сточных водах.

Хроматография – это современный метод разделения и концентрирования, используемый для анализа разнообразных веществ в ходе физико-химических исследований. Этот подход применяется во многих областях химии, медицины, фармацевтики, пищевой промышленности, а также при мониторинге окружающей среды. В последние годы наблюдается тенденция развития эффективных вариантов определения состава сложных смесей, позволяющая расширять область практического применения хроматографии.

В основе ионообменной хроматографии протекает процесс обмена ионов жидкой подвижной фазы на ионы, содержащиеся в неподвижной фазе, которые принято называть ионитами. Сущность ионного обмена состоит в том, что при опускании некоторых веществ в электролитический раствор, они способны отнимать из него катионы или анионы, отдавая в раствор такое же количество ионов с противоположным зарядом.

Ионная хроматография – это высокоэффективный вариант ионообменной хроматографии, состоящий из совокупности кондуктометрического детектирования и ионного обмена. В роли сорбентов обычно выступают стеклянные покрытия, покрытые тонким слоем сорбента. Главным условием проведения такого способа анализа должно быть отличие электропроводности подвижной фазы после прохождения через колонку от электропроводности анализируемой смеси. Ионная хроматография обладает рядом преимуществ, благодаря которым она нашла широкую область применения. Главными достоинствами данного метода являются возможность комбинирования детекторов, легкий процесс пробоподготовки, высокая чувствительность и возможность полной автоматизации процесса.

На рынке лабораторного оборудования существует огромное многообразие различных приборов, предназначенных для ионной хроматографии. На данный момент на рынке представлены модели, являющиеся современными системами для многокомпонентного качественного и количественного анализа различных анионов и катионов. Их основные характеристики приведены в таблице 1. Существует огромное многообразие моделей, комплектующих детекторов, видов колонок, которые следует выбрать в зависимости от заданной цели анализа в лаборатории.

Таблица 1

Разновидности ионных хроматографов

Марка прибора	Область применения	Достоинства/Недостатки	Фирмы-разработчики
EWA I IC-2800	Органические и неорганические ионы (CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , NO_3^-)	Простая подготовка пробы; Широкие диапазоны калибровки; Простота утилизации отходов; Бесконтактная работа с реагентами; Высокая чувствительность определения ионов;	East & West Analytical Instruments, Inc., Китай
930 Compact IC Flex	Анионы, катионы и полярные вещества	Онлайн подготовка пробы; Возможность комбинации технологий; Минимум ручных операций;	Metrohm, Швейцария
ICS-1100	Анионы, катионы	Работа на одном элюенте до 28 дней круглосуточно; Оптический датчик утечки; Возможность регенерации элюента; Увеличенная производительность;	Dionex, США
ICS-4000	Анионы, катионы	Возможность использовать хроматограф ежедневно без уравнивания; Вакуумный дегазатор для защиты элюента; Улучшенная герметизация всех соединений; Высокая чувствительность;	Dionex, США
Стайер	Следовые количества органических и неорганических анионов и катионов (F^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , Br^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+})	Надежность; Возможность установки любых колонок; Работа в двух- и одноколоночном режиме; Система контроля работы модулей;	Аквилон, Россия

		Быстрота выполнения анализа; Доступность оборудования; Высокая точность результатов;	
Хромос ЖХ-301	Анионы (F^- , Cl^- , NO_3^- , Br^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} и т. д.), катионы (щелочных и щелочноземельных металлов), амины	Широкий спектр применений; Низкий уровень шумов; Высокое разрешение; Точность измерений; Малые габариты; Защита всех зон от перегрева;	ООО Хромос, Россия

После тщательного анализа характеристик данного оборудования, для определения содержания нитратов в сточных водах был выбран жидкостной хроматограф «Стайер» в ионной комплектации. Доступность оборудования, возможность работы в двух- и одноколоночном режиме, быстрота проведения анализов и высокая точность результатов – главные преимущества хроматографа, которые обеспечили выбор прибора для проведения анализа.

В данной работе для определения нитратов в сточных водах использована методика ПНД Ф 14.1.175 -2000 «Методика определения содержания анионов (хлорид-, сульфат-, нитрат-, бромид- и йодид-ионов) в сточных водах методом ионной хроматографии». Предпочтение было отдано этой методике благодаря удобству подготовки образцов, простоте проведения анализа и высокой точности получаемых измерений. Элюент используют в соответствии с указаниями производителя хроматографических, учитывая тип аналитической колонки. Для хроматографической колонки IonPac AS4A-SC применяют элюент следующего состава: 1,7 ммоль/дм³ гидрокарбоната натрия ($NaHCO_3$) и 1,8 ммоль/дм³ карбоната натрия (Na_2CO_3).

Первый этап работы заключался в приготовлении градуировочных растворов нитрат-иона в подходящем диапазоне массовых концентраций. Рабочие градуировочные растворы, содержащие отдельные анионы, создают из стандартных образцов путем разбавления дистиллированной водой в определённых пропорциях. Применяют растворы с концентрациями (10–200) мг/дм³. Шкалу градуировочных растворов готовят непосредственно перед применением. Для этого в пять мерных колб объемом 100 см³ последовательно добавляют указанные в таблице 2 объёмы соответствующих рабочих градуировочных растворов и доводят до метки рабочим раствором элюента.

Приготовление шкалы градуировочных растворов

Показатель	Градуировочные растворы в мерной колбе вместимостью 100 см ³				
	I	II	III	IV	V
Номер градуировочного раствора					
Концентрация нитрат-ионов в градуировочном растворе, мг/дм ³	0,1	1,0	5,0	10,0	15,0
Объем рабочего раствора, см ³ / Концентрация рабочего раствора, мг/дм ³	1/10	1/100	5/100	10/100	15/100

Строим градуировочный график по результатам анализа не менее трех градуировочных растворов и одного холостого раствора. Объемы инъекции градуировочных растворов и раствора пробы должны быть одинаковы. Данные с градуировочного графика нужны нам для идентификации пика нитрат-иона по совпадению времени удерживания на градуировочном графике и графике анализа пробы.

Для предотвращения быстрого выхода хроматографической колонки из строя и искажения полученных результатов, анализируемую пробу разбавляем элюентом таким образом, чтобы значение электропроводности составляло 100–150 мкСм/см. Разбавленную пробу фильтруем через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм и отбрасываем примерно 2–3 см³ первой порции фильтрата. Далее заполняем разбавленной пробой вialу, устанавливаем ее в автосамплер и запускаем хроматограф.

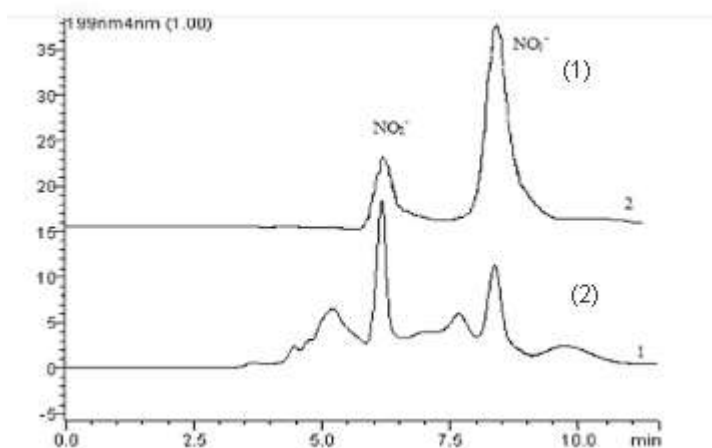


Рис. 1. Хроматограмма модельной смеси анионов (1) и образца сточной воды (2)

Из рис.1 видно, что нитрат-ионы присутствуют в образце сточной воды. Количественную характеристику хроматографического анализа мы получим методом нормализации. Концентрация вещества прямо пропорциональна площади соответствующего пика. В соответствии с методикой ПНД Ф 14.1.175-2000 была определена концентрация нитрат-ионов, которая составила $0,16 \pm 0,043$ мг/л, что не превышает ПДК=45,0 мг/л.

Таким образом, ионная хроматография является наиболее подходящим методом для определения нитратов в сточных водах. Она обладает рядом преимуществ: большое разнообразие определяемых катионов и анионов, также возможность их совместного определения, экспрессность и селективность, широкий спектр анализируемых концентраций, легкая пробоподготовка и достаточная чувствительность при анализе. В соответствии с методикой ПНД Ф 14.1.175-2000 была определена концентрация нитрат-ионов, которая составила $0,16 \pm 0,043$ мг/л, что не превышает ПДК=45,0 мг/л.

Список литературы

1. Физико-химические методы анализа / К.Г. Боголицын, Н.Л. Иванченко, А.Н. Шкаев [и др.] ; Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. – Архангельск : Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2018. – 118 с.
2. Определение концентрации нитратов при анализе природных вод / В. Рутковене, В. Гражулявичене, Л. Чесонене, А. Куста // Журнал прикладной химии. – 2005. – Т. 78, № 11. – С. 1895-1899.
3. Особенности определения нитратного и аммонийного азота в загрязненных природных водах / Е.В. Дабах, Г.Я. Кантор, Т.И. Кутявина, С.Г. Скугорева // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 03–05 декабря 2018 года / Ответственный редактор Т.Я. Ашихмина. Том Книга 1. – Киров: Вятский государственный университет, 2018. – С. 155-158.
4. Газизянова А.Р. Определение содержания нитрат-ионов в воде, фруктах и овощах с помощью потенциометрического метода / А.Р. Газизянова // XLVI итоговая студенческая научная конференция Удмуртского государственного университета : Материалы Всероссийской конференции,

Ижевск, 16–21 апреля 2018 года / Ответственный редактор А.М. Макаров. – Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2018. – С. 107-108.

5. ПНД Ф 14.1.175-2000 «Методика определения содержания анионов (хлорид-, сульфат-, нитрат-, бромид- и йодид-ионов) в сточных водах методом ионной хроматографии»: [сайт]. – URL :<https://meganorm.ru/Data2/1/4293758/4293758605.pdf> (дата обращения : 13.03.2026). – Текст электронный.

Экологические последствия нефтедобычи в Чаде

Святченко А. В.

Доцент

Белгородский государственного технологического университета им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Джиколум Р.

Магистрант

Белгородский государственного технологического университета им. В.Г. Шухова,
г. Белгород

Аннотация: в статье рассмотрена двойственная роль нефти: как важнейшего ресурса и как источника экологических последствий. На примере Чада проанализировано воздействие нефтедобычи и строительства трубопровода на растительность, почвы и воды региона. В качестве рациональной стратегии рекультивации предложена фиторемедиация, которая сочетает экономическую доступность, климатическую эффективность и долгосрочное восстановление экосистем Чада.

Ключевые слова: фиторемедиация, нефть, загрязнение, почвы, саванны

Нефтеперерабатывающие заводы играют важнейшую роль в получении ресурсов и сырья – от пластиковых контейнеров до одежды, бытовой техники, моющих средств и лекарств, – которые обеспечивают современный образ жизни во всех социальных и экономических сферах. Нефть остается незаменимым источником энергии для автомобильного, воздушного, морского и железнодорожного транспорта, обеспечивая мобильность населения и глобальную транспортировку товаров [1].

Трудно отрицать значение нефти практически для всех секторов современной экономики, однако нельзя игнорировать и негативное воздействие нефтяной промышленности на окружающую среду. Добыча нефти, несмотря на ее критическую важность для мировой экономики, сопряжена с серьезными экологическими и социальными издержками. К прямым социальным последствиям нефтедобычи относят вооруженные конфликты, политическую нестабильность, разливы нефти и локальное загрязнение территорий добычи. Косвенные последствия включают миграцию населения, обусловленную климатическими изменениями, утрату биоразнообразия и деградацию экосистем.

Процессы добычи, переработки и сжигания нефтяного топлива сопровождаются выбросами значительных объемов парниковых газов, что ставит нефть в ряд основных факторов антропогенного изменения климата [2–3]. Более того, побочные продукты нефтепереработки сами по себе служат значительным источником загрязнения окружающей среды [4].

Одной из нефтедобывающих стран является Чад. Разведка нефти на его территории началась еще в 1950-х годах, однако из-за политических и финансовых сложностей освоение месторождений отложилось до 1970-х годов. После нескольких десятилетий исследований, анализа, наблюдений и переговоров Всемирный банк одобрил реализацию проекта по разработке нефтяных месторождений в Чаде. В 2003 году, спустя более чем 30 лет разведки, проводившейся различными международными компаниями, Чад стал страной-экспортером нефти [5].

Поскольку Чад не имеет выхода к морю, для транспортировки нефти был построен трубопровод Чад–Камерун. Его строительство привело к уничтожению растительного покрова на тысячах гектаров (около 3400 га), нарушению почвенного покрова, уничтожению урожаев и экспроприации земель у фермеров и местных общин. Согласно исследованиям по югу Чада и суданской зоне Африки, в 1980-е годы древесные парки и галерейные леса занимали 20–30 % территории. К 2000-м годам их доля сократилась на 15–25 % из-за вырубок и расширения сельхозугодий, а к 2016 г. лесной покров упал ниже 10 %, уступив место травянистой саванне (до 40 %) и оголенной, застроенной почве (около 30–35 %) под влиянием нефтедобычи, перевыпаса и пожаров [6–8].

Научные источники [9], как и местное население, выделяют несколько ключевых факторов деградации растительного покрова: нефтяной проект, сельское хозяйство, перевыпас скота, рост численности населения, пожары. Важно подчеркнуть, что вырубка саванн и лесов при создании добывающих предприятий наносит серьезный вред как дикой природе, так и процессам естественного возобновления растительности.

Помимо вырубки лесов, добыча нефти в Чаде оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду, вызывая деградацию почвы, а также загрязнение поверхностных и подземных вод [10]. Несмотря на внедрение отдельных природоохранных мер, спустя два десятилетия их

эффективность подвергается резкой критике: разрушительное воздействие на местные экосистемы остается высоким.

Неконтролируемый сброс нефтепродуктов загрязняет почву и угнетает населяющие ее микроорганизмы. Нефтяное загрязнение оказывает комплексное токсическое воздействие на растения. Тяжелые углеводороды создают на поверхности корней гидрофобную пленку, блокирующую поглощение воды и растворенных минеральных веществ. Легкие ароматические соединения (бензол, толуол, фенолы) проникают в клетки, разрушают мембраны и нарушают клеточный метаболизм. В результате блокируется поступление воды и кислорода, что приводит к угнетению роста, снижению жизнеспособности и во многих случаях – к гибели растений.

Особенно остро эта проблема проявляется на землях сельскохозяйственного назначения. При попадании загрязняющих веществ на поля многие культуры погибают при прямом контакте с сырой нефтью; в остальных случаях происходит значительное снижение урожайности. Таким образом, поля, расположенные вблизи районов нефтедобычи, систематически недополучают ожидаемые объемы урожая.

В свете сложившейся ситуации и перечисленных последствий крайне важно рассмотреть различные конкретные решения. Помимо укрепления нормативно-правовой базы посредством строгого применения природоохранного законодательства и нефтяного кодекса, необходимы усиление мониторинга и оценки воздействия на окружающую среду для каждого объекта, а также четкое определение юридической ответственности нефтяных компаний в случае загрязнения. Наряду с этими административными мерами важное значение имеют инженерно-технические и биологические мероприятия.

К таким мероприятиям относятся посадка местных деревьев, восстановление почв, деградированных в результате добычи, а также рекультивация карьеров, что имеет решающее значение для борьбы с эрозией и опустыниванием. Среди существующих методов рекультивации особого внимания заслуживает фиторемедиация – технология, которая сочетает экологическую эффективность, экономическую доступность и долгосрочное восстановление экосистем.

Фиторемедиация – это метод восстановления, при котором растения используются для удаления, разложения или сдерживания загрязнений в почве и воде. Ее ключевое преимущество заключается в том, что она не требует

дорогостоящего оборудования, химических реагентов или выемки больших объемов грунта, что делает ее значительно более экономичной по сравнению с другими методами [11].

Основной механизм фиторемедиации нефтезагрязненных почв – ризосферная деградация. Корневые выделения растений (сахара, аминокислоты, органические кислоты) стимулируют рост и активность почвенных бактерий-нефтедеструкторов (*Rhodococcus*, *Pseudomonas*), которые непосредственно разрушают углеводороды. Некоторые виды растений также способны поглощать и обезвреживать легкие фракции нефти через корневую систему. Помимо этого, присутствие растений улучшает аэрацию почвы и повышает общую микробную активность, что ускоряет разложение загрязнителей [12–13].

Важно отметить, что применение тех или иных методов рекультивации определяется характером, уровнем и глубиной загрязнения, а также типом загрязненной среды. Фиторемедиация наиболее эффективна при среднем и низком уровне загрязнения, на больших площадях, где другие методы экономически нецелесообразны. При более высоких концентрациях требуются предварительные этапы механической очистки. В долгосрочной перспективе фиторемедиация приносит дополнительные выгоды: восстанавливает плодородие почвы, способствует возвращению биоразнообразия в пострадавшие районы и создает устойчивый растительный покров, предотвращающий эрозию [14–15].

В контексте масштабного загрязнения почв нефтью и ограниченных возможностей традиционных методов очистки фиторемедиация представляет собой наиболее рациональную стратегию рекультивации благодаря уникальному сочетанию климатических, экономических, экологических и социальных факторов.

Чад сталкивается с необходимостью восстановления десятков тысяч гектаров загрязненных земель, на которых механические и химические методы оказываются экономически и логистически затруднительными из-за удаленности территорий, отсутствия развитой инфраструктуры и квалифицированных специалистов.

Сухой тропический климат суданской зоны создает благоприятные условия для ризосферной деградации. Высокие температуры активизируют деятельность бактерий-нефтедеструкторов (*Rhodococcus*, *Pseudomonas*), обеспечивая разложение углеводородов на 60–80 % за один-два сезона без

дополнительного искусственного нагрева. Местная саванновая флора адаптирована к бедным песчаным и песчано-глинистым почвам, а также к засушливым условиям, что позволяет стабилизировать почвенный покров корневой системой и снижать эрозионные процессы на 70–90 % [16].

Масштаб загрязнения делает фиторемедиацию единственным технологически осуществимым методом для обширных территорий, где применение тяжелой техники логистически сложно. Местные фермеры и общины могут привлекаться к посадочным работам, получая взамен рабочие места, восстановленные пастбища и сельскохозяйственные угодья, что способствует смягчению социальных последствий, связанных с экспроприацией земель.

Долгосрочные эффекты фиторемедиации представляют особую ценность [17]: растительность способствует восстановлению гумусового горизонта, возвращению биоразнообразия, формированию устойчивого растительного покрова, препятствующего опустыниванию, и не создает вторичного загрязнения в бассейне озера Чад.

Таким образом, фиторемедиация сочетает минимальные финансовые затраты, климатическую эффективность, применимость на больших площадях и социальную приемлемость. Для Чада данный метод является эффективным не как сиюминутное решение, а как долгосрочная стратегия, обеспечивающая устойчивое восстановление экосистем на десятилетия вперед.

Список литературы

1. Филимонова И.В. Влияние нефтегазовой отрасли на экономику добывающих стран / И.В. Филимонова, Л.В. Эдер, И.В. Проворная, Д.М. Черепанова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2020. Т. 36. Вып. 4. С. 693–718. <https://doi.org/10.21638/spbu05.2020.407>
2. Гордеева Г.Е. Сравнительный анализ моделей расчета выбросов парниковых газов при добыче нефти / Г.Е. Гордеева, Г.В. Ильиных // Химия. Экология. Урбанистика. 2021. Т. 1. С. 74-77.
3. Майсюк Е.П. Структура выбросов парниковых газов от объектов добычи топливно-энергетических ресурсов в регионах России / Е.П. Майсюк, И.Ю. Иванова, Б.Г. Санеев // Геосферные исследования. 2025. № 2. С. 139-153.

4. Сапронова Ж.А. Магнитоуправляемый сорбент для очистки водной поверхности от нефтяных загрязнений / Ж.А. Сапронова, А.В. Святченко, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубанов, Л.Н. Ольшанская, Д.А. Шамраева // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. № 2 (142). С. 205-216.
5. Абдулэ М.С. Роль нефтяных доходов в экономике Республики Чад / М.С. Абдулэ, О.А. Ревзон // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2025. № 2-1. С. 5-12.
6. Нзади Нгуюссу Ф. Экологические и социально-экономические аспекты строительства и эксплуатации нефтепровода Чад-Камерун / Ф. Нзади Нгуюссу, В.И. Чернышов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № S5. С. 102-107.
7. 6. ФАО. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Управление системами, находящимися под угрозой. – Рим: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций; Москва: Весь Мир, 2012. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/da7e91a4-c152-4007-8073-e2c666a44bd5/content> (дата обращения: 05.04.2026).
8. Беликович А.В. Растительность Африки / А.В. Беликович. – URL: <https://ukhtoma.ru/geobotany/africa08.htm> (дата обращения: 05.04.2026).
9. Абдулэ М.С. Финансовое обеспечение нефтяного сектора Республики Чад: вызовы и перспективы / М.С. Абдулэ // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2025. № 7-1. С. 5-14.
10. Орлов Е.В. Проблемы водных ресурсов Республики Чад / Е.В. Орлов // Журнал естественнонаучных исследований. 2024. Т. 9. № 1. С. 39-42.
11. Джиколум Р. О перспективах использования в Республике Чад методов биоремедиации для очистки почв от нефтепродуктов / Р. Джиколум, М.М. Латыпова // В сборнике: Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология. Сборник докладов Международной научной конференции. Белгород, 2025. С. 407-410.
12. Третьякова М.С. Влияние ризосферных бактерий-нефтедеструкторов на биологическое состояние почвы, загрязнённой нефтью / М.С. Третьякова,

Л.А. Беловежец, Л.Г. Соколова, С.Ю. Зорина, Ю.А. Маркова // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 156-162.

13. Кужамбердиева С.Ж. Эффективность биоремедиации нефтезагрязненных почв с использованием адаптированных микробных консорциумов в условиях аридного климата Республики Казахстан / С.Ж. Кужамбердиева, Р.А. Нарманова, М.В. Радкевич // Universum: химия и биология. 2025. № 8(134). – URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/20514> (дата обращения: 05.04.2026).
14. Егорова Д. Биоремедиация нефтезагрязненных темно-серых почв с использованием бактериальных и растительных агентов / Д. Егорова, С. Бузмаков // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 3. С. 17-21. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-3-17-21>
15. Шулаев Н.С. Фиторемедиация нефтепромысловых почв / Н.С. Шулаев, В.В. Пряничникова, Р.Р. Кадыров, Н.Н. Фанакова // Безопасность в техносфере. 2017. Т. 6. № 1. С. 25-30.
16. Водопьянов В.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на ризосферную микробиоту и моделирование процессов биodeградации углеводов / В.В. Водопьянов, Н.А. Киреева, А.С. Григориади, А.Б. Якупова // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6 (100). С. 545-547.
17. Родькин О.И. Фиторемедиация как метод комплексного решения экологических проблем / О.И. Родькин // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2024. Т. 34. № 3. С. 284-295.

Мониторинг воздействия полигона тко на окружающую среду

Романова С. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Сиделева А. А.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: представлены результаты мониторинга состояния компонентов окружающей среды в зоне влияния полигона твердых коммунальных отходов (ТКО), расположенного на территории Республики Татарстан в течение нескольких лет после ввода его в эксплуатацию. На основе анализа фактических данных наблюдений за атмосферным воздухом, подземными водами и почвенным покровом выявлены основные закономерности формирования техногенной нагрузки. Установлено, что несмотря на отсутствие превышений предельно допустимых концентраций (ПДК) по большинству показателей в контрольных точках, наблюдается устойчивая тенденция к ухудшению качества подземных вод территории полигона и его санитарно-защитная зона (СЗЗ) по гидрохимическим и микробиологическим параметрам, а также локальное накопление тяжелых металлов в почвах рабочей карты полигона. Обоснована необходимость внедрения природоохранных мероприятий для снижения экологической напряженности в зоне расположения объекта размещения отходов.

Ключевые слова: полигон ТКО, мониторинг окружающей среды, подземные воды, атмосферный воздух, тяжелые металлы, фильтрат, Республика Татарстан

Проблема обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) остается одной из наиболее острых для большинства регионов Российской Федерации. Несмотря на развитие инфраструктуры по переработке и утилизации отходов, полигоны захоронения продолжают играть ключевую роль в системе обращения с ТКО, являясь при этом основными источниками антропогенного воздействия на окружающую среду [1, 5].

Объекты размещения отходов оказывают комплексное негативное влияние на все компоненты природной среды: атмосферный воздух (эмиссия биогаза и неприятных запахов), поверхностные и подземные воды (образование и миграция фильтрата), почвенный покров и здоровье населения [4, 6].

В Республике Татарстан, характеризующейся высокой плотностью населения и развитой промышленностью, проблема эксплуатации полигонов ТКО стоит особенно остро. В связи с активной эксплуатацией объекта размещения отходов и его близостью к населенным пунктам, оценка его фактического воздействия на окружающую среду приобретает актуальность.

Объектом исследования является полигон ТКО, расположенный на территории Республики Татарстан (55.974944, 49.491279). Мониторинг состояния окружающей среды на территории объекта и в пределах его воздействия осуществляется специализированной организацией — аккредитованной лабораторией.

В работе использованы данные производственного экологического мониторинга за 2021–2024 годы. Оценка состояния компонентов окружающей среды проводилась в соответствии с требованиями Федерального закона «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ [1] и санитарно-эпидемиологическими нормативами (СанПиН 1.2.3685-21, ГН 2.1.7.2041-06 и др.) [2–3].

Программа наблюдений включала:

1) мониторинг атмосферного воздуха (4 раза в год) в двух контрольных точках: на отработанной карте полигона и на границе СЗЗ. Контролируемые показатели: метан, аммиак, бензол, оксид углерода, сероводород, хлорорганические соединения.

2) мониторинг подземных вод (1 раз в год) из наблюдательных скважин (2 скважины в 2021–2023 гг., 3 скважины в 2024 г.). Определялись органолептические, гидрохимические и микробиологические показатели.

3) мониторинг почвенного покрова (1 раз в год) в двух точках отбора на территории полигона. Анализировались содержание тяжелых металлов (свинец, цинк, медь, кадмий), нитратов, хлоридов, а также санитарно-микробиологические показатели.

Результаты наблюдений за период 2021–2024 гг. показали, что концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на границе СЗЗ и на рабочей карте полигона в целом не превышают установленных нормативов качества (ПДК). Наиболее информативным показателем является концентрация метана, которая варьировала в пределах 2,1–13,2 мг/м³ на границе СЗЗ и 2,3–28,7 мг/м³ на отработанной карте. Результаты продемонстрированы в таблице 1.

Таблица 1

Динамика максимальных концентраций метана и аммиака в атмосферном воздухе (2021–2024 гг.)

Показатель	Точка отбора	2021	2022	2023	2024	ПДК
Метан, мг/м ³	отработан- ная карта	28,7	3,9	4,5	6,0	50
	граница СЗЗ	13,2	2,8	2,8	2,9	50
Аммиак, мг/м ³	отработан- ная карта	0,1	0,039	0,038	0,033	0,2
	граница СЗЗ	0,025	0,034	0,028	<0,02	0,2

Следует отметить, что в 2021 году на отработанной карте полигона был зафиксирован значительный выброс метана (28,7 мг/м³), что может свидетельствовать об активных процессах анаэробной деструкции органической массы и недостаточной эффективности системы дегазации. В последующие годы концентрации метана снизились, однако остаются устойчиво выше фоновых значений.

Наиболее тревожная ситуация, согласно данным мониторинга, складывается с качеством подземных вод. За период 2021–2024 гг. наблюдаются устойчивые изменения гидрохимического состава воды в наблюдательных скважинах, расположенных на территории полигона, что подтверждается данными из таблицы 2.

Анализ данных показывает увеличение минерализации. Сухой остаток в скважине № 2 увеличился с 472 мг/дм³ (2022 г.) до 688 мг/дм³ (2024 г.), что указывает на поступление фильтрата в горизонт подземных вод. Рост концентраций хлоридов и сульфатов: хлориды возросли с 2,2 мг/дм³ (2021 г.) до 86 мг/дм³ (2024 г.), что является характерным индикатором загрязнения фильтратом полигонов. Также следует вывод о микробиологическом загрязнении: в 2022 г. в скважине № 2 были обнаружены обобщенные колиформные бактерии (162 КОЕ/100 см³), что свидетельствует о фекальном загрязнении и нарушении гидроизоляционных свойств тела полигона. В 2024 году данные показатели не были зафиксированы, однако остается риск периодического поступления бактериальной микрофлоры. Отмечено увеличение концентраций марганца (до 0,052 мг/дм³ в 2024 г.) и меди (до 0,0026 мг/дм³), что характерно для кислых фильтратов.

Таблица 2

Динамика показателей качества подземных вод

Показатель	Ед. изм.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Норматив (СанПиН)
Сухой остаток	мг/дм ³	—	472	567	688	1000
Хлориды	мг/дм ³	2,2	51	69	86	350
Сульфаты	мг/дм ³	4,0	25,8	28,6	30,2	500
Аммоний-ион	мг/дм ³	0,3	0,68	0,45	0,26	1,5
Марганец	мг/дм ³	<0,01	0,038	0,041	0,052	0,1
Обобщенные колиформные бактерии	КОЕ/100 см ³	162	не обн.	не обн.	не обн.	отсутствие

Таким образом, подземные воды на территории полигона испытывают устойчивое техногенное воздействие, что требует принятия мер по сбору и очистке фильтрата.

Анализ проб почвы, отобранных на территории полигона, показал наличие локального загрязнения тяжелыми металлами, преимущественно в зоне активного размещения отходов (точка № 1). Данные за 2021–2024 гг. представлены в таблице 3.

Таблица 3

Динамика содержания тяжелых металлов в почве (точка № 1), мг/кг

Показатель	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	ПДК
Свинец	44,0	12,0	16,0	21,0	32
Цинк	250,0	39,0	51,0	68,0	220
Медь	56,0	20,0	26,0	32,0	132
Кадмий	0,45	0,15	0,22	0,33	2

В 2021 году наблюдалось значительное превышение ПДК по свинцу (44 мг/кг при ПДК 32 мг/кг) и цинку (250 мг/кг при ПДК 220 мг/кг). В последующие годы концентрации снизились, что может быть связано с проведением рекультивационных работ или перераспределением загрязнителей. Тем не

менее, в 2024 году содержание свинца и цинка в точке № 1 остается на уровне, близком к нормативному, что свидетельствует о накоплении металлов в почвах.

Проведенный анализ данных мониторинга полигона ТКО Республики Татарстан за 2021–2024 гг. позволяет сделать следующие выводы:

Воздействие полигона на атмосферный воздух носит локальный характер. Концентрации загрязняющих веществ на границе СЗЗ не превышают ПДК, однако на рабочей карте фиксируются значительные выбросы метана, указывающие на необходимость активной дегазации тела полигона.

Наиболее уязвимым компонентом природной среды являются подземные воды. Выявлена устойчивая тенденция к ухудшению их качества: рост минерализации, увеличение концентраций хлоридов, сульфатов, марганца, а также эпизодическое микробиологическое загрязнение. Это свидетельствует о недостаточной эффективности гидроизоляции и системы сбора фильтрата. Но в первую очередь данное негативное воздействие связано с несоблюдением технологии послойного складирования, уплотнения и изоляции отходов, а также нарушения графиков засыпки рабочих карт грунтом-изолянтом.

Почвенный покров в зоне активного размещения отходов испытывает техногенную нагрузку, связанную с накоплением тяжелых металлов (свинец, цинк). В 2021 году зафиксированы превышения ПДК, в последующие годы концентрации снизились, но остаются значимыми, что подтверждает необходимость строгого контроля за соблюдением технологических регламентов складирования.

Для снижения экологической напряженности и предотвращения дальнейшей деградации окружающей среды на объекте необходимо строгое соблюдение технологии размещения отходов на картах полигона; внедрение системы активной дегазации с утилизацией биогаза; модернизация системы сбора и очистки фильтрата; проведение биологической рекультивации отработанных карт; усиление мониторинга за состоянием подземных вод с увеличением сети наблюдательных скважин.

Список литературы

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
2. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования

к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 3.

3. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
4. ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве».
5. Кортаев В.Н., Кортаева М.В. Экологический мониторинг полигонов твердых бытовых отходов. – Екатеринбург: УрФУ, 2020. – 184 с.
6. Шубина В.А., Шубин А.А. Оценка воздействия полигонов ТКО на подземные воды // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27. – № 2. – С. 22–27.

Оценка воздействия на окружающую среду для намечаемой деятельности по проектной документации объекта «парогазовая установка»

Хисамова З. М.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Афанасьев С. А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Мингалеева А. А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Хакимуллин А. М.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Фазулина А. А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: прогноз и оценка значимости воздействий намечаемой деятельности на окружающую среду. Мероприятия по охране атмосферного воздуха.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, выбросы загрязняющих веществ

Оценка воздействия выполняется для предупреждения возможной деградации окружающей среды под влиянием намечаемой хозяйственной деятельности, обеспечения экологической стабильности территории района размещения проектируемого объекта, создания благоприятных условий жизни населения.

Прогноз и оценка значимости воздействий намечаемой деятельности на окружающую среду представляет одну из наиболее важных стадий процесса. Целью этой стадии является установление того, какие изменения могут произойти в окружающей среде в результате осуществления каждой из рассматриваемых альтернатив, а также оценка важности или значимости этих изменений. Стадия прогноза и анализа воздействий на окружающую среду неразрывно связана с более ранней стадией выявления значимых воздействий, так как именно они подлежат детальному анализу. С другой стороны, именно результаты прогноза и оценки значимости воздействий лежат в основе документации ОВОС,

используются для принятия проектных, административных и иных решений по намечаемой деятельности.

Прогноз воздействий обычно осуществляется по отдельным компонентам окружающей среды. Впоследствии может быть проведен анализ того, как изменения в различных средах могут взаимодействовать друг с другом, а также анализ общей значимости воздействия на окружающую среду по всем компонентам. Как правило, оцениваются воздействия на:

- воздушную среду;
- водную среду (поверхностные воды);
- почвы;
- геологическую среду;
- шумовую обстановку;
- экосистемы, растительный и животный мир;
- социально-экономическую обстановку, в том числе здоровье населения.

Процедура оценки воздействий как правило проводится в несколько этапов:

- изучение существующих природных условий
- определение и рассмотрение возможных воздействий;
- прогноз величины возможного воздействия;
- оценка значимости возможного воздействия;
- рассмотрение и разработка мероприятий по смягчению воздействия

Реализация намечаемой деятельности приведет к возникновению определенного воздействия на состояние воздушного бассейна рассматриваемой территории, проявляющегося как на стадии проведения строительных работ, так и на стадии эксплуатации.

Работы проводятся на территории действующего предприятия. Воздействие на период строительства и эксплуатацию выполнены с учётом действующего предприятия, значения максимально-разовых и суммарных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от строительно-монтажных работ – в таблице 1 [1].

Количественные и качественные характеристики выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от источников выбросов проектируемых объектов с указанием расчетных методик и исходных данных приведены ниже:

Таблица 1

**Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу
от существующего предприятия**

Загрязняющее вещество		Вид ПДК	Значение ПДК (ОБУВ) мг/м ³	Класс опасности	Суммарный выброс загрязняющих веществ (за 2025 год)	
код	наименование				г/с	т/г
0123	диЖелезо три-оксид, (железа оксид) (в пересчете на железо) (Железо сескви-оксид)	ПДК м/р ПДК с/с ПДК с/г	-- 0,04 --	3	0,3162	0,3971
0128	Кальций оксид (Кальций окись)	ОБУВ	0,3		0,0009	0,03
0143	Марганец и его соединения (в пересчете на марганец (IV) оксид)	ПДК м/р ПДК с/с ПДК с/г	0,01 0,001 5Е-5	2	0,01142	0,00798
0164	Никель оксид (в пересчете на никель) (Никель окись; никель монооксид)	ПДК м/р ПДК с/с ПДК с/г	-- 0,001 - -	2	0,000043	0,000039
0168	Олово оксид (в пересчете на олово) (Олово монооксид; олово закись)	ПДК м/р ПДК с/с ПДК с/г	-- 0,02 --	3	0,000006	0,00002

Сварочные работы и газорезка. Сварочные работы производятся сварочными агрегатами с использованием электродуговой сварки штучными электродами. Газорезка производится с использованием пропан-бутановой смеси комплектом газорезающей аппаратуры. Выбросы загрязняющих веществ неорганизованные, выбрасываются диЖелезо триоксид, марганец и его соединения, азота диоксид, азот (II) оксид, углерода оксид,

Фтористые газообразные соединения (в пересчете на фтор). При сварке и резке полиэтиленовых труб в атмосферный воздух выделяется хлорэтен.

Работа транспортной и строительно-монтажной техники. Количество и типы работающих машин и механизмов варьируются в зависимости от этапа СМР, которые выполняются последовательно. Вся спецтехника, с точки зрения выбросов в атмосферу, может быть сведена к выбросам от дизелей разной мощности. Выбросы загрязняющих веществ производятся при запуске и прогреве двигателя, а также при работе и движении по территории, выбросы неорганизованные, выбрасываются оксиды азота, оксид углерода, диоксид серы, сажа, бензин, керосин.

В период строительства в атмосферу ожидается выброс загрязняющих веществ 21 наименования, максимально-разовый выброс составит 2,6940144 г/с, валовый –20,3703068 тонн за весь период строительства.

Выбрасываемые загрязняющие вещества образуют следующие группы суммаций:

Суммация (6043): Сероводород + Ангидрид сернистый;

Суммация (6046): Углерода оксид + Пыль цементного производства;

Суммация (6204): Азота диоксид + Ангидрид сернистый.

Суммация (6205): Сера диоксид + Фтористый водород [2].

Мероприятия по охране атмосферного воздуха направлены на предупреждение загрязнения воздушного бассейна выбросами работающих машин и механизмов, а также проектируемого оборудования.

С целью уменьшения негативного воздействия выбросов загрязняющих веществ в период строительства проектной документацией предусматриваются следующие мероприятия:

– рациональная организация площадки строительства, предотвращающая скопление техники на площадке;

- проведение СМР с учетом соблюдения графика одновременности работы строительной техники;
- сокращение нерациональных и «холостых» пробегов автотранспорта путем правильного планирования работ на стройплощадке [3].
- для удержания значений выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в расчетных пределах, обеспечение контроля топливной системы механизмов, а также регулировка подачи топлива, обеспечивающая полное его сгорание;
- поддержание техники в исправном состоянии за счет проведения в установленное время техосмотра, техобслуживания и планово-предупредительного ремонта;
- обслуживание и ремонт техники на специализированных площадках подрядчика;
- основное оборудование, используемое при строительстве, сертифицировано, приоритет отдается оборудованию, обеспечивающему соблюдение экологических норм и требований в области охраны атмосферного воздуха;
- проведение контроля токсичности и дымности отработавших газов автомашин и спецтехники силами подрядной организации;
- с целью снижения пылеобразования при перевозке сыпучих материалов, применение тентов для укрывания;
- вывоз отходов специализированным автотранспортом;
- оснащение топливозаправщиков раздаточными пистолетами, исключающими попадание летучих компонентов в окружающую среду [4].

Список литературы

1. Отчет об организации и осуществлении природоохранной деятельности Казанской ТЭЦ-2.
2. Официальный сайт АО «Татэнерго».
3. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об охране окружающей среды".
4. Федеральный закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха".

Геотехнический мониторинг многолетнемерзлых грунтов. Опыт российских компаний

Шушанян Г. А.

Ассистент

ФГБОУ ВО «СамГТУ»

Аннотация: в статье рассмотрен опыт российских компаний в области ТЭК в части способов организации мониторинга многолетнемерзлых грунтов в зоне распространения объектов их инфраструктуры. Проанализированы их сильные и слабые стороны, а также сделан общий вывод о том, как необходимо улучшать способы и методы мониторинга криолитозоны.

Ключевые слова: криолитозона, многолетнемерзлый грунт, геотехнический мониторинг, температура грунта, ореол оттаивания

Многолетнемерзлые грунты (ММГ) являются ключевым элементом криолитозоны и фундаментом значительной части инфраструктуры Арктики и субарктики. В условиях современного климатического потепления их деградация приобретает системный характер, что обуславливает критическую необходимость развития комплексного геотехнического мониторинга.

Прежде всего, следует подчеркнуть, что таяние мерзлоты напрямую влияет на несущую способность грунтов. Согласно современным исследованиям, деградация мерзлоты приводит к снижению прочностных характеристик, развитию неравномерных осадок и деформаций оснований сооружений [1]. Это создает угрозу для дорог, зданий, трубопроводов и других объектов, причем масштаб проблемы уже оценивается в десятки миллиардов долларов потенциального ущерба (например, прогнозируемые потери инфраструктуры на Аляске — до 37–51 млрд долл.) [2]. По оценкам российских ученых, ущерб Арктической зоны РФ от таяния многолетнемерзлых грунтов может достигать нескольких триллионов рублей [3]. Таким образом, мониторинг выступает не только научной, но и экономической необходимостью. Ключевым аргументом в пользу мониторинга является высокая динамичность процессов в криолитозоне. Современные наблюдения показывают, что такие явления, как термокарст, термоэрозия, солифлюкция, морозное пучение, могут развиваться крайне быстро, трансформируя

ландшафты в течение десятилетий и даже лет. Без регулярного инструментального контроля невозможно своевременно выявлять зоны повышенного риска и прогнозировать развитие опасных процессов.

Научные работы последних лет подчеркивают, что мониторинг необходим не только для фиксации текущего состояния, но и для понимания фундаментальных процессов. В частности, исследования с использованием сейсмических методов показывают, что наблюдения за динамикой протаивания позволяют выявлять изменения в тепло- и массопереносе, а также оценивать биогеохимические последствия деградации мерзлоты [4]. Это особенно важно в контексте высвобождения парниковых газов и обратных климатических связей.

Существенной проблемой является ограниченность и неоднородность наблюдательных данных. Несмотря на существование международных систем, таких как Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P), обеспечивающих мониторинг температуры и мощности деятельного слоя, пространственное покрытие остается недостаточным, особенно в удаленных районах. Более того, современные исследования указывают на дефицит данных, слабую сопоставимость наблюдений и недостаточную проработку неопределенностей в моделях [1].

Дополнительной проблемой является ограниченность традиционных методов наблюдений. Значительная часть исследований сосредоточена на температурных измерениях и глубине сезонного протаивания, в то время как комплексные геотехнические параметры (деформации, напряженное состояние, гидрологический режим) изучены значительно хуже. Это приводит к разрыву между геокриологическими и инженерными подходами и снижает эффективность прогноза.

В последние годы активно развиваются дистанционные и цифровые методы мониторинга (спутниковые наблюдения, БПЛА, машинное обучение), однако они не способны полностью заменить полевые измерения. Как отмечается в современных проектах, даже высокоточные спутниковые системы требуют верификации на основе наземных данных [5]. Следовательно, наиболее эффективным является интегрированный мониторинг, сочетающий *in situ* наблюдения и дистанционные технологии.

Таким образом, геотехнический мониторинг ММГ является критически важным инструментом обеспечения устойчивости инфраструктуры, снижения рисков природно-техногенных аварий и углубления научного понимания

процессов деградации мерзлоты. Основные вызовы связаны с недостаточной плотностью наблюдений, ограниченностью параметров мониторинга и необходимостью интеграции различных методов. Решение этих задач требует развития междисциплинарных подходов, расширения наблюдательных сетей и внедрения новых технологий анализа данных.

В условиях ускоряющегося климатического изменения отказ от системного мониторинга фактически означает переход к реактивной, а не превентивной модели управления рисками в криолитозоне, что неприемлемо с точки зрения как науки, так и инженерной практики.

Российские предприятия активно осуществляют мониторинг мерзлоты в той или иной степени. Например, «Газпром» реализует трёхступенчатый геотехнический мониторинг многолетнемерзлой породы (ММП). На первом этапе – наблюдение за состоянием ММП. Оно реализуется в формате замеров температуры грунтов, осмотре состояния основания зданий и сооружений, а также в составлении геотехнических паспортов. Далее, на втором этапе осуществляется диагностика работы систем термостабилизации грунтов путём тепловизионной диагностики (рис. 1), визуального контроля целостности систем и проведения прогнозных расчетов. Третьим элементом системы является глубокое взаимодействие с проектными институтами в контексте согласований технических заданий на проектирование, проведения экспертиз проектных решений и участия в их разработке.

ПАО «Транснефть», являющийся midstream-оператором российского ТЭК, активно мониторит свои площадные и линейные объекты в области криолитозоны. Одним из примеров успешного мониторинга является магистральный нефтепровод Заполярье-Пурпе, который пересекает участки многолетнемерзлых грунтов. На трассе данного нефтепровода осуществляется комплекс мероприятий, включающий в себя техническую диагностику нефтепровода, анализ его пространственного положения и параметров, характеризующих геокриологические условия залегания трубы. Геодезические измерения высотного положения нефтепровода подземной прокладки производились на основании показаний устройств определения положения, которых всего по трассе установлено 814 единиц. По всей трассе нефтепровода осуществляет замер температуры ММГ в порядка 5 с лишним тысяч термометрических скважинах.

В добавок, установлено порядка 46 тысяч деформационных марок для отслеживания планово-высотного положения.

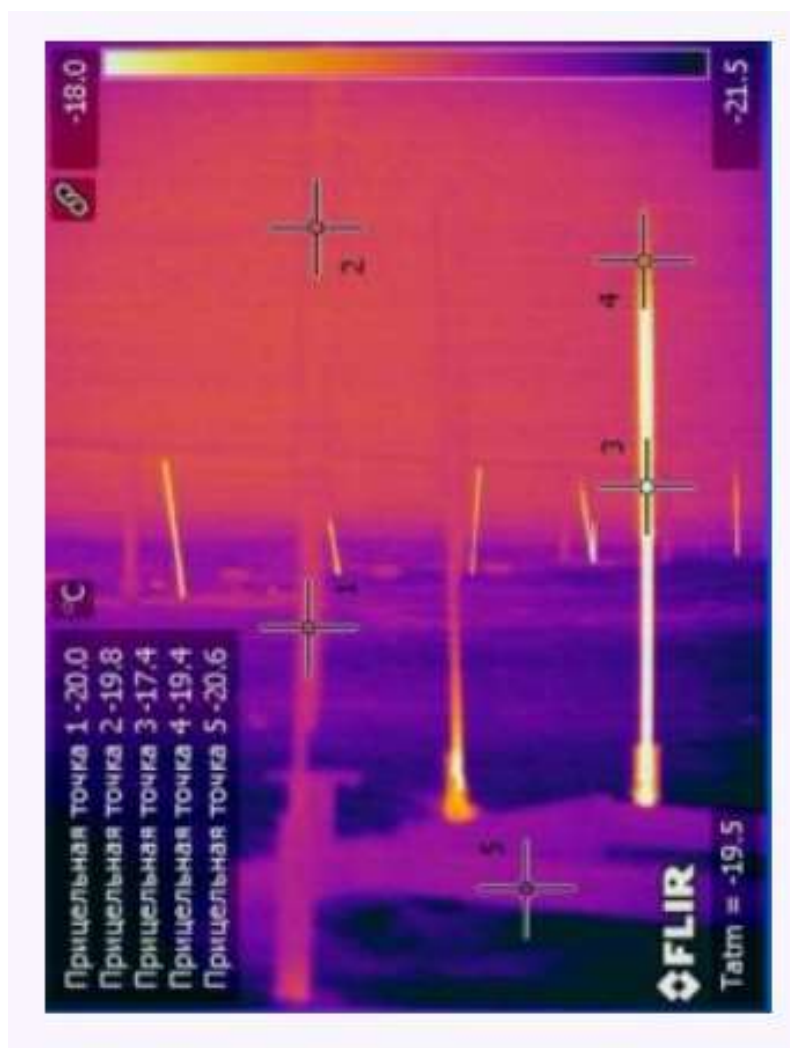


Рис. 1. Обнаружение низкоэффективной циркуляции хладагента в сезонно-действующем охлаждающем устройстве методом тепловизионной диагностики

Анализируя опыта «Новатэка», стоит рассказать про проектирование объекта «Ямал СПГ», где были учтены сценарии повышения температуры воздуха и потепления верхних горизонтов грунтовой толщи, и поэтому проектирование и строительство оснований осуществлялось с учетом потенциального потепления.

Таким образом, был проведён анализ предприятий ТЭК в области геотехнического мониторинга ММГ, который показывает, что общие подходы у предприятий одинаковые, однако реализация на местах в детальном разрезе отличается друг от друга ввиду инфраструктурных особенностей.

Список литературы

1. Memiş M.A., Keskin I., Demir S. et al. Machine learning-based prediction of permafrost degradation and its implications on geotechnical infrastructure: a comprehensive review. *AI Civ. Eng.* 4, 28 (2025). <https://doi.org/10.1007/s43503-025-00080-8>;
2. Manos E., Witharana, C. & Liljedahl, A.K. Permafrost thaw-related infrastructure damage costs in Alaska are projected to double under medium and high emission scenarios. *Commun Earth Environ* 6, 221 (2025). <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02191-7>;
3. Шушанян Г. А. Предиктивная аналитика как инструмент мониторинга многолетнемерзлых грунтов / Г.А. Шушанян, В.Н. Пыстин, К.А. Савин // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сборник трудов XXV Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Москва, 26–28 апреля 2024 года. – Москва: Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы, 2024. – С. 453-456. – EDN WOIIKO.
4. Cheng F., Lindsey N. J., Sobolevskaia V., Dou S., Freifeld B., Wood T., et al. (2022). Watching the cryosphere thaw: Seismic monitoring of permafrost degradation using distributed acoustic sensing during a controlled heating experiment. *Geophysical Research Letters*, 49, e2021GL097195. <https://doi.org/10.1029/2021GL097195>;
5. Google teams up with climate scientists to monitor permafrost with AI // Axios URL: <https://www.axios.com/2023/07/24/google-ai-arctic-monitoring> (дата обращения: 10/04/2026).

Секция 5. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 678.8

Создание базы данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов

Васильева А. В.

Профессор

Самарский государственный технический университет, г. Самара

Аннотация: в статье рассмотрены основные особенности создания базы данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов. Описываются структура и содержание блоков базы данных. В качестве основной платформы реализации предложенной базы данных целесообразно использовать реляционную СУБД PostgreSQL. PostgreSQL.

Ключевые слова: строительные композиты, полимеры, база данных, экологические характеристики

Полимерсодержащие композиты в настоящее время широко используются в самых различных отраслях, в том числе в строительстве [1, 2, 12, 13, 16, 17]. При этом возникает проблема их негативного экологического воздействия на окружающую среду и на здоровье человека. Актуальной является задача систематизации и создания базы данных экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитных материалов, использование которой позволяет создавать новые высокоэффективные полимерсодержащие композиты.

Структура разработанной автором базы данных включает несколько блоков:

1. Блок видов полимер-неорганических строительных композитов.
2. Блок химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов.

3. Блок справочных данных, включающий справочники, научно-техническую информацию, патенты по полимер-неорганическим строительным композитам.

4. Блок методик ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду.

5. Блок результатов ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду.

6. Обучающий блок.

На рис. 1 показана общая схема базы.

Исходные данные проекта представляют собой совокупность структурированных сведений о полимер-неорганических строительных композитах, включающую:

- сведения о компаниях-производителях и видах композитов;
- перечень химических компонентов и физико-химических характеристик композитов;
- справочные и нормативные данные;
- методики ранжирования компонентов и характеристик с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду;
- результаты ранжирования по отдельным характеристикам и по интегральным показателям;
- учебно-методические материалы по тематике полимер-неорганических композитов.

Перечисленные данные естественным образом группируются в следующие блоки:

- Блок компаний-производителей и видов полимер-неорганических строительных композитов;
- Блок химических компонентов и характеристик композитов;
- Блок справочных данных (справочники, научно-техническая информация, патентные материалы);
- Блок методик ранжирования;
- Блок результатов ранжирования;
- Учебный блок.

Между соответствующими объектами задаются связи типа «один-ко-многим» и «многие-ко-многим»: одна компания может выпускать множество видов композитов; один композит характеризуется множеством компонентов и показателей; одна методика ранжирования применяется к множеству характеристик; для одних и тех же композитов могут храниться результаты ранжирования по нескольким независимым методикам и интегральным показателям и др.

Такая структура данных корректно описывается реляционной моделью базы данных, в которой каждая сущность (компания, вид композита, компонент, характеристика, методика, результат ранжирования, учебный материал) представляется отдельной таблицей, отдельные записи соответствуют экземплярам объектов, а связи реализуются через внешние ключи. Инфологическая модель в виде ER-диаграммы (сущности, атрибуты, связи) далее непосредственно переходит в логическую модель реляционной базы данных: каждой сущности соответствует таблица, каждой связи – согласованная система первичных и внешних ключей, обеспечивающих ссылочную целостность и согласованность накопления данных.

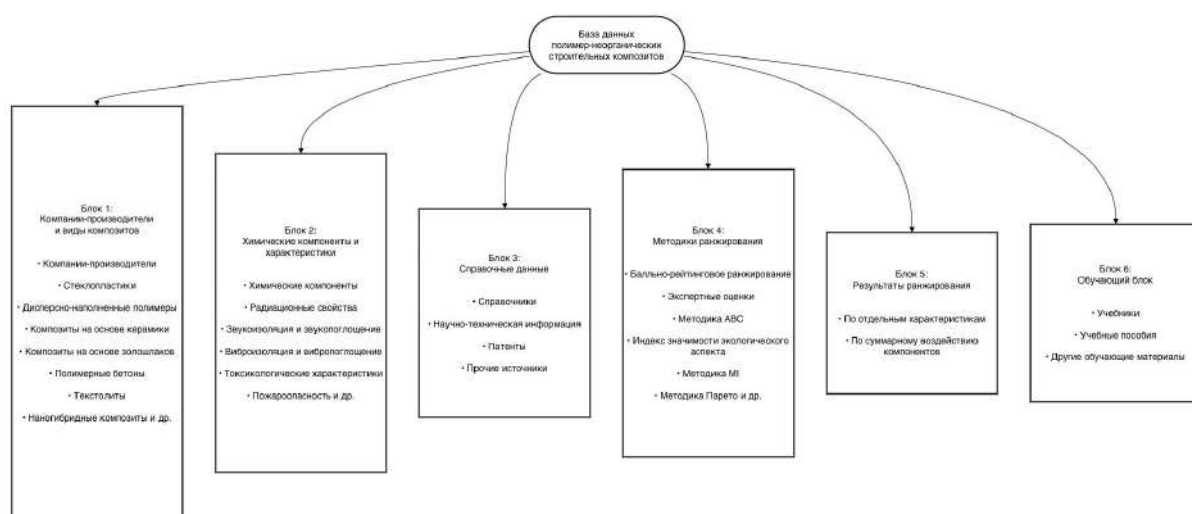


Рис. 1. Общая схема базы данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов

Выбор реляционной модели соответствует задаче построения накопительной базы данных результатов ранжирования физико-химических характеристик полимер-неорганических строительных композитов: схема предметной

области задается заранее и в дальнейшем расширяется, а основная нагрузка связана с пополнением и аналитической выборкой структурированных записей.

Для реализации описанной инфологической модели требуется система управления базами данных (СУБД), удовлетворяющая следующим требованиям:

- поддержка реляционной модели данных и языка структурированных запросов SQL (StructuredQuery Language);
- наличие механизмов первичных и внешних ключей, ограничений целостности и транзакционности;
- свободное распространение (открытая лицензия) и отсутствие необходимости приобретения коммерческих лицензий;
- возможность развертывания как в локальном режиме, так и в серверном режиме;
- наличие развитых графических средств администрирования и анализа данных, доступных пользователям без глубоких навыков программирования.

С учетом указанных критериев в качестве основной платформы реализации целесообразно использовать реляционную СУБД PostgreSQL. PostgreSQL является свободно распространяемой кросс-платформенной системой, обеспечивающей:

- реализацию реляционной модели (таблицы, первичные и внешние ключи, ограничения целостности, триггеры, хранимые процедуры);
- поддержку стандарта SQL для операций выборки, агрегирования, модификации и аналитической обработки данных;
- транзакционную обработку с гарантией согласованности данных при последовательном пополнении базы и последующей корректировке записей;
- функционирование как в режиме локального сервера, так и в режиме сетевого серверного решения.

В рамках выбранной платформы инфологическая модель, основанная на блоках «компании и виды композитов», «химические компоненты и характеристики», «справочные данные», «методики ранжирования», «результаты ранжирования», «обучающие материалы», реализуется в виде набора взаимосвязанных таблиц. Использование типовых средств администрирования PostgreSQL позволяет контролировать структуру базы, выполнять типовые запросы (поиск композитов с заданным набором характеристик, выборка результатов

ранжирования по заданной методике, анализ распределения интегральных оценок и т.п.), а также формировать выгрузки для последующей статистической обработки без разработки специализированного программного обеспечения.

В качестве альтернативных платформ могут быть использованы другие реляционные СУБД открытого доступа, реализующие сходный функционал:

- MariaDB/MySQL – серверные СУБД, поддерживающие реляционную модель данных и язык SQL; их применение целесообразно в тех случаях, когда в инфраструктуре организации уже развернуты соответствующие серверы и средства администрирования;

- SQLite– встраиваемая СУБД, представляющая базу данных в виде одного файла; применяется для локальных экспериментов, отладки структуры таблиц и тестового наполнения базы данных на одном рабочем месте.

Для задач масштабируемого промышленного хранения и аналитической обработки больших массивов данных представляют интерес промышленные распределенные системы управления базами данных, в частности СУБД Pangolin, разработанная в экосистеме ПАО «Сбербанк России». Данная система ориентирована на высокопроизводительное хранение и обработку данных при значительных объемах и сложных аналитических нагрузках и может рассматриваться как потенциальная платформа последующих этапов реализации проекта, когда:

- объем накопленных данных (характеристики композитов, результаты ранжирования по различным методикам, расширенные справочные массивы) существенно возрастет;

- возникнет необходимость интеграции базы с другими информационными системами и проведения сложного онлайн-анализа;

- потребуются выполнение ресурсоемких аналитических запросов в режиме, близком к реальному времени.

В этом случае реляционная база данных на основе PostgreSQL выступает исходным уровнем, обеспечивающим накопление и верификацию данных, а перенос данных в промышленную распределенную СУБД типа Pangolin может рассматриваться как этап масштабирования при переходе к полномасштабной эксплуатации и интеграции в корпоративную цифровую инфраструктуру.

С точки зрения практического наполнения и эксплуатации предлагаемая архитектура обеспечивает поэтапное формирование накопительной базы

данных результатов ранжирования физико-химических характеристик полимер-неорганических строительных композитов:

- на первом этапе утверждается инфологическая модель (ER-диаграмма сущностей и связей по шести блокам) и реализуется логическая схема реляционной базы данных в PostgreSQL;

- далее база последовательно наполняется первичной информацией по блокам: сведения о компаниях и видах композитов, перечни химических компонентов и характеристик, справочные данные, формализованные описания методик ранжирования, результаты ранжирования по отдельным характеристикам и интегральным показателям, учебно-методические материалы;

- по мере накопления данных модель может дополняться новыми атрибутами и связями (например, введением дополнительных классификаций композитов или новых методик ранжирования) при сохранении общей реляционной схемы и совместимости с уже внесенными записями.

Блок компаний-производителей и видов полимер-неорганических строительных композитов включает в себя соответствующую информацию о компаниях-производителях композитов и видах композитов.

В том числе, в базу данных включены следующие российские компаний можно указать: ООО «Композит 21», ООО «Уралармопром», ООО «Промволокно», ООО «Кнауф инсулейшен», АО «ОС Стекловолокно», ООО «Никогласс», АО «Стеклонит», ООО «П-Д Татнефть – Алабуга стекловолокно», ООО «МТК-СЛ», ПАО «Астраханское стекловолокно», ООО «Инновация», ООО «Росткарпластик», АО «НЗСВ», ООО «Каспийский завод стековолокна», ООО «Изолтекс», ООО «Покров», ООО «ЧЗТИ», ООО «Техинжком», АО «Стеклопласт», ООО «Стеклиолит» и др.

В базу данных включены не только ведущие компании-производители композитов, но и рассмотрена выпускаемая ими продукция. Так, среди ведущих компаний-производителей звукоизолирующих и звукопоглощающих композитных материалов и конструкций кКомпания «Knauf» производит тонковолоконные минераловатные плиты, рулоны, звукопоглощающие панели. Продукция этого производителя пользуется на рынке шумоизоляционных материалов высоким спросом. Для внутренней звукоизоляции жилых помещений разработаны две линейки эффективных звукоизоляторов. В первом решении, это тонковолоконные минераловатные плиты АкустиKnauf, которые производятся

в нескольких размерных модификациях (рис. 2). Другое решение - Knauf Insulation Акустическая Перегородка. Плиты характеризуются высоким коэффициентом упругости и полноценным шумопоглощением.

Предлагаемый перечень с одинаковым успехом можно использовать для тепло- и звукоизоляции, полов, вертикальных конструкций и потолочных перекрытий.



Рис. 2. Тонковолокнистые минераловатные плиты АкустикКнауф

Компания «Акустик групп» (Acoustic Group) занимается разработкой и производством звуко- и виброизоляционных материалов, бескаркасной изоляцией стен и потолочных перекрытий, изоляцией пола и др.

Для бескаркасной изоляции стен и потолочных перекрытий специалисты компании рекомендуют модели AKU-line ГКЛА, ЗИПС, Вибросил и Вибростек. В перечне предложения изоляторы для каркасных облицовок Виброфлекс, Шуманет, Вибростек и Саундлайн. Для бескаркасной отделки тонких стен и перегородок адаптирована эффективная звукоизоляция Саундлайн-ПГП Супер. С учётом конструктивных особенностей пола, разработаны звукоизоляционные материалы Акуфлор, ЗИПС, Шуманет и Акуфлекс. В категорию отделочных материалов для стен и потолочных перекрытий входят модели Sonaspray и Soundboard.

В ассортименте выпускаемой продукции шумозащитные перфорированные, светопрозрачные и антивандальные панели, а также звуконепроницаемые двери.

Компания «ТЕХНОНИКОЛЬ» занимается производством минераловатных плит с улучшенными звукоизолирующими характеристиками (рис. 3).



Рис. 3. Минераловатные плиты компании «ТЕХНОНИКОЛЬ»

В работах по звукоизоляции полов под бетонную стяжку высоким качеством отличается продукция Техноэласт (рис. 4) и Технофлор. Для звукоизоляции стен и горизонтальных конструкций адаптированы характеристики модели Техноакустик.



Рис. 4. Звукоизоляция полов «Техноэласт» компании «ТЕХНОНИКОЛЬ»

Стеклопластики включают материалы, в которых используется полимерная основа, армированная стеклянными включениями. Их производят

нагреванием неорганического стекла, формируя подходящие по размеру волокна. В качестве матрицы в основном используют эпоксидные смолы. Стеклопластик - недорогой материал, активно используемый в строительстве, изготовлении приборов и спортивного инвентаря. Он применяется во многих сферах из-за своих свойств - низкой теплопроводности, прочности.

Дисперсно-наполненные полимеры – для них наполнителем служат порошки. Они добавляются для снижения стоимости или для придания материалу определенных свойств. Современный дешевый порошковый наполнитель - каолин. Готовый композит используется обычно для изготовления труб. В состав могут входить природные компоненты - песок, древесная мука, глина, тальк, мел. Для создания материала с нужными свойствами и показателями прочности используют порошки разной твердости.

Композиты на основе керамики – в их основании используются неорганические полимеры и керамические смеси. Они бывают природного происхождения и искусственно созданные. В матрицу добавляются высокопрочные наполнители — волокна, порошки, сетки.

Путем разного сочетания компонентов можно контролировать свойства готового материала и добиваться нужных характеристик в зависимости от планируемой сферы применения. Керамические композиты становятся частью деталей автомобилей, самолетов, космической техники. Они подходят для производства изделий, которые будут работать в агрессивных условиях — при больших нагрузках, на высоких скоростях и при воздействии экстремальных температур.

Полимерные бетоны – это бетоны с полимерным заполнителем. Они созданы с целью ликвидации или уменьшения недостатков цементного бетона. В них минеральное вяжущее (цемент, силикат) частично или полностью заменяется полимерами, как правило, это полиэфирные смолы, реже эпоксидные. Можно выделить следующие основные типы полимерных бетонов:

Полимербетоны – бетоны, где связующим является полиэфирная смола (без участия цемента и воды); бетоны на основе полимерных связующих (с присутствием цемента, но без участия воды).

Полимербетон на полиэфирной смоле состоит из мраморной крошки (на 85 %), связующего - полиэфирной смолы (15 %), модифицированных добавок и красящего пигмента. Цемента в данной рецептуре нет. Изделия из

искусственного камня легкие, влагостойкие, (влагопоглощение составляет всего 0,2 %, то есть практически отсутствует) устойчивые к колебанию температур (от -50 до +60 °C).

Полимерцементный бетон. В полимерцементных бетонах в бетонную или растворную смесь добавляют в небольших количествах (5...15 % от массы цемента) полимер, хорошо совместимый с цементным тестом. Этому соответствуют водорастворимые олигомеры, отверждающиеся в процессе твердения бетона (например, водорастворимые фенол-формальдегидные полимеры) или чаще водные дисперсии полимеров (поливинилацетата, синтетических каучуков, акриловых полимеров и др.). Полимерцементные растворы и бетоны отличаются высокой адгезией к большинству строительных материалов, низкой проницаемостью для жидкостей, очень высокой износостойкостью и ударной прочностью. Применяют полимерцементные материалы для покрытий полов промышленных зданий, взлетных полос аэродромов, наружной и внутренней отделки по бетонным и кирпичным поверхностям, в том числе для приклеивания керамических, стеклянных и каменных плиток, устройства резервуаров для воды и нефтепродуктов.

Пластобетон – разновидность бетона, в котором вместо минерального вяжущего использованы термореактивные полимеры (эпоксидные, полиэфирные, фенолформальдегидные и др.). Полимербетон получают смешиванием полимерного связующего и заполнителей. Связующее состоит из жидкого олигомера, отвердителя и тонкомолотого минерального наполнителя, необходимого для уменьшения расхода полимера и улучшения свойств полимербетона. Главное свойство пластобетона – высокая химическая стойкость в кислотных и щелочных средах. Пластобетоны обладают высокой прочностью ($R_{сж} = 60... 100$ МПа, $R_{изг} \sim 20...40$ МПа), плотностью, износостойкостью и отличной адгезией к другим материалам. При этом пластобетоны характеризуются повышенной деформативностью и невысокой термостойкостью. Их стоимость намного выше стоимости обычного бетона, но несмотря на это, полимербетоны эффективно используют для устройства защитных покрытий и изготовления конструкций, работающих в условиях химической агрессии (химические и пищевые предприятия), ремонта каменных и бетонных элементов (восстановление поверхности, заделка трещин и т.п.).

Бетонополимер – это бетон, пропитанный после затвердевания мономерами или жидкими олигомерами, которые после соответствующей обработки (например, нагревания) переходят в твердые полимеры, заполняющие поры и дефекты бетона. В результате этого резко повышаются прочность бетона, его морозостойкость и износостойкость. Бетонополимер практически водонепроницаем. Для получения бетонополимера главным образом применяют стирол и метилметакрилат, полимеризующиеся в бетоне в полистирол и полиметилметакрилат.

Текстолиты – это полимерные композиты со слоистой структурой и тканевым наполнителем. Чаще всего из них делают кухонные поверхности — столешницы, декоративные панели. Производятся по технологии горячего прессования с предварительной пропиткой и сушкой. Слой полимерной матрицы армируется натуральным или синтетическим текстилем. Когда текстолиты только начали производить, они всегда имели форму пластины. Сейчас они доступны в разных формах. Из него производят амортизирующие и уплотнительные прокладки, подшипники.

Наногибридные полимер-неорганические композиты. Наряду с волокнистыми, среди полимерных композитов большое значение, особенно в последние годы, приобрели наногибридные полимер-неорганические композиты. В таких материалах расстояния между сетками и слоями, образованными полимерными и неорганическими компонентами, а чаще всего и размеры образующихся частиц, в том числе и металлсодержащих, имеют нанометровые размеры. Органическая фаза может захватывать металлочастицы внутрь своеобразной «ловушки» с оптимальными размерами полимерной или оксидной сетки, полимерного звена. В качестве неорганических составляющих используют оксиды кремния и алюминия, ванадия и молибдена, стекла, глины слоистые силикаты и цеолиты, фосфаты и халькогениды металлов, графит и др.

Блок химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов включает в себя:

- химические компоненты;
- радиационные свойства;
- звукоизоляция и звукопоглощение;
- виброизоляция и вибропоглощение;
- токсикологические характеристики;

- пожароопасность;
- возможность утилизации композита и др.

Блок химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов. Химические компоненты могут включать диоксид серы, нитраты, фосфор общий и неорганический, сероводород и сульфиды, цианиды, барий, фосфаты, аммоний, нитриты, хром, формальдегид, фенолы, селен, азот общий и др. [2, 5, 17, 21 и др.].

Основную токсичную нагрузку в объеме композита несет полимерная матрица. Преимущественно применяются эпоксидные, эпоксифенольные и фенолформальдегидные смолы. По своей природе и химическому составу указанные смолы относят ко 2 классу опасности (высокоопасный) по степени воздействия на человека. Например, эпоксидные смолы содержат формальдегид, фенолы.

Следует отметить, что эксплуатация композитных материалов часто связана с достаточно высоким уровнем воздействия факторов окружающей среды, таких как солнечный свет и кислород воздуха, механические воздействия и взаимодействие с водой. При эксплуатации композитных материалов на основе эпоксидных смол возможна эмиссия (выделение) ряда загрязняющих веществ в воздух, особенно при неправильной обработке, повреждении материала или воздействии высоких температур. Основные источники и типы выделяемых веществ зависят от стадии жизненного цикла материала, но при эксплуатации (в отличие от производства или переработки) основными являются следующие:

Эпоксидные смолы могут содержать летучие органические соединения (ЛОС), включающие остаточные мономеры, пластификаторы, растворители или добавки, которые постепенно выделяются в воздух. Эмиссия ЛОС обычно снижается со временем после отверждения, но может возобновляться при нагреве, УФ-облучении или механическом повреждении.

Остаточный эпихлоргидрин (1-Хлор-2,3-эпоксипропан; 2-хлорпропилен оксид) - токсичное вещество 2 класса опасности, потенциально канцерогенное.

Бисфенол А (ВРА) - вещество 3 класса опасности, может выделяться при старении или термическом воздействии.

Амины и имидазолы (в большинстве вещества 3 класса опасности) – это ускорители отверждения, они могут испаряться в виде паров (особенно при нагреве или термоокислительной деструкции при старении).

К ЛОС также относятся растворители (например, ксилол, толуол, ацетон), если они использовались при производстве или нанесении.

Перечень этих веществ должен быть внесён в списки контролируемых для работ по оценке воздействия эпоксидных композитных материалов на окружающую среду в воздухе и воде при контакте.

Если композит подвергается трению, шлифовке, ударным нагрузкам или разрушению, то образуются также микрочастицы наполнителей (стекловолокно, углеволокно, минеральные наполнители). В большинстве случаев это относительно химически инертные компоненты.

Фрагменты полимерной матрицы могут содержать неотвержденные остатки смолы.

Радиационные свойства. Соответствие требованиям по радиационным свойствам полимерсодержащих строительных композитов имеет существенное значение [8-11 и др.]. Для оценки радиационных свойств материалов, в том числе композитных материалов, широко используются методы оценки активности радионуклидов.

Например, в золошлаках и зольных отходах от сжигания угля, нефтепродуктов и отходов могут накапливаться следующие радионуклиды и элементы:

- Урановые радионуклиды: U^{238} , U^{234} - концентрируются в золошлаках примерно в 4-7 раз больше, чем в исходном угле.
- Радий: Ra^{226} - также значительно обогащается в золошлаках и летучей золе.
- Торий и дочерние продукты: Th^{232} , Th^{228} , Pb^{210} , Po^{210} — концентрируются в золошлаках, причем наиболее летучие переносчики (Pb^{210} , Po^{210}) преимущественно в летучей золе.
- Калий: в виде стабильного и радиоактивного изотопа K^{40} — также содержится в золошлаках и летучей золе, иногда в повышенных концентрациях.
- Цезий (Cs^{137}) - как искусственный радионуклид, может присутствовать в золошлаках при загрязнении вследствие техногенных аварий, хотя в природных золошлаках обычно не встречается.
- Стронций (Sr^{90}) - техногенный радионуклид, при обычном сжигании нехарактерен для золошлаков, но может присутствовать при радиоактивном загрязнении.

Классы строительных материалов по содержанию радионуклидов и разрешенное применение:

- Материалы I класса: удельная эффективная активность природных радионуклидов Аэфф до 370 Бк/кг — допускается применение во всех видах строительства, включая жилые и общественные здания;
- Материалы II класса: Аэфф до 740 Бк/кг — разрешены для промышленного и дорожного строительства в населенных пунктах и зонах перспективной застройки;
- Материалы III класса: Аэфф до 1500 Бк/кг — применяются в дорожном строительстве за пределами населенных пунктов;
- Материалы IV класса: Аэфф выше 1500 Бк/кг — использование возможно только по специальному разрешению федеральных органов.

Использование сырья и материалов с эффективной удельной активностью природных радионуклидов выше 1500 Бк/кг в жилом, общественном и большинстве производственныхстроек запрещено.

Все строительные материалы должны иметь санитарно-гигиенические сертификаты с указанием удельной эффективной активности радионуклидов, а контроль за содержанием радионуклидов обязателен как при производстве, так и при применении строительных материалов. Основной контролируемый параметр - удельная эффективная активность природных радионуклидов (Аэфф), измеряемая в Беккерелях на килограмм (Бк/кг), включает суммарную активность радия-226, тория-232 и калия-40 с учетом их биологического воздействия.

Звуковиброизоляция и звуковибропоглощение. Важной задачей является создание полимерных композитных материалов, имеющих высокую эффективность звуковиброизоляции и звуковибропоглощения на широком диапазоне частот, а также имеющих соответствующие функциональные и эксплуатационные свойства [3, 4, 7, 18-20 и др.]. Например, звукопоглощающие материалы в случае применения в помещении должны обладать набором функциональных и эксплуатационных свойств:

- обладать коэффициентом формы, позволяющим создавать изогнутые (криволинейные) поверхности звукопоглощающей облицовки;
- обеспечить выполнение противопожарных требований - быть негорючими и не способствовать распространению огня;
- быть термо- и влагостойкими, сохранять свои звукопоглощающие свойства в течение всего периода эксплуатации;
- допускать возможность очистки, в том числе и влажным способом;

- не выделять в воздух помещения никаких химических веществ и не оказывать вредного воздействия, опасного для здоровья людей, в том числе и возможных осколков, волокон или «корольков»;

- обеспечивать легкость монтажа и возможность, в случае необходимости, замены отдельных поврежденных элементов облицовки.

В настоящее время создан целый ряд технических решений звуковиброизолирующих и звукопоглощающих композитных материалов. Например, компания «Акустик групп» (Acoustic Group) занимается разработкой и производством звуко- и виброизоляционных материалов, бескаркасной изоляцией стен и потолочных перекрытий, изоляцией пола и др. Для бескаркасной отделки тонких стен и перегородок эффективна звукоизоляция Саундлайн-ПГП Супер. С учётом конструктивных особенностей пола, разработаны звукоизоляционные материалы Акуфлор, ЗИПС, Шуманет и Акуфлекс. В категорию отделочных материалов для стен и потолочных перекрытий входят модели Sonaspray и Soundboard. Компания «ТЕХНОНИКОЛЬ» занимается производством минераловатных плит с улучшенными звукоизолирующими характеристиками. Компания «МАКС-ФОРТЕ» производит звукоизолирующие и звукопоглощающие плиты, панели, рулоны и др.

При этом существующие решения имеют ряд недостатков, поэтому важной задачей является разработка звуковиброизолирующих и поглощающих полимерных композиционных материалов с повышенной эффективностью [7].

Токсикологические характеристики полимер-неорганических строительных композитов имеют важное значение при практическом использовании полимерсодержащих композитов. С точки зрения токсичности основным источником экологической опасности в жилых зданиях являются полимерные строительные композиты. Токсичность строительных материалов оценивают путем сравнения с ПДК выделяющихся токсичных веществ и элементов, называемых эмиссией. Первостепенное значение для такой оценки имеет класс опасности, состав вредных веществ и их количественное содержание. Повышенным токсическим воздействием обладают полимеры на основе карбамидных смол выделяющие формальдегид в количестве, превышающем допустимый уровень. В свободном состоянии формальдегид представляет собой раздражающий газ, обладающий общей токсичностью. Он подавляет действие ряда жизненно важных ферментов в организме, приводит к заболеваниям дыхательной системы

и центральной нервной системы. Полимеры на основе фенолформальдегидных смол выделяют в воздушную среду помещений фенол и формальдегид. Токсичность выделяющихся веществ во многом зависит от марки смолы. Эпоксидные смолы содержат летучие токсичные вещества: формальдегид, дибутилфтолат, эрихлоргидин (ЭХГ) и др. Например, полимербетон (ПБ) на основе эпоксидной смолы ЭД-6 с введением в его состав пластификатора МГФ-9 снижает выделение вредных веществ и может быть рекомендован только для промышленных и общественных зданий.

Пожароопасность полимер-неорганических строительных композитов может быть различна и определяется рядом характерных физико-химических параметров, исходя из свойств композитов. Методы оценки пожарной безопасности и пределов огнестойкости полимерных композитов определены в ГОСТ Р56206-2014.

Возможность утилизации полимер-неорганических строительных композитов имеет важное значение с точки зрения обеспечения экологической безопасности. С ростом производства полимерных композиционных материалов проблема утилизации становится критической. Ежегодно образуются тысячи тонн композитных отходов. В настоящее время выделяют физические, химические и термические методы утилизации. Для каждого типа композитов целесообразно использовать свой метод утилизации. Например, для стеклопластиков это пиролиз и термокатализ. Золошлаковые отходы ТЭЦ используются в золоцементных композитах для дорожного строительства.

Блок справочных данных включает в себя:

- справочники;
- нормативные документы;
- научно-техническую информацию;
- патенты по полимер-неорганическим строительным композитам и др.

Например, нормативные ограничения на содержание радионуклидов в строительных материалах в России регулируются следующими основными документами:

- СП 2.6.1.758-99 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)»;
- ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов»;

- СанПиН 2.6.1.2800-10 «Требования радиационной безопасности при облучении населения природными источниками ионизирующего излучения».

Блок методик ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду включает в себя:

- методику балльно-рейтингового ранжирования количественных характеристик;
- методику экспертных оценок;
- методику ABC;
- методику оценки по индексу значимости экологического аспекта;
- методику MI (material input);
- методику Парето и др.

Блок результатов ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов с точки зрения их воздействия на человека и окружающую среду включает в себя результаты ранжирования по различным отдельным характеристикам композитов, а также результаты ранжирования суммарного воздействия нескольких компонентов.

На следующих этапах исследования будут проведены экспериментальные исследования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических композитов, результаты которых будут включены в базу данных и позволят осуществлять их ранжирование, оценивать потенциальные компоненты полимер-неорганических композитов, оказывающие негативное воздействие на человека и загрязнение окружающей среды.

Обучающий блок включает учебники, учебные пособия и другие обучающие материалы, например, [1, 14].

Использование предложенной базы данных позволяет определить возможности существующих и новых полимер-неорганических композитов с точки зрения экологической безопасности, разработать новые методы и технические решения по снижению негативного воздействия полимер-неорганических композитов на человека и окружающую среду, достичь значительного повышения качества, надёжности и долговечности их эксплуатации.

Получено свидетельство о регистрации вышеописанной базы данных в Роспатенте [6].

Список литературы

1. Барашков Н.Н. Полимерные композиты: получение, свойства, применение. – М.: Наука, 1984. – 128 с.
2. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.
3. Васильев А.В. Моделирование и снижение низкочастотного звука и вибрации энергетических установок и присоединенных механических систем: монография / Самара, 2011.
4. Васильев А.В. Подходы к оценке экологического риска при воздействии акустических загрязнений. Экология и промышленность России, 2018, т. 22, №2, с. 25-27.
5. Васильев А.В. Методы и подходы к исследованию экологических характеристик полимерсодержащих композитных материалов. В сборнике материалов Всероссийской научно-образовательной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности-2025», – Казань: Изд-во КНИТУ, 2025, с. 787-793.
6. Васильев А.В. База данных результатов систематизации и ранжирования химических компонентов и экологических характеристик полимер-неорганических строительных композитов. Свидетельство о государственной регистрации № 2026620858. Дата государственной регистрации в Реестре базы данных Роспатента: 26.02.2026 г.
7. Васильев А.В. Особенности исследования звукоизолирующих и звукопоглощающих характеристик полимерсодержащих композитных материалов // В научном журнале "Математические методы в технологиях и технике". 2025. №10. С. 53-56.
8. Васильев А.В., Ермаков В.В., Чипура А.С. Методика определения состава и свойств полимерсодержащих композитных материалов строительного назначения на основе активности радионуклидов и её реализация на примере золошлаковых отходов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 27, №3(2), с. 452-458.
9. Васильев А.В., Ермаков В.В., Щербakov Д.Е. Методика экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной

- радиоактивностью как объекта экологического риска. // Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. №4. С. 171-178.
10. Васильев А.В., Ермаков В.В., Щербаков Д.Е. Результаты экспериментальных исследований нефтесодержащих отходов с повышенной радиоактивностью как объекта экологического риска. // Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. №4. С. 179-184.
 11. Васильев А.В., Ермаков В.В., Щербаков Д.Е. Анализ зависимостей распределения радионуклидов от способа переработки нефтесодержащих отходов. // Известия Самарского научного центра РАН. 2023. Т. 25. №6. С. 181-191.
 12. Дударев, А.С., Калошина С.В., Баяндин Е.В. Применение полимерных композиционных материалов в строительстве. Науч.-техн. журн. «Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика». - 2024. - № 1. – С. 1-5.
 13. Ермаков В.В., Васильев А.В. Особенности анализа экологических и эксплуатационных характеристик полимерсодержащих композитных материалов строительного назначения с помощью модифицированной методики инфракрасной спектроскопии. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 27, №4, с. 196-202.
 14. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – СПб: Научные основы и технологии, 2008 – 822 с.
 15. Цвайфель Х., Маер Р.Д., Шиллер М. Добавки к полимерам. Справочник – СПб: ЦОП «Профессия», 2010. – 1144 с.
 16. Шаповалов В. М. Экологические проблемы в получении и применении полимерных композитов в Республике Беларусь. Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 9, № 1. С. 71–81.
 17. Шефтель В.О. Вредные вещества в пластмассах. Справочное изд. М.: Химия, 1991, 554 с.
 18. Luzzi S., Vasilyev A.V. Auditory and non-auditory effects, monitoring and mapping of occupational exposure to noise. Noise Mapping, 2022, Vol. 9, issue 1, pp. 146-156. Published by De Gruyter Open Access. DOI: 10.1515/noise-2022-0154.
 19. Vasilyev A.V. Estimation, Forecasting and Reduction of Vibration Caused by Transport and Industry. Proceedings of the International Scientific Conference (XVIII International Forum) World Heritage and Contamination. "Le vie dei

Mercanti", June 11th – 13th 2020, Naples-Capri, Italy. – Edition "Gangemi editore international", Naples, Italy. pp.913-920.

20. Vasilyev A.V. Development and approbation of methods and technical solutions of reduction of vibration of power plants and joining mechanical systems. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 106. pp. 354-362.
21. Vasilyev A.V. Estimation of atmosphere air pollutants as factors of ecological risks of urban territories. *World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation "Le vie dei Mercanti" Proceedings of the International Scientific Conference (XV International Forum)*. Cep. "Fabbrica della Conoscenza series" Carmine Gambardella, President and Founder of the Forum. 2017. pp. 1524-1528.

Международные и национальные механизмы регулирования обращения с пластиковыми отходами

Васильева Л. Ю.

Аспирант

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург

Политаева Н. А.

Профессор

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
г. Санкт-Петербург

Аннотация: проведен анализ международных и национальных механизмов регулирования пластиковых отходов на протяжении всего жизненного цикла пластмасс – от производства и потребления до утилизации и переработки. Рассматриваются ключевые международные конвенции и соглашения в области обращения с отходами. Проведен сравнительный анализ международных и национальных механизмов регулирования обращения с пластиковыми отходами и их интеграция в российскую систему обращения с отходами.

Ключевые слова: пластиковые отходы, международное регулирование, циркулярная экономика, экологическая устойчивость

Пластиковые отходы стали одной из наиболее актуальных экологических проблем XXI века [1]. Быстрый рост производства и потребления полимерных материалов в сочетании с недостаточной инфраструктурой переработки отходов привел к широкомасштабному загрязнению окружающей среды, которое негативно сказывается на наземных и морских экосистемах, биоразнообразии и здоровье человека [2]. Воздействие пластмасс на окружающую среду послужило толчком к разработке скоординированных международных нормативных рамок и принятию стратегий, направленных на обеспечение устойчивого производства и потребления [3].

Международные конвенции и соглашения, такие как Базельская, Стокгольмская, Роттердамская и Минаматская конвенции, Монреальский протокол, Лондонская конвенция и протокол, MARPOL 73/78, а также глобальные климатические инициативы создают нормативную основу для национальной политики в области обращения с отходами [4]. Эти документы содержат

рекомендации по контролю за опасными веществами, сокращению загрязнения пластиком и учету экологических факторов в промышленных процессах [5].

Российская Федерация участвует во многих из этих международных соглашений и разрабатывает национальное законодательство, которое реализует глобальные принципы с учетом экономических и промышленных особенностей страны [6]. В частности, российская модель делает акцент на развитии инфраструктуры управления отходами, использовании вторичных полимерных материалов и механизмах расширенной ответственности производителей [7]. Такой подход соответствует принципам циркулярной экономики, направленной на минимизацию отходов, сохранение материальной ценности и снижение воздействия производственных и потребительских циклов на окружающую среду.

Цель данного исследования – провести сравнительный анализ международных и национальных механизмов регулирования обращения с пластиковыми отходами и обосновать их интеграцию в российскую систему обращения с отходами в рамках развития циркулярной экономики. В ходе исследования выявлены пробелы в законодательстве, определены возможности для его совершенствования и оценено, как можно гармонизировать глобальные нормы и внутреннюю политику для достижения экологической устойчивости.

Методологический подход исследования основан на комплексном сравнительном анализе международных и национальных правовых рамок, регулирующих обращение с пластиковыми отходами, с использованием системного подхода для оценки их адаптации в российской практике. Для выявления пробелов и возможностей совершенствования законодательства были применены методы сравнительного анализа, моделирование механизмов расширенной ответственности производителей и интеграции вторичного сырья в производственные и потребительские циклы.

Проблема обращения с отходами, в том числе пластиковыми, в последние десятилетия является предметом активного международного регулирования и научных исследований. Международные конвенции и стратегии устойчивого развития формируют нормативную и концептуальную основу, определяющую национальные системы обращения с отходами.

Ключевым международным правовым документом, регулирующим трансграничную перевозку отходов, является Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением 1989 г.

В последние годы ее положения были расширены и теперь включают определенные категории пластиковых отходов, что отражает признание пластика в качестве значительного экологического риска [8]. Российская Федерация является участником Базельской конвенции и реализует ее положения через национальную нормативную базу, включая контроль за трансграничной перевозкой отходов и лицензирование деятельности по обработке и утилизации отходов.

Еще одним важным международным соглашением является Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях 2001, направленная на ограничение производства и использования веществ, способных накапливаться в окружающей среде и живых организмах [8]. В контексте обращения с пластиковыми отходами, Конвенция имеет косвенное значение, поскольку регулирует использование определенных добавок и химических соединений, применяемых при производстве полимерных материалов. Значительная часть стойких органических загрязнителей используется в пластмассах для придания им определенных свойств, в том числе огнестойкости. В настоящее время, Российская Федерация является участником Стокгольмской конвенции и продолжает нести обязательства по соблюдению ее требований, что обуславливает необходимость учета экологических и санитарных требований при переработке пластиковых отходов и использовании вторичных полимерных ресурсов.

Особое место в современной международной повестке занимает процесс разработки глобального соглашения по загрязнению пластиком, инициированный под эгидой Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде. Решение о начале переговоров по юридически обязывающему международному договору было принято в 2022 году, после чего, в рамках Межправительственного переговорного комитета начался переговорный процесс. Этот договор призван обеспечить комплексное регулирование всего жизненного цикла пластмасс, от производства до утилизации. Хотя, изначально ожидалось, что соглашение будет окончательно согласовано к концу 2024 года, переговоры продолжаются в 2025–2026 годах из-за сохраняющихся разногласий между участвующими государствами.

Российская Федерация участвует в переговорном процессе и на данном этапе делает акцент не на ограничении производства пластмасс как такового, а на развитии технологий переработки отходов и более широком вовлечении вторичных ресурсов в экономический оборот. Такой подход отражает

стремление сохранить баланс между экологическими целями и развитием промышленности. В отличие от ряда зарубежных стран, где основной упор делается на сокращение потребления пластика и введение запретов на определенные виды упаковки, российская модель ориентирована преимущественно на реформирование системы обращения с отходами, развитие инфраструктуры переработки отходов и создание экономических стимулов для использования вторичного сырья. Ключевым инструментом реализации этой модели является механизм расширенной ответственности производителей (РОП) для производителей и импортеров товаров и упаковки.

Эволюция этого механизма отражает принятие международного принципа «загрязнитель платит», который в российской практике трансформировался в более жесткий подход «перерабатывай или плати». В отличие от ранних этапов регулирования, нынешняя система предусматривает не только финансовую компенсацию за ущерб окружающей среде, но и прямое участие производителей в процессах переработки отходов. Значительные законодательные изменения, вступившие в силу в 2024 году, направлены на постепенное увеличение обязательных целевых показателей по переработке упаковки и перераспределение ответственности между участниками производственных и логистических цепочек. Передача обязательств по переработке непосредственно производителям упаковки отражает логику жизненного цикла регулирования продукции, широко применяемую в международной практике. Кроме того, внедрение автоматизированных систем отчетности и новых методологий расчета экологических сборов соответствует глобальной тенденции к повышению прозрачности экологического регулирования. В качестве альтернативы прямому присоединению к некоторым международным соглашениям, Россия разрабатывает собственную нормативную базу, направленную на стимулирование использования вторичного сырья.

Введение перечней продукции с обязательной долей вторичного сырья и установление минимальных пороговых значений для его использования, фактически, выполняют ту же функцию, что и международные обязательства по сокращению отходов, при этом, реализуются с учетом особенностей национальной промышленной структуры [9]. Вместе с тем, анализ существующих требований показывает, что регулирование остается фрагментарным и не охватывает в полной мере такие значительные потоки отходов, как строительные

материалы и инертные отходы. Таким образом, российская система регулирования обращения отходов развивается в соответствии с международными тенденциями, при этом характеризуясь собственной моделью адаптации глобальных принципов. Участие в основных международных конвенциях сочетается с формированием национальных механизмов, направленных на достижение целей циркулярной экономики.

Одним из ключевых международных документов в области регулирования химических веществ является Роттердамская конвенция о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле 1998 г. Российская Федерация присоединилась к Конвенции в 2011 году на основании федерального закона о ратификации, подписанного в феврале-марте 2011 года.

Основная цель Конвенции заключается в обеспечении совместной ответственности экспортирующих и импортирующих государств посредством обмена информацией о свойствах опасных веществ, а также установления национальных процедур принятия решений в отношении их импорта и экспорта. Важной особенностью Роттердамской конвенции является то, что она не налагает прямых запретов на использование химических веществ, а дает государствам возможность принимать обоснованные решения на основе полученной информации.

Важное место, в международной системе экологического регулирования, занимает Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой 1987, участником которого является Российская Федерация. СССР ратифицировал Протокол в 1988 году, а Российская Федерация участвует в нем как правопреемник, продолжая выполнять взятые на себя международные обязательства. Основной целью Протокола является защита озонового слоя, его положения имеют отношение и к пластмассовой промышленности. Ряд контролируемых веществ используются в качестве вспенивающих агентов при производстве полимерных материалов, в первую очередь, жестких пенопластов. Протокол предусматривает поэтапную ликвидацию таких веществ, а также разработку и внедрение технологий их уничтожения и удаления и не налагает прямых обязательств по утилизации пластиковых отходов, его меры ориентируют государства на минимизацию выбросов регулируемых веществ на всех этапах обращения с продукцией и отходами. Российская Федерация продолжает участвовать

в рамках Монреальского протокола и реализует меры по контролю и сокращению использования озоноразрушающих веществ и их заменителей, в том числе в соответствии с последующими поправками к Протоколу.

Особое место среди международных соглашений занимает Минаматская конвенция о ртути, направленная на защиту здоровья человека и окружающей среды от антропогенных выбросов и выделений ртути и ее соединений. Конвенция была открыта для подписания в октябре 2013 года, и Россия подписала ее 24 сентября 2014 года, однако, она еще не ратифицировала договор и это означает, что на страну не распространяются никакие юридически обязательные международные обязательства. Причины нератификации связаны со значительной технологической и экономической нагрузкой, которую требования Конвенции налагают на определенные отрасли промышленности, в том числе на производство полимерных материалов и другие отрасли, где ртуть и ее соединения используются в технологических процессах и оборудовании. В России конкретные положения Минаматской конвенции по ртути реализуются через национальные нормативные акты, включая санитарные нормы, технические регламенты и отраслевые ограничения на ртутьсодержащие компоненты. Это нашло отражение в ограничении производства и использования ртутьсодержащих устройств, регулировании обращения люминесцентных ламп и другого ртутьсодержащего оборудования с обязательным сбором и переработкой, безопасном обращении с отходами, контроле содержания ртути в продукции, внедрении технологий сокращения, а также программах демонтажа и утилизации устаревшего оборудования.

Анализ отечественных и международных нормативных документов, а также стратегий в области обращения с отходами, показывает, что Российская Федерация интегрирована в глобальную систему экологического управления благодаря участию в ключевых международных конвенциях по отходам, химическим веществам, загрязнению пластиком, охране морской среды и биоразнообразию. Национальное законодательство разрабатывается как практический инструмент для реализации этих международных принципов с учетом специфики экономики и промышленной структуры страны.

Научная новизна исследования заключается в комплексном объединении международных и национальных механизмов. Впервые продемонстрирован системный подход к адаптации глобальных конвенций в российской практике,

включая частичную ратификацию и применение национальных эквивалентов. При сравнении пробелов и возможностей в законодательстве выявлены фрагментированные области регулирования (строительство и инертные отходы), что позволяет обосновать меры по гармонизации норм [15].

Реализация международных требований в России проявляется в развитии системы расширенной ответственности производителей, продвижении вторичной переработки и использования вторичного сырья, а также в управлении химическими веществами и морскими отходами. Такая интеграция позволяет достичь баланса между экологическими целями и промышленным развитием, создавая условия для минимизации негативного воздействия на окружающую среду и повышения эффективности управления ресурсами. Гармоничное сочетание международных обязательств и национальных механизмов формирует основу для устойчивого развития системы обращения с отходами и сокращения загрязнения пластиком.

Список литературы

1. Tumu K., Vorst K., Curtzwiler G. Global plastic waste recycling and extended producer responsibility laws. *Journal of Environmental Management*, 348:119242, 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119242 — анализ международных законов по переработке пластика и системы EPR (расширенной ответственности производителя). [Электронный ресурс]. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723020303?utm_source (дата обращения: 15.02.2026).
2. Syberg K., et al. Regulation of plastic from a circular economy perspective. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 29:100462, 2021 — обзор международных политик в контексте циркулярной экономики. [Электронный ресурс]. — URL: https://www.researchgate.net/publication/349231765_Regulation_of_plastic_from_a_circular_economy_perspective (дата обращения: 15.02.2026).
3. Hui Z., Aftab H. International trade and plastic waste in oceans: legal and policy challenges. *Frontiers in Marine Science*, 2025 — правовые и политические препятствия в регулировании международной торговли пластиковыми отходами. [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2025.1627829/full>

4. Tran T.Y.A. A Review on Extended Producer Responsibility Schemes for plastic waste governance, 2025 — обзор схем расширенной ответственности производителей как правового инструмента управления отходами. [Электронный ресурс]. — URL: [https://neptjournal.com/upload-images/\(5\)D-1662.pdf](https://neptjournal.com/upload-images/(5)D-1662.pdf) (дата обращения: 15.02.2026).
5. Boeve M. Lessons from the EU's Legal Framework on Plastics. European Policy Law Journal, 2023 — анализ правовой системы ЕС по пластиковым отходам и её уроки для международного договора. [Электронный ресурс]. — URL: <https://research-portal.uu.nl/en/publications/global-plastic-pollution-and-the-transition-towards-a-circular-ec/> (дата обращения: 15.02.2026).
6. Стамкулова Г.А. Проблемные вопросы правового регулирования обращения с отходами: опыт СНГ, Scientific and Practical Journal ESJL, 2022 — анализ правового регулирования отходов (в т.ч. пластика) в странах СНГ. [Электронный ресурс]. — URL: <https://esjl.turan-edu.kz/jour/article/view/23> (дата обращения: 15.02.2026).
7. Хамидулина Х.Х., Назаренко А.К., Тарасова Е.В., Рабикова Д.Н., Петрова Е.С., Филин А.С. Подходы Европейского законодательства к регулированию обращения с отходами (обзор). Токсикологический вестник, 2022 — обзор подходов ЕС к регулированию отходов. [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-evropeyskogo-zakonodatelstva-k-regulirovaniyu-obrascheniya-s-othodami-obzor> (дата обращения: 15.02.2026).
8. Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal [Электронный ресурс]. URL: <https://www.basel.int/TheConvention/> (дата обращения: 03.02.2026).
9. Краскевич Д.А. Система мер по уменьшению пластикового загрязнения и потенциал воздействия на здоровье человека: обзор. Cyberleninka, 2024 — обзор мер по снижению пластиковых загрязнений и нормативных механизмов. [Электронный ресурс]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-mer-po-umensheniyu-plastikovogo-zagryazneniya-i-potentsialnogo-vozdeystviya-na-zdorovie-cheloveka-obzor-literatury> (дата обращения: 15.02.2026).

Влияние изменения состава сточных вод на сообщество микроорганизмов активного ила

Виноградова П. Ю.

Магистрант

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва

Аннотация: в статье рассмотрено влияние изменения химического состава сточных вод на микроорганизмы активного ила. В экспериментальной части установлено, что при внесении соединений меди происходит массовая гибель микробного сообщества. Результаты свидетельствуют о высокой чувствительности биоценоза к соединениям тяжёлых металлов.

Ключевые слова: активный ил, микроорганизмы, тяжелые металлы, соединения меди, токсическое воздействие

Микроорганизмы активного ила, являющиеся основой биологической очистки сточных вод, представляют собой сложное микробное сообщество, функциональная стабильность которого находится в прямой зависимости от химического состава поступающих осадков. Изменение этого состава, особенно при попадании соединений тяжелых металлов, к примеру при аварии или залповых сбросов, способно вызывать глубокие нарушения в работе аэротенков, приводя к деградации микробного сообщества и утрате его очистной способности. Как показывают современные исследования, даже относительно низкие концентрации металлов, поступающие в составе промышленных или смешанных стоков, приводят к трансформации микробной структуры и активности ила [1]. Промышленные сточные воды, содержащие тяжелые металлы, создают серьезную угрозу для эффективности процессов нитрификации, денитрификации и удаления органических соединений, поскольку микроорганизмы, ответственные за эти процессы, обладают различной степенью чувствительности к токсичным компонентам [2].

Соединения меди (Cu^{2+}) являются одним из наиболее распространенных тяжелых металлов, поступающих в системы биологической очистки от гальванических производств, предприятий электронной промышленности, а также от животноводческих комплексов [3]. Концентрации меди в промышленных сточных водах могут варьироваться в широком диапазоне, достигая значений,

существенно превышающих пороговые уровни толерантности микробных сообществ активного ила. При этом характер токсического действия меди может усиливаться в присутствии других веществ, что особенно актуально для реальных сточных вод, где тяжелые металлы практически никогда не встречаются изолированно.

Для экспериментальной оценки влияния соединений меди на микробное сообщество активного ила были использованы осадки сточных вод, отобранные на действующих очистных сооружениях. Микроскопический анализ исходного состава активного ила показал, что основную массу сообщества составляли простейшие - амёбы и инфузории. Также в ходе эксперимента было обнаружено присутствие микроскопических животных, таких как дафнии, коловратки, нематоды и тихоходки. На рис. 1 представлены фотографии дафнии и инфузории с увеличением 400.

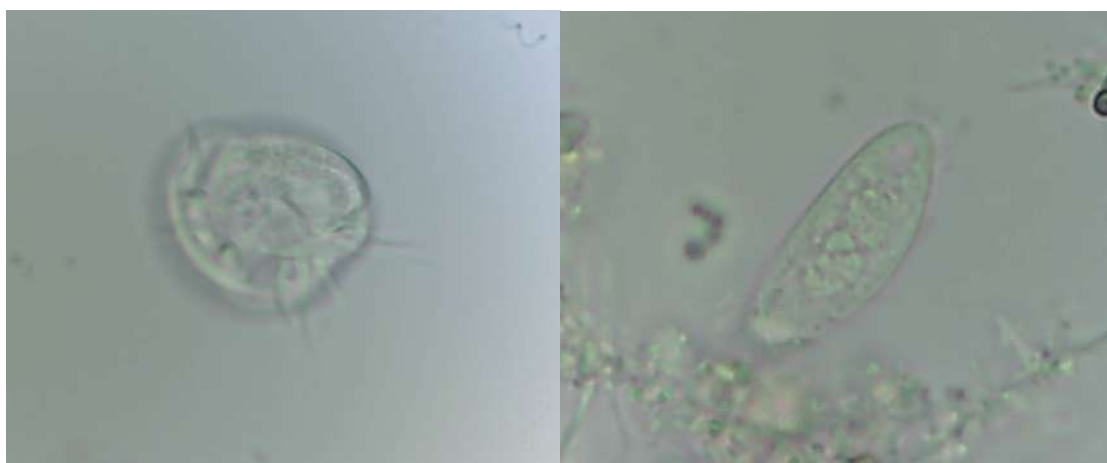


Рис. 1. Фотографии микроорганизмов

Для проверки влияния ионов меди на биоценоз активного ила был проведен следующий эксперимент. К объёму активного ила, равному 200 мл, приливали раствор сульфата меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 200 мл с концентрацией ионов меди 50 мг/л. Конечная концентрация ионов Cu^{2+} в итоговом растворе составила 25 мг/л. Контрольную пробу подготавливали аналогично, но без внесения соединений меди. Обе пробы активно перемешивали механической мешалкой с дополнительной аэрацией 60 минут для воссоздания аэробной зоны аэротенков. Жизнеспособность сообщества активного ила оценивали с применением микроскопического анализа с увеличением $\times 400$. Результаты показали, что в контрольной пробе все виды микроорганизмов сохраняли подвижность

и морфологию. В опытной пробе, содержащей ионы меди, было установлено, что под воздействием загрязнителя происходит массовая гибель биоценоза. Важно отметить, что гибель инфузорий характеризует существенную деградацию активного ила. Изменение биоценоза представлено на рис. 2.

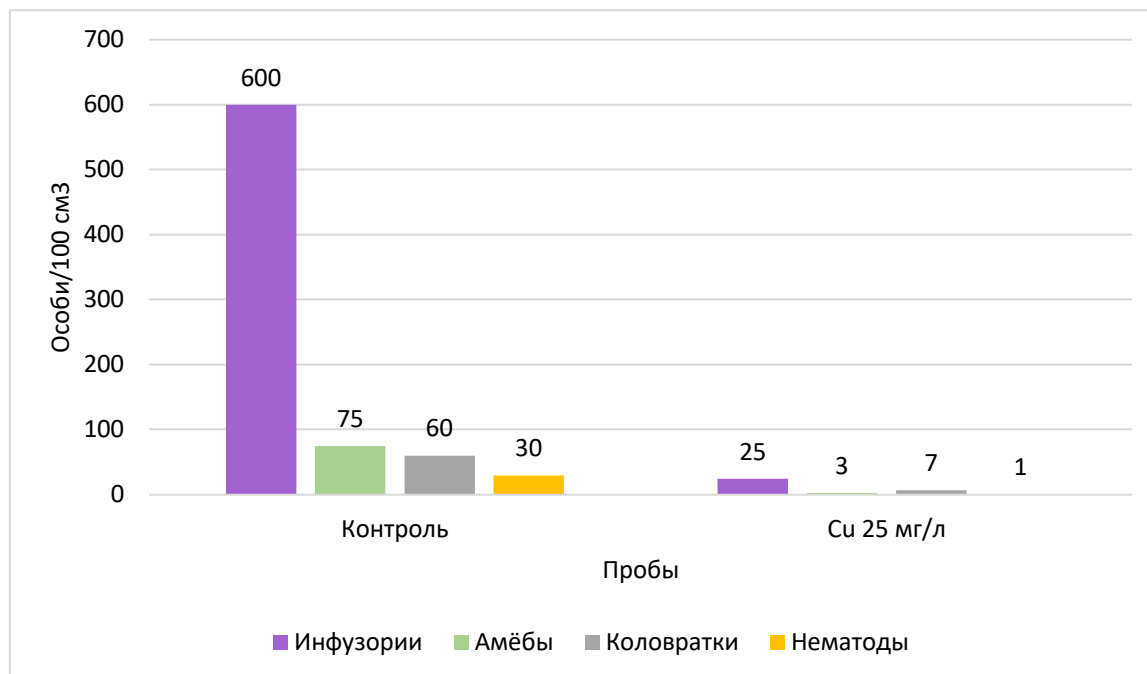


Рис. 2. Изменение численности биоценоза активного ила

В реальных условиях эксплуатации очистных сооружений изменение состава сточных вод часто носит не постепенный, а залповый характер, когда в течение короткого времени в систему поступают высокие концентрации токсичных компонентов. В таких случаях микробное сообщество активного ила не успевает реализовать адаптационные механизмы, что приводит к гибели сообщества. Даже после прекращения поступления токсикантов восстановление функциональной активности ила требует значительного времени, в течение которого эффективность очистки остается сниженной. Таким образом, совокупность представленных данных демонстрирует, что микроорганизмы активного ила обладают высокой чувствительностью к изменениям состава сточных вод, а поступление соединений меди приводит к негативным последствиям, включающим нарушение процессов удаления азота, изменение структуры микробного сообщества, что в конечном итоге выражается в снижении качества очистки сточных вод. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод

о необходимости контроля состава сточных вод, поступающих на очистные сооружения.

Автор выражает благодарность научному руководителю к.т.н., доценту кафедры промышленной экологии РХТУ им. Д. И. Менделеева Курбатову Андрею Юрьевичу.

Список литературы

1. Рыбочкина М.В., Ксенофонтов Б.С. Применение активного ила для очистки сточных вод от тяжёлых металлов //Студенческая научная весна. – 2021. – С. 33-34.
2. Дрегуло А.М. Исследование составов тяжелых металлов и фосфатов в полимерных веществах биомассы активных илов //Вода и экология: проблемы и решения. – 2020. – №. 3 (83). – С. 8-13.
3. Нор Д.В. и др. Загрязнение ионами меди природой воды //Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства. – 2021. – С. 260-261.

Мобильные приложения как инструмент цифровизации производственных процессов

Воробьев Н. А.

Специалист

ОЭЗ ППТ «Алабуга»

Аннотация: статья рассматривает возможности и перспективы использования мобильных приложений в различных сферах производственной и хозяйственной деятельности. Современные мобильные устройства позволяют заменить собой множество специализированных устройств. Тем самым снизив затраты и увеличив скорость труда.

Ключевые слова: мобильные приложения, автоматизация процессов, производственный учет, цифровизация, сбор данных, беспроводные технологии, датчики, искусственный интеллект, обработка данных, экологический учет, мобильные устройства, информационные системы, мониторинг, промышленность

В современном мире цифровизация становится одной из главных задач в различных сферах деятельности. Особое место занимают мобильные приложения, которые становятся важной частью жизни современного человека.

Рост вычислительных возможностей мобильных устройств в последние десятилетия способствует их внедрению и широкому использованию на предприятиях различного профиля. В том числе и на предприятиях экологического учета.

В нынешних условиях стоит задача по внедрению самых передовых мобильных решений, способных автоматизировать, упростить и ускорить сбор, обработку и передачу информации непосредственно на месте выполнения работ.

Самой ключевой особенностью использования мобильных приложений является их доступность. В отличие от стационарных информационных систем, мобильные приложения функционируют на базе смартфонов и планшетов, которые имеются у каждого сотрудника, что обеспечивает постоянный доступ к необходимым функциям и данным. Это позволяет снизить затраты на внедрение и эксплуатацию стационарных программных решений. И особенно актуально использование мобильных решений в полевых и удаленных условиях, где отсутствует доступ к стационарным решениям. В таком случае смартфон

становится основным инструментом для ведения учета, оформления отчетности, и взаимодействия с информационными системами предприятия.

Так же важным преимуществом является то, что мобильные приложения могут быть адаптированы под конкретные задачи предприятия, учитывая все особенности производственных процессов и могут быть оперативно обновлены, что невозможно со стационарными решениями.

Дополнительным преимуществом является то, что мобильные приложения позволяют отказаться от бумажного документооборота, снижая тем самым затраты на хранение и обработку документов, а также способствует повышению экологической эффективности.

В зависимости от поставленных задач мобильные приложения могут использоваться как простые «напоминалки», так и для выполнения сложных вычислений, анализа информации и формирования отчетности.

Особое значение приобретает возможность сбора данных с использованием различных датчиков и измерительных устройств. Мобильные приложения могут взаимодействовать с оборудованием посредством беспроводных соединений, таких как Bluetooth, Wi-Fi, и мобильные сети передачи данных. Это позволяет получать информацию непосредственно с датчиков в режиме реального времени, находясь в отдалении от самих устройств.

К числу таких устройств относятся датчики температуры, давления, влажности, уровня загрязнения окружающей среды и другие измерительные приборы, используемые в промышленности и экологическом учете.

Важным направлением развития является обработка полученных данных с помощью «искусственного интеллекта». Алгоритмы ИИ позволяют выявлять закономерности, прогнозировать изменения параметров, и обнаруживать отклонения от нормальных значений. Это дает возможность своевременно реагировать на отклонения и предотвращать аварийные ситуации.

Применение мобильных приложений в системе экологического учета.

Ведение первичного экологического учета требует высокой точности и скорости передачи данных, что не всегда позволяет обеспечить необходимый уровень контроля.

Использование мобильных приложений в данной области позволяют фиксировать данные непосредственно на объектах, где осуществляется деятельность. Это снижает риск потери и искажения данных при передаче.

Мобильные решения позволяют автоматизировать процесс ведения журналов учета, обеспечить стандартизацию вводимых данных и упростить контроль за соблюдением экологических норм.

Несмотря на значительные преимущества, использование мобильных приложений в производственной деятельности имеет ряд неудобств и ограничений.

Одной из основных проблем является зависимость от стабильности беспроводных соединений. В условиях удаленных объектов, глушения мобильных сетей передачи данных, а также радиопомех, качество связи (wi-fi, bluetooth), может быть нестабильным, что затрудняет передачу данных в режиме реального времени.

Так же важным фактором является невозможность заменить некоторые стационарные решения мобильными приложениями, из-за специфики производства или самого устройства.

Отдельного внимания требует вопрос информационной безопасности. Передача данных по беспроводным каналам и хранение данных на мобильном устройстве повышают риск утечек данных и кибератак. Это требует применения современных методов защиты информации.

Кроме того, внедрение мобильных приложений требует определенных затрат на разработку, интеграцию с существующими информационными системами и обучение персонала. Сопротивление сотрудников новым технологиям также может стать препятствием на этапе внедрения.

Мобильные приложения являются важным элементом современной цифровой инфраструктуры предприятий. Их использование позволяет повысить оперативность, точность и удобство выполнения производственных и учетных процессов. Благодаря доступности мобильных устройств и гибкости разработки программных решений, мобильные приложения могут быть эффективно адаптированы под различные задачи и условия эксплуатации. Внедрение таких решений способствует повышению эффективности деятельности предприятий, снижению затрат и улучшению качества управления. Перспективы развития мобильных технологий связаны с их дальнейшей интеграцией в производственные процессы и расширением функциональных возможностей, что делает их одним из ключевых инструментов цифровизации современной экономики.

Список литературы

1. Антипко А.В. Интернет вещей: его роль в умных городах и быту, тренды и инновации // Молодой ученый. – 2023. – № 33 (480). – С. 16–17. URL: <https://moluch.ru/archive/480/105531/>.
2. Миронов А.В., Гришанов Е.А. Применение технологии интернета вещей в мобильных приложениях // Научный лидер. – 2024. – № 26 (176). URL: <https://scilead.ru/article/6858-primenenie-tekhnologii-interneta-veshchej-v-m>.
3. Онкорова Н.Т. Цифровые технологии в экологической практике: инновационные подходы к управлению природными ресурсами // Экология и промышленность. – 2024. – № 13. – С. 26–30. URL: <https://ecology.dontu.ru/article.php?id=132>.
4. Засухина О.А., Малинин Н.К., Кузнецов М.Е., Гусев И.Г. Применение технологий интернета вещей в энергосистемах // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2023. – № 1. – С. 187–191. URL: <https://doi.org/10.36629/2686-7788-2023-1-187-191>.
5. Молчанова Р.В. Интернет вещей в умных городах: новые возможности управления городской средой // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 3, № 10. URL: <https://scinetwork.ru/articles/52465>.
6. Татаринов К.А. Экологические возможности интернета вещей // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2025. – Т. 11, № 1. URL: <https://scinetwork.ru/articles/33042>.
7. Ковальский В. Мобильные приложения и экология: как технологии помогают сохранить планету // IT Week. – 2023. URL: <https://www.it-week.ru/themes/detail.php?ID=227819>.

Разработка мероприятий по благоустройству территории на месте полигона твердых коммунальных отходов

Ключко О. Л.

Студент

Южный Федеральный Университет, г. Таганрог

Семенистая Т. В.

Доцент

Южный Федеральный Университет, г. Таганрог

Аннотация: проведено изучение процесса рекультивации земельного участка полигона твердых коммунальных отходов (ТКО), предложены мероприятия по благоустройству территории на месте полигона ТКО после рекультивации, что играет ключевую роль в создании устойчивой и экологически благоприятной среды. В работе представлены рекомендации по проведению работ по озеленению территории с использованием местных видов растений.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, рекультивации земельного участка полигона ТКО, санитарное благоустройство населённых мест

Благоустройство территорий, где ранее находились полигоны ТКО, несет важное социальное значение. Создание экологически чистых и функциональных пространств на местах бывших свалок способствует улучшению жизни местных жителей, повышению качества окружающей среды и развитию социальной активности в обществе. При этом особое внимание уделяют экологическим аспектам и устойчивому использованию природных ресурсов.

При разработке проекта благоустройства учитывают потенциальные риски для окружающей среды и здоровья людей, связанные с предыдущим использованием территории как полигона отходов. Тщательное изучение состава почвы, грунтовых вод, атмосферного воздуха позволяет принимать обоснованные решения по рекультивации и развитию местности.

При благоустройстве территории целесообразно применяют принципы устойчивого развития, например использование возобновляемых материалов, внедрение энергоэффективных технологий, сохранение и увеличение зеленых насаждений. Это позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду и повысить уровень жизни горожан в долгосрочной перспективе.

Современные подходы к благоустройству территорий на местах бывших полигонов отходов требуют комплексного подхода, включающего экологические, социальные и экономические аспекты. Правильно спроектированный и реализованный проект может стать важным шагом к созданию здоровой и устойчивой городской среды, обогащающей жизнь его обитателей [1–3].

Разработка и реализация мероприятий по благоустройству территорий, где ранее располагались полигоны ТКО, имеет критическое значение для улучшения экологической обстановки, повышения качества жизни жителей и поддержания устойчивого развития населенных пунктов [4–6]. Одной из ключевых целей подобных мероприятий является преобразование негативно загрязненных участков в общественные зоны, благоприятные для жизни и отдыха. Этот процесс включает в себя не только очистку и рекультивацию земель, но и организацию новых зон отдыха, зеленых насаждений, спортивно-игровых площадок, а также обустройство инфраструктуры.

Регулярные мониторинговые исследования позволяют своевременно выявлять проблемы и корректировать дальнейшие действия, обеспечивая сохранение качества и устойчивость рекультивированной территории на месте полигона ТКО [7–10]. Постэксплуатационный период полигона ТКО после рекультивации должен продолжаться достаточно длительное время для обеспечения устойчивости созданной экосистемы и максимального снижения рисков загрязнения окружающей среды [11].

Целью работы является разработка мероприятий по благоустройству территории на месте полигона ТКО.

Согласно [12] размер нормативной ориентировочной санитарно-защитной зоны составляет 500 м (п. 7.1.12 класс II, п. 2 Полигоны твердых бытовых отходов). С полигоном граничат:

- с запада – промышленная зона с расположенными на ней предприятиями, дальше шоссе, за которым расположены садовые товарищества;
- с севера – садовые товарищества;
- с востока – ж/д пути, ж/д станция;
- с юга – промышленная зона.

Площадь участка в границах отвода составляет около 400 тыс. м².

Наибольшая продолжительность безморозного периода в районе изысканий равна 265 дней. Наименьшая продолжительность 166 дней. Средняя

продолжительность – 210 дней в году. Относительная влажность, характеризующая степень насыщения воздуха водяным паром, изменяется в течение года в широких пределах и имеет довольно большой суточный ход. Наибольшая относительная влажность воздуха приходится на период ноябрь-январь и составляет 87 %. Средний месячный минимум относительной влажности отмечается в августе и составляет 59 %. Средняя годовая относительная влажность воздуха с учетом последних лет составляет 73 %. Количество осадков определяется особенностями общей циркуляции атмосферы, в частности фронтальной деятельностью западных циклонов. На распределение влаги оказывает также влияние рельеф местности. Средняя многолетняя сумма осадков в районе полигона равна примерно 571 мм.

Территорию полигона почти полностью занимают бытовые отходы, перекрытые насыпным грунтом, смешанным со строительным мусором, сформированные в холм с довольно крутыми склонами. На территории исследуемого объекта растительный мир представлен не повсеместно, в основном распространены травяные растения, представленные рудеральными видами, устойчивыми к антропогенному, химическому воздействию и вытаптыванию. В северо-восточной части участка встречаются древесная растительность.

Растительность полигона довольно скудная и фрагментарная, что обусловлено спецификой грунтов (субстрата), непригодных для роста растений – большая часть участка покрыта ТКО, смешанными с пылеватым бесструктурным субстратом.

Древесный ярус растительности на исследуемой территории практически отсутствует, представлен только на границе участка в виде отдельных группировок древостоя на территориях, прилегающих к свалочному телу.

Среди растительности травянистого яруса согласно ареалу обитания наибольшее распространение получили: пырей ползучий (*Elytrigia repens*), полевица тонкая (*Agrostis capillaris*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), осот полевой (*Sonchus arvensis*), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), мать-и-мачеха (*Tussilago farfara*), ромашка пахучая (*Matricaria matricarioides*), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*), лопух паутинистый (*Arctium tomentosum*), подорожник средний (*Plantago media*) и др.

По итогам полевых исследований был составлен полный перечень произрастающих на территории полигона растений. Особое внимание было уделено

поиску редких и охраняемых видов. Редкие и охраняемые виды растений на территории объекта и его санитарно-защитной зоне отсутствуют.

Рекультивация полигона ТКО является важным процессом в управлении отходами и восстановлении экологического равновесия на местах их размещения. Существует несколько способов рекультивации ТКО, которые могут применяться в различных ситуациях.

Отказ от рекультивации свалки, что повлечёт за собой нарушение требований действующего законодательства Российской Федерации в области охраны окружающей среды.

Вывоз отходов как способ рекультивации полигона ТКО предполагает вывезти весь объем накопленных отходов, на существующие лицензированные полигоны размещения отходов, включенные в государственный реестр объектов размещения отходов. Количество накопленных отходов, согласно проведенным расчетам, составляет около 6,4 млн. м³. Согласно открытым данным стоимость размещения 1 тонны отходов на ближайшем полигоне составляет 440 руб., так стоимость реализации проекта вывоза отходов на другой полигон около 3 млрд. руб., включая разработку, перевозку и размещение отходов.

Другой вариант – это обезвреживание отходов – предполагает обезвреживание отходов на месте путем строительства мусоросжигательного завода в районе размещения свалки. Предварительная стоимость варианта около 50 млрд. руб., включая строительство мусоросжигательного завода, разработку отходов и обезвреживание отходов, путем сжигания.

Третий вариант предполагает проведение работ по рекультивации полигона с целью минимизации воздействий накопленного экологического ущерба, нанесенного городской свалкой компонентам окружающей среды, путем рекультивации городской свалки и сбора, обезвреживания (очистки) или утилизации биогаза (пассивная дегазация). Устройство рекультивационного экрана предусматривается из геосинтетических и инертных материалов, с последующим посевом травосмеси на свалочном теле. Предварительная стоимость варианта около 1,5 млрд. руб., включая перепланировку отходов, устройство многофункционального рекультивационного экрана, устройство пассивной системы дегазации и благоустройство.

Итак, на основании анализа и оценки альтернативных вариантов достижения цели намечаемой деятельности оптимальным является третий вариант – рекультивация свалки в два этапа технический и биологический.

После завершения технического этапа рекультивации полигона необходимо начинать комплекс работ по восстановлению плодородия земли нарушенного жизнедеятельностью человека. Этот этап самый длительный и трудоемкий, требующий не только знаний и умений, но и терпения так как этот процесс занимает десятилетия. Все планируемые работы по восстановлению плодородия почвы и растительного покрова на теле бывшего полигона ТКО должны проводиться со знанием процессов технической рекультивации полигона ТКО и опираясь на климатические условия и географическое положение участка.

На рекультивированный полигон ТКО могут быть посажены различные виды растений, в зависимости от характеристик почвы, климатических условий и целей, которые преследуются при восстановлении данной территории. Выбраны несколько типов растений, которые могут быть использованы в рекультивации полигона ТКО.

Луговые травы и злаки: такие растения, как овсец, костромка, рыльцы, иван-чай и другие, способствуют укреплению почвы, предотвращают эрозию, улучшают ее структуру и обогащают минеральными веществами.

Виды растений с сильной корневой системой, например, однолетние астильбы, васильки, люпины и дикие травы, помогают в рыхлении почвы, улучшают ее дренаж и способствуют обогащению почвы кислородом.

Цветущие растения: посадка цветущих растений, таких как маки, пионы, астры и другие, может способствовать привлечению полезных насекомых, созданию красочного ландшафта и благоприятной атмосфере.

Некоторые из возможных вариантов использования рекультивированного участка – рекреация и общественное пространство: рекультивированный участок может быть преобразован в общественное пространство, парк, спортивную площадку или другое место для отдыха и активного времяпрепровождения. Это позволит обеспечить доступ к зеленым зонам и улучшить качество жизни местных жителей.

Учитывая все вышеизложенное и принимая во внимание местоположение самого полигона, который наводится в жилой зоне, мероприятия по

благоустройству территории бывшего полигона ТКО разделены на этапы. Первый этап заключается в комплексе агротехнических и фитомелиоративных мероприятий для обустройства сплошного травяного дернообразующего покрова. Второй этап может проводиться вместе с посевом травы, включает в себя посадку многолетних растений и кустарников.

Третий этап проводится после усадки основного тела полигона не ранее чем через 10 лет, после проведенных обследований территории. На этом этапе принимается решение о дальнейшем использовании участка, проводится проектирование и планировка, рассчитанная на дальнейшее использование территории.

Список литературы

1. Беспалов В.И. Физическая модель процесса загрязнения окружающей среды твердыми отходами потребления / В.И. Беспалов, О.Н. Парамонова // Инженерный вестник Дона. 2012. – №4. – С.
2. Абрамов Н.Ф. Отходы мегаполиса: морфологический и фракционный состав / Н.Ф. Абрамов, С.В. Архипов, М.В. Карелин, Я.А. Жилинская // Твердые бытовые отходы. 2009. - № 9.
3. Добросердова Е.А. Организация и обращение с твердыми бытовыми отходами: учебное пособие / Е.А. Добросердова. – Казань: Изд-во Казанского гос. архитектурно-строительного ун-та. – 2013. – 71 с.
4. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов: утв. Министерством строительства РФ 2 ноября 1996 г. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : сайт. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=367199&ysclid=mmvt8tftnp633299966> (дата обращения: 24.01.2026).
5. Кабанова Т.С. Экологические проблемы термической переработки твердых бытовых отходов / Т. С. Кабанова, В. А. Зайцев, Г. А. Ягодин // Экология и промышленность России. – 2010. – №2. – С. 47-49.
6. Корюков М.А. Завод по переработке несортированных твердых бытовых отходов / М.А. Корюков, А.В. Мельников // Экология и промышленность России. – 2004. – № 10. – С.12-14

7. Кофман Д.И. Экологические проблемы переработки отходов / Д.И. Кофман, М.М. Востриков // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 1.
8. Середа Т.Г. Биологическая рекультивация полигонов ТБО. Инженерные решения / Т.Г. Середа // Экология и промышленность России. – 2006. – № 8. – С. 13-15.
9. Слюсарь Н.Н. Принципы управления полигоном захоронения твердых коммунальных отходов на разных этапах жизненного цикла / Н.Н. Слюсарь, А.Ю. Пухнюк // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2016. – № 2. – С. 148-164.
10. Управление отходами. Полигонные технологии захоронения твердых бытовых отходов. Рекультивация и постэксплуатационное обслуживание полигона: монография / Я.И. Вайсман [и др.]; под ред. Я.И. Вайсмана. – Пермь : Изд-во Пермского нац. исслед. политехнического ун-та, 2012. – 243 с.
11. Шамаев О.Е. Газогеохимическое состояние и экологические функции почв полей фильтрации через 30 лет после рекультивации / О.Е. Шамаев, Н.В. Можарова, С.А. Кулачкова // Российский журнал прикладной экологии. – 2017. – №2 (10). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gazogeoхимическое-sostoyanie-i-ekologicheskie-funktsii-pochv-poley-filtratsii-cherez-30-let-posle-rekultivatsii> (дата обращения: 18.01.2026).
12. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий и сооружений и иных объектов» (новая редакция): утвержден Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 25.09.2007 N 74 // Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: https://ecokrasnodar.ru/wp-content/uploads/2019/07/1604211643_file_15076223214228.pdf (дата обращения: 08.02.2026).

Оценка воздействия производства упаковочных машин на компоненты окружающей среды в окружающую среду

Мадякина А. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Кузьмин А. А.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в работе исследуется влияние различных этапов производства, таких как подготовка материалов, механическая обработка, сварка, покраска и сборка, на уровень выбросов в атмосферу и образование отходов. Анализируются основные источники загрязнений на каждом из этапов и предложены эффективные решения для их минимизации, включая внедрение порошковой покраски, локальную вытяжку на сварочных участках, а также использование систем для регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей.

Ключевые слова: упаковочные машины, модернизация, технологический процесс, загрязнение, порошковая покраска, сварка, экологическая безопасность, энергосбережение, машиностроение, промышленность

Современное машиностроение развивается в условиях двойного запроса: промышленность ожидает от производителя высокую точность, надежность и производительность оборудования, а общество и государственные регуляторы требуют минимизации вредного воздействия на окружающую среду. Это противоречие проявляется в производстве упаковочных машин, где сочетаются металлообработка, сварка, покраска, сборка, электроавтоматика, испытания и запуск. С одной стороны, упаковочное оборудование остается важнейшим элементом пищевой, фармацевтической, химической и логистической отраслей. С другой стороны, сама технология изготовления таких машин связана с негативным воздействием на компоненты окружающей среды и потреблением значительных объемов энергии.

Актуальность темы определяется тем, что повышение экологичности сегодня уже не является второстепенной задачей. Для машиностроительных предприятий это становится фактором экономической устойчивости, конкурентоспособности и репутации.

Производство упаковочных машин представляет собой сложную систему взаимосвязанных операций, в которой качество готового изделия зависит не только от конструкторской проработки, но и от технологической дисциплины на каждом участке. В общем виде технологический процесс включает несколько основных стадий: подготовку производства, изготовление деталей, получение сварных и сборочных узлов, обработку поверхностей, нанесение защитно-декоративных покрытий, окончательную сборку, монтаж электрооборудования и проведение испытаний.

На начальном этапе формируется техническая документация, определяются конструктивные параметры будущей машины, выбираются материалы и комплектующие. Для упаковочного оборудования обычно применяются конструкционные стали, нержавеющие сплавы, алюминиевые профили, полимерные элементы, стандартные механические узлы, приводы, датчики, кабельная продукция и элементы пневмосистем. Уже на этой стадии закладываются не только эксплуатационные характеристики машины, но и будущий уровень экологической нагрузки. Например, использование плохо перерабатываемых материалов, сложных покрытий или нерациональных схем сборки впоследствии приводит к образованию промышленных отходов.

Следующий этап связан с заготовительным производством. Листовой и профильный металл поступает на участок резки, где используются лазерные, плазменные, гидроабразивные или механические методы раскроя. От выбора технологии зависят точность кромки, объем отходов, энергопотребление и количество аэрозольных выбросов. Лазерная резка обеспечивает высокую точность и минимальную доработку, но требует стабильного электропитания и газового сопровождения. Плазменная резка чаще применяется для более толстого металла, однако может сопровождаться большим объемом дымов и металлической пыли. Механическая обработка сопровождается образованием отхода производства – металлической стружки.

После раскроя детали переходят на участки гибки, сверления, фрезерования, токарной и шлифовальной обработки. Здесь формируется точная геометрия элементов рамы, защитных кожухов, направляющих, крепежных площадок, валов и посадочных мест. Механическая обработка сопровождается применением смазочно-охлаждающих жидкостей, образованием металлической стружки и абразивной пыли. Если предприятие не имеет организованной

системы сбора и регенерации таких материалов, производственный участок становится источником не только производственных отходов, но и загрязнения воздуха рабочей зоны. Кроме того, устаревшее оборудование с низким КПД увеличивает расход электроэнергии, а значит, косвенно влияет на общий экологический след предприятия.

Отдельное место в производстве упаковочных машин занимает сварка. Каркасы, опорные конструкции, защитные ограждения, стойки и многие несущие элементы изготавливаются именно сварным способом. Наиболее часто применяются полуавтоматическая сварка в защитных газах, аргонодуговая сварка и контактные методы соединения. При выполнении сварочных работ в атмосферу рабочей зоны выделяются сварочные аэрозоли, оксиды металлов, продукты термического разложения защитных и вспомогательных материалов. Если вентиляция организована недостаточно эффективно, это влияет не только на экологические показатели, но и на условия труда персонала. Следовательно, экологическая задача здесь напрямую связана с санитарно-гигиенической безопасностью производства.

После получения узлов выполняются зачистка, подгонка и предварительная сборка. На этой стадии выявляются возможные отклонения, перекосы, несовпадение отверстий, нарушения геометрии или недостаточная жесткость конструкции. С технологической точки зрения именно раннее обнаружение дефектов позволяет сократить количество бракованной продукции. А с экологической позиции уменьшение доработок означает снижение расхода материалов, электроэнергии и времени работы оборудования. Таким образом, даже организационные меры контроля качества оказывают косвенное влияние на объемы отходов.

Одним из наиболее экологически напряженных этапов считается подготовка поверхности и окраска. Перед нанесением покрытия металл очищается от окалины, загрязнений и следов обработки. Для этого используются механические способы, химическое обезжиривание, фосфатирование или комбинированные методы. Затем на поверхность наносятся грунты, эмали или порошковые составы. Традиционная жидкая окраска, особенно при использовании растворителей, становится источником летучих органических соединений. Именно они формируют значительную долю выбросов в атмосферу при машиностроительном производстве. Кроме того, часть лакокрасочного материала теряется

при нанесении, превращаясь в аэрозоль или оседая в виде отхода на фильтрах и стенках камер.

Завершающая стадия включает окончательную сборку, монтаж узлов перемещения, приводов, редукторов, транспортеров, пневмоэлементов, систем управления и электроавтоматики. Затем выполняется наладка и пробный запуск оборудования. На испытательном участке проверяют точность дозирования, герметичность упаковки, синхронность приводов, работу датчиков, устойчивость машины в длительном цикле. На этом этапе прямые выбросы, как правило, ниже, чем на сварке или покраске, однако общее энергопотребление участка может быть значительным, особенно если испытания проводятся без оптимизации режимов и без учета возврата энергии или повторного использования сжатого воздуха.

Если рассматривать экологическую нагрузку всего производственного цикла, можно выделить несколько основных источников негативного воздействия: выбросы сварочных аэрозолей и металлической пыли, испарения растворителей и лакокрасочных материалов, отходы металла и абразивов, загрязненные смазочно-охлаждающие жидкости, повышенное потребление электроэнергии, шумовое воздействие и накопление трудноутилизируемых производственных остатков. На многих предприятиях эти факторы рассматриваются разрозненно, что снижает эффективность природоохранной деятельности. Между тем реальный результат достигается только при системном подходе, когда экологизация встроена в технологию, а не существует отдельно от нее.

В качестве практического решения по уменьшению выбросов в окружающую среду предлагается внедрение комплексной схемы экологической модернизации участка окраски и подготовки поверхности, дополненной локальными мероприятиями на сварочном и механообрабатывающем производстве. Выбор именно этого направления объясняется тем, что на предприятиях, выпускающих упаковочные машины, наибольший объем газообразных выбросов часто связан не с обработкой металла как таковой, а с применением лакокрасочных материалов и растворителей. Следовательно, именно здесь можно получить наиболее заметный экологический эффект без полной перестройки всего завода.

Суть предлагаемого решения состоит в переходе от традиционной жидкой окраски к порошковой технологии с замкнутым циклом улавливания

и повторного использования не осевшего материала. Порошковое покрытие позволяет практически исключить выбросы летучих органических соединений, поскольку в составе материала отсутствует растворительная фаза. Частицы порошка наносятся электростатическим способом, после чего изделие направляется в печь полимеризации. Излишки порошка, не осевшие на поверхность, не должны выбрасываться в атмосферу: они улавливаются системой рекуперации, очищаются и возвращаются в процесс. Тем самым снижается не только загрязнение воздуха, но и расход самого покрытия.

Однако простой заменой краски экологическая модернизация не исчерпывается. Для реального эффекта необходимо изменить и подготовительный этап. Вместо агрессивных растворителей целесообразно использовать водные или малоэмиссионные составы для обезжиривания, а также организовать многоступенчатую систему очистки и циркуляции технологических растворов. При наличии замкнутого контура снижается объем сточных вод и уменьшается потребность в постоянной замене химических компонентов. Дополнительный эффект дает автоматизация дозирования: она исключает перерасход реагентов и стабилизирует качество подготовки поверхности.

На сварочных постах экологическое решение должно включать установку локальных вытяжных устройств непосредственно в зоне образования аэрозоля, применение современных фильтровальных модулей и оптимизацию режимов сварки. Практика показывает, что значительная часть вредных выделений связана не только с самим процессом, но и с нарушением технологической дисциплины: завышенным током, загрязненной кромкой, неправильным подбором присадочного материала. Поэтому экологический результат достигается не одними вытяжками, а сочетанием инженерных и организационных мер. При стабильных режимах снижается количество брызг, уменьшается объем доработки швов, а следовательно, сокращается вторичная пыль от зачистки.

Для механообрабатывающих участков рациональным направлением становится отдельный сбор металлической стружки, возврат ее на переработку, а также внедрение системы фильтрации и регенерации смазочно-охлаждающих жидкостей. В ряде случаев даже частичная регенерация позволяет сократить расход смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) на десятки процентов. Это важно не только с экономической, но и с экологической точки зрения, поскольку отработанные жидкости относятся к загрязняющим отходам и при

неправильном хранении становятся источником вторичного воздействия на почву и воду.

Экологическая модернизация технологического процесса должна опираться и на более широкий производственный подход. В частности, важную роль играет цифровая подготовка производства. Использование трехмерного моделирования, виртуальной сборки и предварительного анализа технологичности конструкции позволяет заранее выявить детали, которые трудно красить, неудобно сваривать или которые требуют избыточной механической обработки. Чем меньше лишних операций заложено в изделие, тем ниже экологическая цена его изготовления.

Отдельного внимания заслуживает энергетический аспект. Производство упаковочных машин включает большое количество электроприводов, компрессорного оборудования, вентиляции, сушильных и полимеризационных печей. Поэтому снижение выбросов связано не только с локальной очисткой воздуха, но и с уменьшением общего потребления энергии. Здесь эффективны частотное регулирование приводов, рациональная загрузка оборудования, автоматическое отключение неиспользуемых линий, теплоизоляция печей и возврат тепла вытяжного воздуха. Даже если выбросы возникают за пределами предприятия, на стороне энергосистемы, их сокращение остается частью общей экологической ответственности производства.

Предлагаемое решение имеет также важное экономическое измерение. На первый взгляд переход на более чистые технологии требует затрат: необходимы новые окрасочные линии, фильтровальные блоки, модернизация вентиляции, обучение персонала. Но в среднесрочной перспективе эти вложения компенсируются. Сокращается расход лакокрасочных материалов, уменьшается количество брака, снижаются платежи за негативное воздействие на окружающую среду, упрощается обращение с отходами, улучшаются условия труда. Кроме того, экологически модернизированное предприятие получает дополнительные преимущества в переговорах с заказчиками, особенно если продукция поставляется в отрасли с высокими требованиями к санитарии и качеству.

Важно подчеркнуть, что упаковочные машины сами по себе часто рассматриваются как часть современной ресурсосберегающей экономики. Они обеспечивают дозирование, герметичность, защиту продукции, снижение потерь при транспортировке и хранении. Однако экологическая ценность конечного

оборудования будет неполной, если его изготовление сопровождается значительным загрязнением. Поэтому задача магистерского исследования состоит не только в описании производственного маршрута, но и в выработке такого подхода, при котором машина, предназначенная для рациональной упаковки, создается с учетом принципов экологической ответственности.

Таким образом, технологический процесс производства упаковочных машин представляет собой многоэтапную систему, включающую заготовительные, механообрабатывающие, сварочные, окрасочные, сборочные и испытательные операции. Наибольшее экологическое воздействие формируется в точках, где образуются аэрозоли, пыль, испарения растворителей, загрязненные жидкости и значительные энергозатраты. Наиболее перспективным направлением снижения выбросов является модернизация участка подготовки поверхности и окраски за счет перехода к порошковым покрытиям с рекуперацией материала, а также внедрение локальной вытяжки на сварке, регенерации технологических жидкостей и цифровой оптимизации конструкции изделия.

Итоговый вывод заключается в том, что экологизация производства упаковочных машин не должна восприниматься как внешнее ограничение, мешающее технологическому развитию. Напротив, именно она становится стимулом к обновлению оборудования, пересмотру производственной логики и повышению общей эффективности предприятия. Чем глубже природоохранные решения встроены в технологический процесс, тем устойчивее становится само производство.

Список литературы

1. Ивантер Э.В. Экология производств: учебник / Э.В. Ивантер. – М. : Изд во Лань, 2024. – 232 с. – ISBN 978 5 507 49802 4. – Учебник по экологическим аспектам промышленного производства, включая оценку воздействия технологических процессов на окружающую среду. URL: https://lanbook.com/catalog/ekologiya-i-bezopasnost/ekologiya-proizvodstva/?utm_source
2. Колесников Е.Ю. Промышленная экология : учебник и практикум / Е.Ю. Колесников. – М. : Юрайт, 2021. – 551 с. – ISBN 978 5 534 13593 0. – Книга охватывает теорию экологической безопасности и методы оценки загрязнений в промышленных производствах.

3. Статенко В.Н. Экологическая безопасность в машиностроении : учебное пособие / Владивосток : ДВФУ. – Учебный материал по экологическим проблемам в машиностроительных предприятиях и природоохранным мероприятиям. URL: https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/791/r1msruw0oatah622864qbnv0yyxrqq50/Stacenko_V_N_ENkologicheskaya_bezopasnost.pdf?utm_source
4. Щипанов А.В. Охрана труда, промышленная безопасность и охрана окружающей среды в машиностроительном комплексе : учебно методическое пособие / Тольятти : Изд во ТГУ, 2023. — ISBN 978 5 8259 1367 4. – Рассматривает вопросы экологической и промышленной безопасности, применимые к машиностроению.
5. Нозирзода Ш.С. Влияние машиностроительных предприятий на окружающую среду : магистерская работа / Томский политехнический университет (пример анализа выбросов и экологической нагрузки). – Томск, 2018. – Аналитический материал о влиянии машиностроительного производства на компоненты окружающей среды.

Анализ численности работников металлургического производства, занятых в условиях акустического воздействия, в контексте обеспечения техносферной безопасности

Нестерова О. А.

Ассистент

Южный федеральный университет, г. Таганрог

Каменская Е. Н.

Профессор

Южный федеральный университет, г. Таганрог

Аннотация: проведен анализ динамики занятости работников металлургической промышленности, подвергающихся воздействию акустических факторов (шума, ультразвука воздушного, инфразвука) за восемнадцатилетний период (2007–2024 гг.). Обоснована необходимость разработки мер по снижению негативного воздействия производственной среды.

Ключевые слова: вредные условия труда, металлургическое производство, акустические факторы

В условиях современной технологической индустриализации занятость на работах с вредными условиями труда, в том числе под воздействием производственного шума, ультразвука и инфразвука, остается одной из наиболее острых проблем промышленной безопасности. Металлургическое производство относится к числу отраслей с высокими уровнями акустической нагрузки, что обуславливает повышенные риски для здоровья работников. Длительное воздействие шума вызывает не только профессиональную тугоухость, но и приводит к соматическим и вегетативным нарушениям, расстройствам центральной нервной системы, ухудшению когнитивных функций, снижению концентрации внимания и повышению уровня стресса. Эти факторы, в свою очередь, ведут к снижению производительности труда, росту числа ошибок и травматизма, ухудшению общего качества жизни [1].

В предыдущих исследованиях, выполненных на основе данных за 2007–2023 гг., была выявлена устойчивая тенденция роста численности работников, занятых во вредных условиях труда и предложена прогностическая модель на

основе искусственной нейронной сети (ИНС) типа Cascade-Forward neural network с числом нейронов в скрытом слое – 47, обученная с применением алгоритма Левенберга–Марквардта [2]. Входными данными служили временные ряды фактических показателей за период 2007–2023 гг., выходными – прогнозные значения на 2024 и 2025 гг. Обучение модели проведено в среде MATLAB. Оценка точности прогноза выполнена с помощью абсолютных и относительных погрешностей [3]. Обновление официальных статистических данных за 2024 год позволило актуализировать анализ, уточнить тренды и верифицировать прогнозные оценки.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики, по состоянию на конец 2024 года в Российской Федерации 34,9 % работников организаций заняты на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, из них 18,9 % работают под воздействием акустических факторов – шума, ультразвука воздушного, инфразвука. В металлургическом производстве доля работников, подвергающихся воздействию этих факторов, значительно выше и достигает 51,1 % от общей численности занятых в отрасли [4].

На рис. 1 представлена динамика численности работников металлургического производства за 2007–2024 гг. на основе данных Росстата.

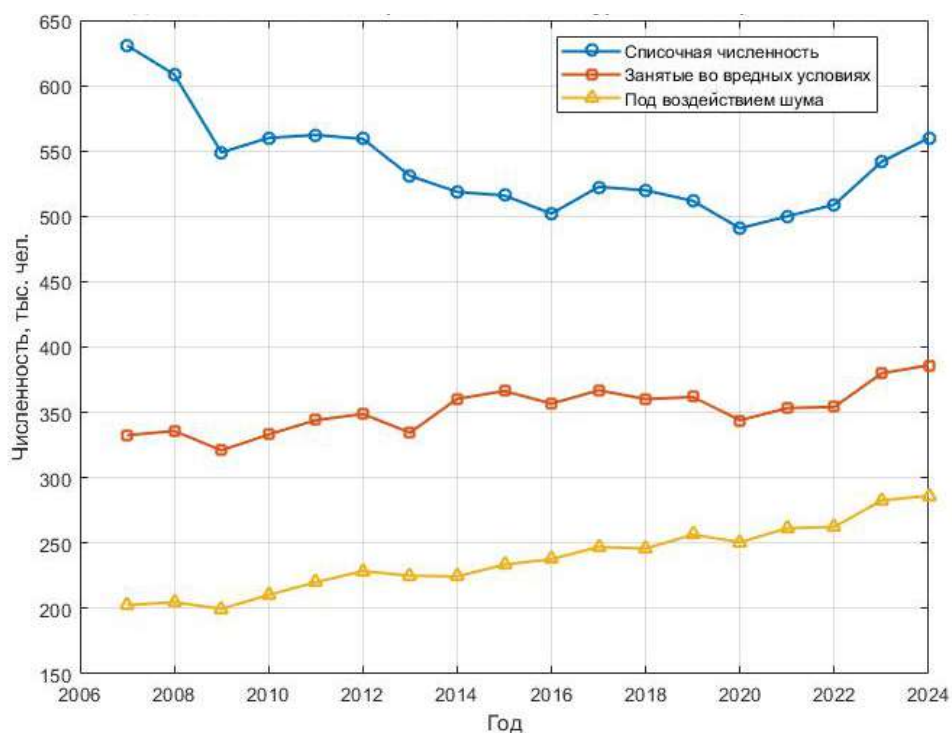


Рис. 1. Динамика численности работников металлургического производства

За период 2007–2024 гг. численность работников, подвергающихся воздействию акустических факторов, увеличилась на 41,3 % с 202,6 тыс. чел. до 286,3 тыс. чел. Доля этой категории в общей численности занятых в металлургии выросла с 32,1 % до 51,1 %, причём наибольший рост наблюдался после 2013 года. С 2021 г. наблюдается устойчивый рост после некоторого спада в 2020 г. Из рис. 2 следует, что доля мужчин выше, чем женщин на протяжении всего исследуемого периода: в 2024 г. – 58,1 % против 33,8 %. За восемнадцатилетний период абсолютная численность женщин, подвергающихся акустическому воздействию, выросла на 20,2 % с 45,2 тыс. чел. до 54,3 тыс. чел., тогда как численность мужчин увеличилась 47,4 % с 157,4 тыс. до 232,0 тыс. чел.

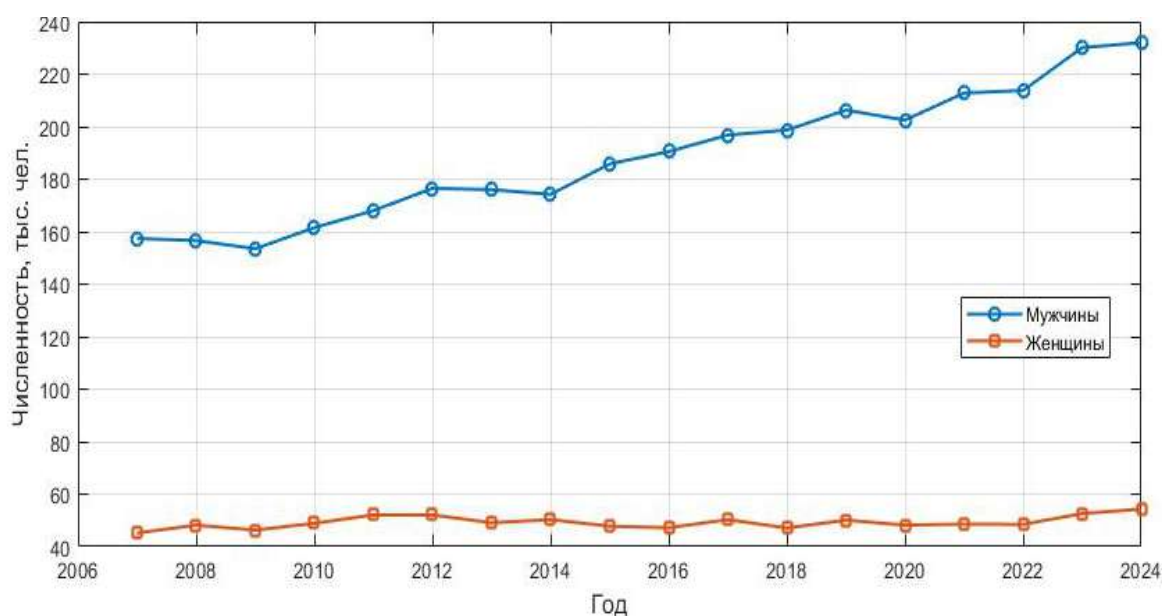


Рис. 2. Работники, занятые в условиях акустического воздействия в разбивке по полу

В 2024 г. общая численность занятых в металлургии достигла 559,9 тыс. чел. Это максимальный показатель за весь анализируемый период. Численность работников, подвергающихся шуму, также достигла максимума – 286,3 тыс. чел, что наглядно демонстрирует диаграмма на рис. 3.

Для количественной характеристики динамики выделены три периода на основе визуального анализа тренда: 2007–2013 (посткризисный рост), 2014–2020 (стабилизация), 2021–2024 (новый подъём). Рассчитанные среднегодовые темпы прироста представлены в таблице 1.

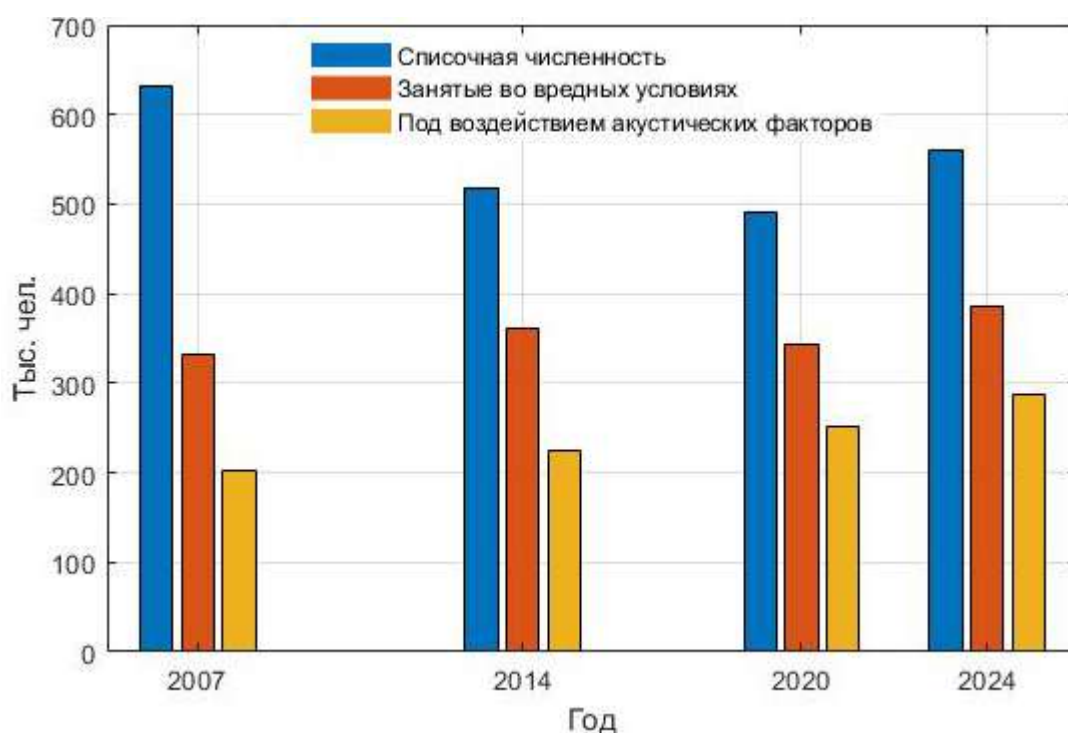


Рис. 3. Сравнительная оценка показателей по отдельным годам

Таблица 1

Среднегодовые темпы прироста численности работников подвергающихся воздействию акустических факторов, %

Период	Всего	Мужчины	Женщины
2007–2013	+1,8	+1,9	+1,4
2014–2020	+1,6	+1,9	–0,1
2021–2024	+4,6	+5,0	+3,8

Наибольший прирост зафиксирован в последние три года (2021–2024 гг.), что соответствует данным о восстановлении промышленного производства после кризиса 2020 г. и ростом загрузки мощностей металлургических предприятий [5]. Замедление роста в период 2014–2020 гг., а для женщин – даже небольшое снижение (–0,1 %), объясняется экономической стагнацией и сокращением численности занятых в отрасли в эти годы. Ускорение в 2021–2024 гг. подтверждает переход к новому этапу увеличения акустической нагрузки на работников.

Для уточнения прогнозных оценок нейросетевая модель была переобучена с включением данных за 2022–2023 гг. и верифицирована на данных 2024 г. Результаты представлены в таблице 2.

Сопоставление прогнозных и фактических значений за 2024 год

Показатель	Фактические значения, чел.	Прогнозные значения, чел.	Абсолютная погрешность прогноза, чел.	Относительная погрешность прогноза, %
Всего	286 317	284 900	1417	0,49
Мужчины	232 020	231 500	520	0,22
Женщины	54 297	54 600	303	0,56

Относительные погрешности не превышают 0,6 %, что подтверждает высокую точность модели и возможность её использования для среднесрочного прогнозирования.

В результате проведенного исследования, основанного на официальных данных Росстата за 2007–2024 гг., установлено, что в металлургическом производстве России наблюдается устойчивый рост численности работников, занятых в условиях воздействия шума, ультразвука и инфразвука, что обосновывает необходимость принятия системных мер по снижению уровня шума на металлургических предприятиях и улучшению условий труда.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на углубленный анализ отраслевой структуры рабочих мест с повышенным уровнем шума, оценку эффективности применяемых средств защиты, а также на разработку отраслевых нормативных документов, регламентирующих предельно допустимые уровни акустической нагрузки с учетом современных технологий.

Список литературы

1. Куликова О.А. Влияние шума на условия труда работников металлургического производства / О.А. Куликова, Н.К. Плуготаренко// Наука XXI века: технологии, управление, безопасность : Материалы III Национальной научной конференции, Курган, 13 мая 2024 года. – Курган: Курганский государственный университет, 2024. – С. 415-421.
2. Куликова О.А. Занятость работников в условиях, не отвечающих гигиеническим нормативам условий труда на металлургических предприятиях. Анализ и прогноз / О.А. Куликова, О.А. Нестерова // Гигиена, экология и риски

здоровью в современных условиях : Материалы XV всероссийской научно-практической online конференции молодых ученых и специалистов с международным участием, Саратов, 22–25 апреля 2025 года. – Саратов: Издательство "Саратовский источник", 2025. – С. 214-217.

3. Марченко Б.И. Нейронные сети в задачах аналитического обеспечения систем социально-гигиенического и экологического мониторинга / Б.И. Марченко, Н. К. Плуготаренко, О. А. Семина // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2021. – Т. 29, № 11. – С. 23-30. – DOI 10.35627/2219-5238/2021-29-11-23-30.
4. Федеральная служба государственной статистики (Росстат): официальный сайт. – URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 01.03.2026).
5. Бежанов И.В. Пути развития металлургической промышленности в России // Прогрессивная экономика. 2023. № 10. С. 111–124.

Экологические аспекты производства и использования природных красителей растительного происхождения

Нурбердиев Р.

Институт химии Академии наук Туркменистана, г.Ашхабад

Оразгулыева Г. И.

Туркменский государственный университет имени Махтумкули, г.Ашхабад

Ораздурдыева О.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, г.Ашхабад

Хомматгулыев Э.

Средняя школа №15 обл. Мары

Дурдыев Ш.

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, г.Ашхабад

Аннотация: приведены информации о калорировании текстильных материалов натуральными красителями растительных происхождения. Интерес к натуральным красителям обусловлен, прежде всего их экологичностью. Поэтому в данной статье рассматривается экологические аспекты получения и использования природного красителя из растительного происхождения, в частности, из шелухи лука. Так как, методом экстракции был получен красителя из шелухи лука и при этом установлено оптимальное соотношении сырья к воде или раствору. Крашение образцов хлопчатобумажных тканей экстрактов и из шелухи лука с использованием протравы показывают что, в зависимости от протравы получается различные цветы. Также определялась устойчивость к трению образцов хлопчатобумажной ткани, окрашенной красителям из шелухи лука протравным способом. Устойчивость окраски оценивается по 5 уровням и показывает хорошие результаты.

Ключевые слова: природные красители, эко-текстиль, протравы, краситель шелухи лука, устойчивость к трению, окрашивания

В текстильной промышленности применяются синтетических красителей, которые обладают ряд преимуществ по сравнению с природными аналогами. Однако они создают серьезные экологические проблемы, которые выявились в середине прошлого века и в настоящее время они являются очевидными. Поэтому в последние времена наблюдается возврат к использованию более безвредных, по сравнению с синтетическими, натуральных красителей, и ведутся

исследования по нахождению путей расширения возможностей их применения в текстильной и других отраслей промышленности. Так как, исследования в этой области показывают [1–9], что в мире возрос интерес к натуральным красителям растительного происхождения.

Растительные красители отличаются от синтетических не только экологической безопасностью, но и рядом других преимуществ. В отличие от индивидуальных по химическому строению синтетических веществ, растительные красители состоят из целого набора природных дубящих, красящих и сопутствующих веществ. Следовательно, природные красители показывают получить оригинальную, своеобразную окраску текстильному материалу. Растительные красители подвержены биологическому разложению, в некоторых случаях отхода производства рационально использовать в качестве удобрения и корм на сельскохозяйственных угодьях.

Улучшении экологической обстановки с использованием эко-текстиля, экологически безопасной продукции, получаемой без применения синтетического сырья являются актуальной проблемой в мире. Поэтому во многих странах наметилась тенденция к ограничению синтетических красителей и вспомогательных текстильных материалов. В этой связи надо отметить, что Туркменистан имеет большой сырьевой потенциал во всех направлениях промышленности, а также в производстве натуральных тканей и получению эко-красителей из местных растений.

Литературные данные показывают [10, 11], что решение задач, связанных с экологической безопасностью текстильного производства и производимой продукции, обуславливает создание инновационных, ресурсосберегающих технологий крашения и заключительной отделки текстильных материалов, использующих нетоксичные безопасные материалы, и вместе с тем, обеспечивающих высокое качество готовой продукции и соответствие её существующим стандартам. Одним из путей решения данной проблемы является колорирование текстильных материалов натуральными красителями, получаемыми из местного растительного сырья.

В настоящее время проблема колорирования текстильных материалов натуральными красителями растительного происхождения вызывает повышенный интерес во всем мире. Этот интерес обусловлен многими причинами и, прежде всего, их экологичностью.

Степень чужеродности человеческому организму синтетических красителей несравнима с природными аналогами. По химическому строению молекул большинство синтетических красителей существенно отличается от естественных биомолекул, из которых строится организм живых существ. Поэтому многие синтетические красители не удовлетворяют вышеперечисленным экологическим требованиям и даже оказывают патогенное воздействие на человеческий организм. Природные красители же по химическому строению близки к естественным биомолекулам человеческого организма.

Следует отметить, что природные красители представляют собой не индивидуальное вещество, а смесь природных веществ, часто обладающих биологической активностью, антисептическими, противомикробными свойствами. В связи с чем, текстильные материалы, окрашенные ими, будут устойчивы к микробиологической порче, а, возможно, будут обладать некоторыми защитными и лечебными свойствами.

Известен способ получения натуральных красителей из шелухи лука [12], при котором измельченное сырье экстрагируют лимонной кислотой, а затем охлажденный экстракт фильтруют и концентрируют под давлением в различных условиях. Для того чтобы улучшить эффективность, краситель получают путем поэтапной экстракции измельченной шелухи лука с использованием очищенных отходов молочного производства. В проведенных экспериментах видно, что при соотношении сырья к воде или раствору $1:10 \div 1:12$ и поэтапном добавлении очищенного отхода молочного производства, эффективность извлечения красителя возрастает (таблица 1).

Как видно из таблицы, оптимальным условием извлечения красителя является добавление очищенного отхода молочного производства в три этапа, при этом его соотношение с водой составляет на первом и втором этапах $1:9$, на третьем – $1:45$.

В ходе научных исследований в этой области также изучалась возможность окрашивания хлопчатобумажных тканей экстрактом луковой шелухи. Крашение образцов хлопчатобумажной ткани водным экстрактом луковой шелухи проводили периодически по разработанному технологическому режиму (гидромодуль $1:24$, температура $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, время крашения 30 минут). В качестве протрав были использованы соли алюминия и железа. Соли этих металлов были выбраны из-за их низкого уровня побочных эффектов. Для сравнения окраски

образцов, окрашенных с использованием протравы, использовали образец хлопчатобумажной ткани, окрашенный без использования протравы, в указанных технологических условиях, в присутствии нейтрального электролита (сульфата натрия). Таким образом, полученные данные подтверждают, что в зависимости от протрава образуются различные цвета. Цвета, полученные в ходе экспериментов, показаны на рис. 1.

Таблица 1

Условия извлечения природного красителя из шелухи лука

Опыт	Соотношение сырья к воде	Соотношение отхода молочного производства к воде	Температура, °C	Время перемешивания, мин			Соотношение сырья к раствору	Выход, %
				Первый этап	Второй этап	Третий этап		
1.	1:12	-	65-90	90	-	-	-	5,87
2.	1:10,4	1:24	65-85	80	-	-	1:10	4,99
3.	1:11,3	1:15,7	65-85	80	-	-	1:12	6,24
4.	1:10,8	1:9	65-85	80	-	-	1:12	7,2
5.	1:9,6	1:4	65-85	80	-	-	1:12	8,16
6.	1:10,8	1:45	65-85	45	35	-	1:12	9,58
7.	1:10,8	1:4,09	65-85	45	30	10	1:12	10,09
8.	1:10,8	1:4,09	65-85	45	35	-	1:12	8,4
9.	1:10,8	1:4,09	65-85	45	30	15	1:12	9,1

Как видно из полученных данных, при использовании солей железа перед окрашиванием получается серый цвет. При последующем использовании цвет становится светлым. Как правило, цвет, получаемый на хлопчатобумажной ткани, немного отличается при добавлении протрава до и после окрашивания. Следует отметить, что на характер образующихся окрасок влияет не только воздействие анионов соли, но и в определенной степени условия ее использования.

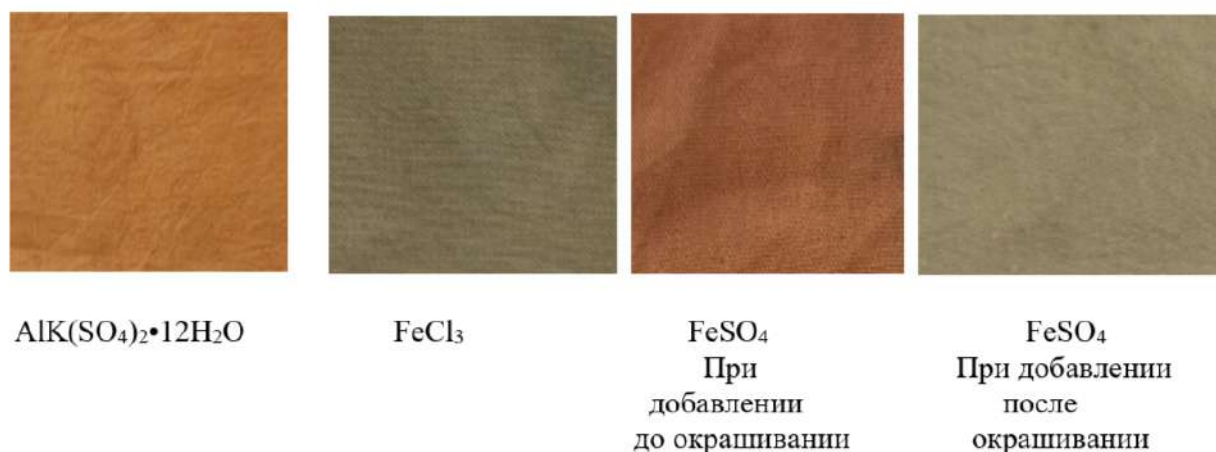


Рис. 1. Цвет выкрасок при использовании различных протрав

Также оценивается устойчивость цветов, получаемых при окрашивании текстильных материалов. Характеризуется устойчивостью цвета текстильного материала к истиранию, которая определяется степенью обесцвечивания окрашенных тканей после трения. Таким образом, устойчивость к трению определяется по степени окрашивания предварительно заданной белой ткани и оценивается по 5 уровням. Чем больше значение, тем лучше устойчивость к трению. В ходе научных исследований также определялась устойчивость к трению образцов хлопчатобумажной ткани, окрашенной красителем из луковой шелухи протравным способом. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

Устойчивость к трениям образцов хлопчатобумажной ткани, окрашенной красителем из шелухи лука

Краситель	Вид протрав	Устойчивость окраски в баллах	
		К сухому трению	К мокрому трению
Краситель, полученный из луковой шелухи	Сульфат железа	4/5	4/4

На основании проведенных научных исследований и полученных результатов можно утверждать, что разработанная технология крашения текстильных изделий натуральными красителями, полученными из луковой шелухи, имеет эколого-экономическую значимость.

Таким образом, для оценки эколого-экономической эффективности применения натуральных красителей для крашения текстильных материалов можно оценивать следующими показателями:

- экологичность – отсутствие выброса или минимизация вредных, токсичных веществ как в окружающей среде особенно в сточных водах, так и в производственных условиях;

- экономичность – применения натуральных красителей растительных происхождения в качестве красителей для крашения текстильных материалов, заменить импортируемых синтетических красителей;

- эффективность – надежность, стабильность, доступность, технологичность, качество крашения, материалоемкость.

Список литературы

1. Ashis Kumar Samanta, Priti Agarwal. Application of natural dyes on tetiles. // Indian Journal of Fibre & Textile Research. Vol. 34. - December 2009. - pp 384-399.
2. Padma S Vankar. Chemistry of natural dyes. // Resonance. October. - 2000. - pp 73 -80.
3. David A. Katz. Natural plant dyes. [Электронный ресурс] / . David A. Katz // Department of Chemistry, Pima Community College. Режим доступа: www.bbg.org.
4. S Gupta and D Gupta. Green concept: natural dyers // Asia Textile Apparel. -10 (Oct/Nov 1999). - 18 (3pp).
5. Ashis K. S., Adwaita K. Dyeing of Textiles with Natural Dyes [Электронный ресурс] / K. S Ashis, K. Adwaita // Natural Dyes - режим доступа: www.intechopen.com
6. Пармон Ф.М. Композиция костюма. / Ф.М. Пармон - М.: -Легпромбытиздат, 1997.-318 с.
7. P Khanna, E.M. Dedhia. Natural colour from ratanjot and eucalyptus leaves. // Colourage. - Oct 1999. - № 46. - Vol. 25. - 3 pp.
8. U.K. Nakagawa, M. Sugita. Spectroscopic characterisation of vegetable tannins // Soc. Leath. Technol. Chem. - 1999. -№ 83. - Vol. 261. - 4 pp.

9. S.D. Bhattacharya, A.K. Shah. Metalion effect of dyeing of wool fabric with cat-echu. // The Society of dyers and colourists. - January 2000. - Vol. 116. — pages 1-40.
10. Олимбойзада П.А. Разработке технологии крашения текстильных материа-лов натуральными красителями из растений Таджикистан. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Ду-шенбе, 2022, 21 с.
11. Шагина Н.А. Разработка экологичной технологии использования природ-ных красителей растительного происхождения в калорировании текстля. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата техни-ческих наук, М., 2015, 24 с.
12. Патент RU №2021310. Способ получения натурального красителя из ше-лухи лука / Новаторов Е.Ю. / опубл. 15.10.1994.

Экологические аспекты применения полимер-неорганических композитов на основе стеклянного волокна в строительной отрасли

Пентешин М. Ю.

Аспирант

Самарский государственный технический университет, г. Самара

Аннотация: в статье рассмотрены экологические аспекты применения стеклопластиков строительного назначения: проанализированы негативные факторы производства стекловолокна и полимерных матриц – термопластов и реактопластов; выполнен сравнительный анализ способов утилизации и рециклинга отходов стеклопластиков. В качестве перспективного решения проблемы экологической безопасности стеклопластиков предложено использование вторичного стекловолокна на примере продукции ПАО «КуйбышевАзот». На основе сравнительного анализа характеристик продукции из первичного и вторичного стекловолокна сделан вывод о технической реализуемости и экологической целесообразности применения вторичного стекловолокна в стеклопластиках строительного назначения.

Ключевые слова: стеклопластик, первичное и вторичное стекловолокно, токсичность, утилизация отходов, рециклинг, экологические и эксплуатационные характеристики, строительная отрасль

Стеклянное волокно, образуемое из расплава неорганического стекла и формируемое в нити методом экструзии, широко используется в качестве армирующего наполнителя в таких полимер-неорганических композитных материалах, как стеклопластики. Стеклопластики, ввиду своих уникальных физических, механических, термических, электроизоляционных и технологических свойств, нашли довольно перспективное применение в различных отраслях промышленности: судостроении, радиоэлектронике, строительстве, авиастроении [1-4]. Как показывает анализ статистических данных, наиболее распространённой сферой использования стеклопластиков является строительная отрасль [5]. Активное применение композитных материалов на основе стекловолокна неизбежно оказывает негативное влияние на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла: от производства сырья до утилизации отходов. Вышеизложенная проблема обуславливает актуальность исследования экологических аспектов применения стеклопластиков строительного назначения, сопровождаемого

поиском баланса между технической эффективностью материалов и минимизацией экологического ущерба.

Для решения обозначенной проблемы необходимо предварительно систематизировать данные о самом объекте исследования, поэтому далее будет рассмотрена классификация стекловолокна по типам стекла и виды стеклопластиков, широко используемых в строительной отрасли. Также стоит отметить, что важным условием для выработки технических решений по минимизации негативного влияния полимерсодержащих композитов на окружающую среду является физико-химическая диагностика свойств материалов [6, 7].

Эксплуатационные и экологические характеристики стеклопластиков напрямую зависят от типа стекла, используемого для производства стекловолокна. В таблице 1 представлены разновидности, а также химический состав и отличительные свойства стекла.

Таблица 1

Классификация стекла, используемого для производства стекловолокна

Тип-стекла	Химический состав стекла	Отличительные свойства стекла
Е	Al_2O_3 ; B_2O_3 ; SiO_2 (основа); щёлочи (Na_2O , K_2O) $\leq 1\%$	Высокие диэлектрические свойства
ВМП; ВМ-1	MgO ; Al_2O_3 ; SiO_2 (основа)	Высокая прочность и упругость
ВМД	MgO ; Al_2O_3 ; CaO ; SiO_2 (основа)	Высокая прочность
7А; С	CaO ; SiO_2 (основа); щёлочи (Na_2O , K_2O); добавки ZrO_2 или B_2O_3	Химическая стойкость
ЕК; 273А; А-2	Al_2O_3 ; CaO ; SiO_2 (основа); щёлочи (Na_2O , K_2O) $\leq 1\%$; добавки ZrO , TiO_2	Электроизоляционные свойства, химическая стойкость
ЩС	CaO ; SiO_2 (основа); щёлочи (Na_2O , K_2O); ZrO_2	Стойкость к воздействию щелочей
А	CaO ; SiO_2 (основа); щёлочи (Na_2O , K_2O)	Звуко-, тепло- и гидроизоляционные свойства
Д	B_2O_3 , SiO_2 (основа)	Низкие диэлектрические свойства

Основным стеклообразующим компонентом в производстве стекла является диоксид кремния (SiO_2), так же известный как кремнезём. Главным источником получения кремнезёма является природный кварцевый песок. Добыча кварцевого песка сопровождается нарушением ландшафта и почвенного слоя на территории карьера, пылевыми выбросами в процессе разработки карьера, выхлопными газами от карьерной техники, вибрационно-шумовым воздействием карьерного оборудования и техники, загрязнением поверхностных и подземных вод, изменению гидрологического режима водоёмов при добыче из водных месторождений.

В процессе производства стекла к кварцевому песку добавляют другие составляющие компоненты стекловолокна, перечисленные в таблице 1. Под действием высокотемпературного процесса плавления шихты в печах при температуре $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ при сжигании топлива печей выделяется большое количество диоксида углерода (CO_2). Накопление углекислого газа в атмосфере приводит к парниковому эффекту, глобальному потеплению, изменению климата, закислению океанов и нарушению природных экосистем [8, 9].

Немаловажным фактором негативного влияния диоксида кремния на безопасность здоровья человека является загрязнение атмосферного воздуха в форме мелкодисперсных взвешенных частиц кремнезёма [10]. Вдыхание человеком мельчайших кристаллических частиц кварца приводит к необратимой потере эластичности лёгких – силикозу, который прогрессирует даже после окончания воздействия пыли.

Стекло типа Е является наиболее распространённым материалом для производства стекловолокна [11-13]. В составе стекла типа Е присутствует такой компонент как оксид бора или борный ангидрид (B_2O_3), однако стекло типа Е может быть и безборным. Но именно борный ангидрид наделяет стекло уникальными достоинствами. Борный ангидрид получают посредством переработки борсодержащих руд, добыча которых сопровождается образованием пылевых выбросов, загрязнением почвы и гидросферы. Негативными факторами производства B_2O_3 являются: токсичность, загрязнение воздуха рабочей зоны и окружающей среды. Воздействие борной кислоты вызывает тяжёлые заболевания верхних дыхательных путей человека.

Однако наряду с типом стекловолокна ключевое влияние на эксплуатационные и экологические параметры стеклопластиков оказывает разновидность

полимерной матрицы, которая подразделяется на термопласты и реактопласты. В связи с этим далее целесообразно рассмотреть стеклопластики строительного назначения на основе указанных типов полимеров. На рис. 1 представлена классификация полимерных матриц, применяемых в стеклопластиках.

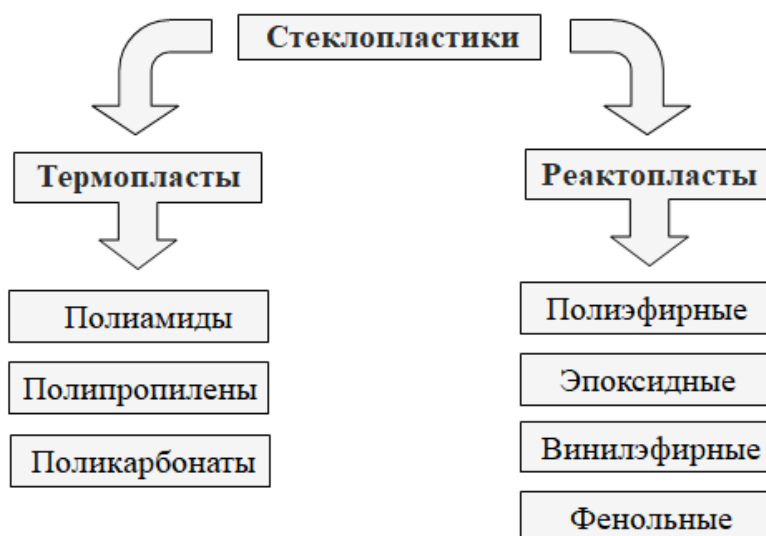


Рис. 1. Классификация полимерных матриц, применяемых в стеклопластиках

Обзор существующих предложений на российском рынке стеклонаполненного полиамида показал, что для производства стеклопластиков в основном используется полиамид-6. Его основным компонентом является капролактam ($C_6H_{11}NO$). При производстве капролактама образуется большое количество органических отходов, которые выбрасываются в атмосферу в виде оксидов азота [14]. Оксиды азота, соединяясь с парами воды в атмосфере, образуют азотную кислоту. Азотная кислота является одной из составляющих кислотных осадков, выпадение которых нарушает экосистемы водоёмов, почв и мира растений и животных. Современные производства капролактама стремятся минимизировать выбросы оксида азота, но проблема остаётся на устаревших производствах.

Основным компонентом полипропилена является пропилен C_3H_6 . Он относится к веществам 4-го класса опасности (малоопасные вещества). При производстве пропилена, аналогично капролактаму, в атмосферу выбрасываются оксиды азота.

Основными составляющими поликарбоната служат бисфенол А ($C_{15}H_{16}O_2$) и угольная кислота – фосген ($COCl_2$). Бисфенол А является потенциально

опасным и токсичным для окружающей среды и здоровья человека химическим веществом. Бисфенол А используется в том числе и в производстве стеклопластиков на основе эпоксидных смол. Бисфенол А относится к веществам 3-го класса опасности (умеренно опасные вещества). Опасность воздействия бисфенола А на человеческое здоровье проявляется в виде нарушения сердечнососудистой, эндокринной и репродуктивной систем, а также может провоцировать развитие онкологических заболеваний [15, 16]. Фосген относится к веществам 1-го класса опасности (чрезвычайно опасные вещества). Он очень токсичен и обладает удушающим действием, главным воздействием на лёгочную систему человека. Однако существует и промышленная альтернатива производства поликарбоната - бесфосгенная технология, основанная на получении материала методом поликонденсации бисфенола А и дифенилкарбоната [17].

Для реактопластичных матриц (полиэфирных, винилэфирных, эпоксидных и фенольных смол) характерно использование стирола, формальдегида, фенола, эпихлоргидрина, акриловой и метакриловой кислот. Все перечисленные компоненты высокотоксичны, некоторые из них (например, стирол, формальдегид и эпихлоргидрин) обладают канцерогенным и мутагенным действием.

Необходимо учитывать, что токсичный потенциал компонентов стеклопластиков сохраняется на всех этапах жизненного цикла изделия, поэтому на завершающей стадии цикла – утилизации отходов возникает целесообразность рассмотрения доступных методов переработки материалов и выявления наиболее эффективных способов утилизации композитов.

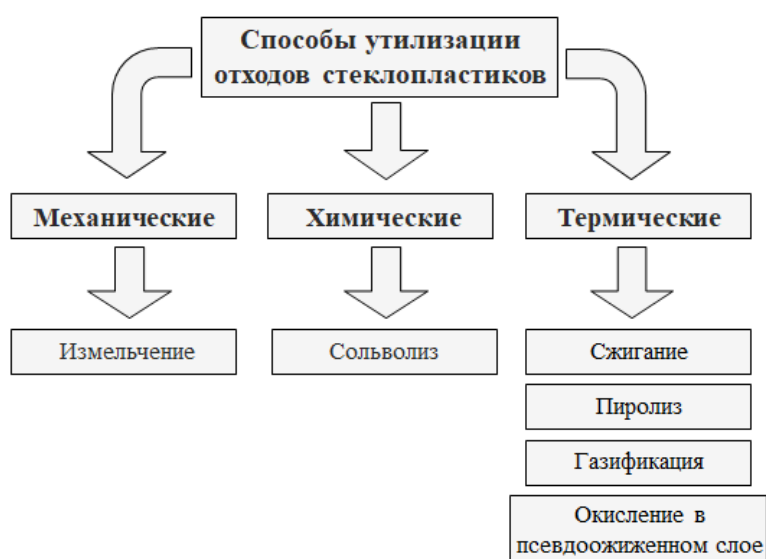


Рис. 2. Способы утилизации отходов стеклопластиков [17-21]

Способы утилизации отходов стеклопластиков, представленные на рис. 2, имеют разную эффективность и применимость в зависимости от типа полимерной матрицы –термопластичной или реактопластичной. Для термопластов наиболее подходящий способ утилизации –рециклинг помощью механического измельчения. Из измельчённого регранулята возможно получить вторичный компаунд методом повторного литья под давлением [22]. Для реактопластов данный способ рециклинга не является подходящим, так как результатом измельчения будет порошкообразный продукт со сшитой структурой, который не способен к формованию. Химический способ утилизации (сольволиз) применим преимущественно для реактопластов, обеспечивая деструкцию сетчатой структуры реактопласта до мономеров. Термические способы (сжигание, пиролиз, газификация, окисление в псевдоожиженном слое) применимы для обеих матриц, но при этом для термопластов они являются второстепенными, а для реактопластов – зачастую единственными. Термические способы сопровождаются главными недостатками – выделением токсичных газов и частичной потерей стекловолокна.

Перспективным подходом к решению проблем, связанных с экологической безопасностью стеклопластиков, является использование вторичного стекловолокна. Такой подход снижает потребность в первичном стекловолокне при производстве стеклопластиков. Примером промышленного характера использования вторичного стекловолокна выступает ПАО «КуйбышевАзот» (г. Тольятти). Предприятие выпускает стеклонаполненный полиамид-6 марок ВолгамидECO-G6A. PA6-GF30 и ВолгамидECO-G6B.PA6-GF30.Условное обозначение PA6-GF30 указывает состав и степень наполнения стекловолокном материала.

Важно учитывать, что при использовании вторичного стекловолокна, значительные потери эксплуатационных свойств изделия недопустимы. В этой связи целесообразно провести сравнительный анализ характеристик изделий из первичного стекловолокна и вторичного стекловолокна. В таблице 2 представлены характеристики стеклонаполненного полиамида-6 марок ВолгамидB1G6 (первичное стекловолокно) и ВолгамидECO-G6A (вторичное стекловолокно).

Из таблицы 2 следует, что замена первичного стекловолокна на вторичное в материале ВолгамидECO-G6A приводит к некоторому снижению прочностных характеристик: разрушающее напряжение при растяжении уменьшается на

16,7 % (с 180 до 150 МПа), ударная вязкость без надреза– на 27,8 % (с 90 до 65 кДж /м²). Тем не менее, полученные потери прочностных характеристик несущественны и являются вполне достаточными для большинства строительных изделий. При этом плотность, водопоглощение и усадка при литье сохраняются неизменными, а температура тепловой деформации снижается незначительно (на 10 °С).

Таблица 2

Характеристики стеклонаполненного полиамида-6 марок ВолгамидВ1G6 и ВолгамидЕСО-G6A производства ПАО «КуйбышевАзот»

Марка изделия	Волга-мидВ1G6	Волга-мидЕСО-G6A
Условное обозначение	РА6-GF30	РА6-GF30
Механические свойства		
Разрушающее напряжение, МПа	180	150
Относительное удлинение при разрыве, %	3,5	3,0
Прочность на изгиб, МПа	235	220
Модуль изгиба, МПа	8600	9000
Ударная вязкость по Шарпи (+23°С), кДж /м ²	90	65
Ударная вязкость по Шарпи с надрезом (+23°С), кДж/м ²	12	12
Термические свойства		
Температура плавления (10°С/мин), °С	220	220
Температура тепловой деформации под нагрузкой (1,80 МПа), °С	210	200
Электрические свойства		
Поверхностное удельное сопротивление, Ом	10 ¹⁴	10 ¹²
Физические свойства		
Плотность, кг/м ³	1350	1350
Водопоглощение, %	1,9	1,9
Усадка при литье под давлением, продольная/поперечная, %	0,3/0,9	0,3/0,9

В результате выполненного исследования экологических аспектов применения полимер-неорганических композитов на основе стекловолокна строительного назначения установлено следующее.

1. Производство стекловолокна и компонентов стеклопластиков сопровождается существенными негативными факторами воздействия на окружающую среду и здоровье людей.

2. Анализ способов утилизации позволил выявить специфику применения разных методов в зависимости от типа полимерной матрицы.

3. Продукция ПАО «КуйбышевАзот» из вторичного стекловолокна продемонстрировала в промышленном масштабе перспективное направление повышения экологической безопасности стеклопластиков с сохранением баланса между технической эффективностью материалов и минимизацией ущерба окружающей среде.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-69-00012

Список литературы

1. Власов, С.В. Обзор композиционных материалов, используемых в отечественном судостроении / С.В. Власов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2025. – № 1. – С. 28 – 36.
2. Перспективные интеллектуальные материалы для радиоэлектроники / В.А. Богуш, А.В. Гусинский, В.А. Карпович [и другие] // Доклады БГУИР. – 2023. – № 4. – С. 5 – 11.
3. Щепочкина, Ю.А. Использование стекловолокна в композитах строительного назначения / Ю.А. Щепочкина // Известия высших учебных заведений. – 2016. – № 6. – С. 56 – 58.
4. Курносов, А.О. Стеклопластики конструкционного назначения для авиастроения / А.О. Курносов, Д.А. Мельников, И.И. Соколов // Труды ВИАМ. – 2015. – № 8. – С. 57 – 61.
5. Коростин, А.С. Анализ применения композитных материалов строительной промышленности / А.С. Коростин // Известия Тульского государственного технического университета. – 2024. – № 12. – С. 232 – 234.

6. Васильев, А.В. Методы и подходы к исследованию экологических характеристик полимерсодержащих композитных материалов / А.В. Васильев // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: материалы Всероссийской научно-образовательной конференции с международным участием, 16-17 апреля 2025 г. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2025. – С. 799 – 805.
7. Васильев, А.В. Анализ существующих методов и разработка новых и модифицированных методик физико-химической диагностики полимернеорганических композитных материалов с учётом их экологических характеристик / А.В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2026. – Т. 28. – № 1. – С. 206 – 223.
8. Кузенкова, В. М. Анализ негативного воздействия эмиссии CO₂ на окружающую среду / В. М. Кузенкова, В. Ю. Немов// Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 2.– № 4. – С. 276 – 284.
9. Шаповалов, А. Б. К вопросу о роли диоксид углерода и его влиянии на биосферу / А. Б. Шаповалов // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – Т. 21.– № 3. – С. 78 – 85.
10. Соловьёва, С. Н. Научные основы оценки опасности субмикронных частиц аморфного диоксида кремния атмосферного воздуха для здоровья населения : специальность 3.2.1 «Гигиена» : автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата биологических наук / Соловьёва Светлана Николаевна ; Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана. – Москва, 2021. – 25 с.
11. Технологические и экологические аспекты производства непрерывного стекловолокна типа Е/ Ю. Г. Павлюкевич, Л. Ф. Папко, Н. Н. Гундилович [и другие] // Труды БГТУ.– 2017. – № 2. – С. 146 – 151.
12. Стекланные волокна: учебное пособие для студентов по специальности «Композиционные наноматериалы» / сост.: С. И. Гутников [и другие]. – М. : МГУ, 2010. – 53 с.
13. Бородулин, А.С. Свойства и особенности структур стекланных волокон, используемых для изготовления стеклопластиков / А.С. Бородулин // Материаловедение. – 2012. – № 7. – С. 34–37.

- 14.Понаморева, О. Н. Методы определения капролактама и олигомеров в водных средах / О. Н. Понаморева // Известия Тульского государственного университета. – 2017. – № 1. – С. 3 – 11.
- 15.Бисфенол А – ксеноэстроген как антропогенный фактор окружающей среды / А.С. Ефимушкина, В.С. Орлова, Д.Н. Маторин [и другие] // Естественные и технические науки. – 2025. – № 9. – С. 71 – 83.
- 16.Бисфенол А и болезни человека. Механизмы действия / Н. И. Дергачева, Е. Л. Паткин, И. О. Сучкова, Г. А. Софронов // Экологическая генетика. – 2019. – Т. 17. – № 3. – С. 87 – 98.
- 17.Некоторые особенности экологически безопасной «бесфосгенной» технологии производства поликарбонатов / Ф. Г. Минигулов, В. В. Пресняков, А. К. Шигабутдинов[и другие] // Пластические массы. – 2020. – № 5-6. – С. 45 – 47.
- 18.Федарович, Е. Г. Перспективные технологии утилизации отходов стеклопластика на основе термореактивного связующего (обзор) / Е. Г. Федарович // Труды БГТУ. – 2025. – № 2. – С. 87 – 101.
- 19.Петров, А. В. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) / А. В. Петров, М. С. Дориомедов, С. Ю. Скрипачев // Труды ВИАМ. – 2015. – № 8. – С. 62 – 73.
- 20.Федарович, Е. Г. Способ переработки отходов производства стеклопластиков / Е. Г. Федарович, А. Э. Левданский, А. А. Ковалева // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2025. – № 1. – С. 77 – 89.
- 21.KaruppannanGopalraj S.A review on the recycling of waste carbon fibre/glass fibre-reinforced composites: fibre recovery, properties and life-cycle analysis / S.Karuppannan Gopalraj, T. Kärki // SN Applied Sciences. – 2020. – V.2. – № 433. – P. 856 –868.
- 22.Pickering, S. J. Recycling technologies for thermoset composite materials – current status / S. J. Pickering// Composites Part A Applied Science and Manufacturing. – 2006. – № 37. – P. 1206 –1215.
- 23.Панов, Ю.Т. Современные методы переработки полимерных материалов: экструзия. Литье под давлением: учебное пособие / Ю.Т. Панов, Л.А. Чижова, Е.В. Ермолаева. – Владимир:ВлГУ. – 2013. – 127 с.

Отбор критерий для построения математической модели применения бентонитовых глин для влагоудержания в почве

Пулатова З. Ф.

Базовый докторант

Ташкентский химико-технологический институт, г. Ташкент

Пулатов Х. Л.

Профессор

Ташкентский химико-технологический институт, г. Ташкент

Сабилов Б. Т.

Профессор

Джизакский политехнический институт, г. Ташкент

Аннотация: одним из важных особенностей бентонитовых глин является их влагоудержание. Минерал монтмориллонит является основным породообразующим алюмосиликатным минералом бентонитовых глин, среднее содержание которого находится в диапазоне 60–70 %. Благодаря своей уникальной слоистой структуре, монтмориллонит может набухать по своему объему до 14–16 раз, причем цикл «набухания-высыхания» может происходить в неограниченном количестве. Авторами работы разработана математическая модель протекания механизма накопления влаги (воды) бентонитовой глиной, которая позволяет созданию технологии подготовки и способов ввода бентонитовой глины в почву с учетом особенностей и структуры бентонита и почвы, а также климатических и погодных условий

Ключевые слова: бентонитовая глина, минерал, монтмориллонит, структура, вода, почва, накопление, механизм, влажность, водоудержание, время, модель влагоудержания, коэффициент поглощения

Бентонитовые глины, состоящая в основном, из основного породообразующего минерала монтмориллонита, имеющая слоистую структуру, являются слоистыми алюмосиликатами. Благодаря своим специфическим свойствам такие, как высокая адсорбционная способность, ионный обмен, обменная ёмкость, высокая степень разбухания они используются в различных отраслях производства. Последнее время бентонитовые глины широко применяются в решении экологических проблем, включая очистки сточных вод, мелиорации и природопользования.

В работе изложены данные по построению математической модели накопления и отдачи воды бентонитом в почве с учетом химико-минералогического состава, структуры и физико-технических свойств основных крупных месторождений бентонитовых глин и богарным условиям Узбекистана. При построении данной математической модели накопления и отдачи воды бентонитом в почве применены методики построения стандартных кривой водоудерживания почвы типа van Genuchten, стандартных моделей водоудерживания бентонитов, полевых данные по внесению бентонита.

После внесения в слой почвы 7–10 см, бентонит работает как дополнительный внутренний резервуар воды. Суммарный запас воды в корнеобитаемом слое почвы состоит из воды, удерживаемой самой почвой; воды, накопленной бентонитом; потерь на испарение, транспирацию, сток и глубокую фильтрацию. В результате проведенных полевых исследований установлено, что бентонит увеличивает водоудерживающую способность и доступную воду в слое почвы по глубине 0÷40 см [1]. В данном случае основными исходными переменными критериями для расчета являются: время, глубина корнеобитаемого слоя, глубина слоя внесения бентонита, объёмная влажность почвы, запас воды, связанный бентонитом, атмосферные осадки, инфильтрация в слой и др.

Базовое уравнение водного баланса для корнеобитаемого слоя имеет следующий вид:

$$W(t) = 1000z_r\theta(t), \quad (1)$$

где, $W(t)$ - запас воды в почве, мм.

В таком случае:

$$\frac{dW}{dt} = I(t) - E(t) - D(t) - R(t) + Q_b(t), \quad (2)$$

где, $Q_b(t)$ — поток воды из бентонита в почву.

В случае $Q_b > 0$ - бентонит отдаёт воду, а если $Q_b < 0$ – поглощает воду.

Представленная математическая формула выражает суть механизма протекания цикличности двухстороннего обратимого процесса «набухание водой – дегидратация (отдача воды)» бентонитом. На практике, согласно по данной формуле, бентонит зимой и весной впитывает воду, а летом частично отдает воду [2].

При этом запас воды в структуре бентонита зависит как водного резервуара от объема её ёмкости. Ёмкость бентонитового резервуара выражена по следующей формулой:

$$0 \leq S_b \leq S_{b,max} \quad (3)$$

В этом случае соотношение изменения объема воды:

$$\frac{dS_b}{dt} = A(t) - L(t), \quad (4)$$

где $A(t)$ — поглощение воды бентонитом, $L(t)$ — отдача воды из бентонита в почву и растениям.

Поглощение воды выражается по нижеследующей формуле:

$$A(t) = k_a I_b(t) \left(1 - \frac{S_b}{S_{b,max}} \right), \quad (5)$$

где k_a — коэффициент поглощения, 0–1; $I_b(t)$ — часть инфильтрации, реально дошедшая до слоя с гранулами.

Следует отметить, что чем больше свободная ёмкость в структуре частицы бентонита, тем быстрее они накапливают (впитывают) воду. А показатель водоотдачи бентонита выражается по следующей формуле:

$$L(t) = k_r f_d(\theta) S_b, \quad (6)$$

где k_r — коэффициент отдачи, сут^{-1} ; $f_d(\theta)$ определяется по следующей формуле:

$$f_d(\theta) = \max \left(0, \frac{\theta_c - \theta}{\theta_c - \theta_{wp}} \right), \quad (7)$$

где θ_c — точка, ниже которой начинается процесс активной отдачи воды; θ_{wp} — влажность почвы.

Скорость водоотдачи бентонита зависит от влажности почвы, то есть, когда почва влажная, бентонит почти не отдаёт воду. Когда почва подсыхает, отдача возрастает. В таком случае математический вид данного процесса приобретает следующую формулу:

$$Q_b(t) = L(t) - A(t) \quad (8)$$

Максимальный запас воды в бентоните, рассчитанный на 1 га площади земли? можно задать через дозу внесения:

$$S_{b,max} = D_b * \omega_{max}, \quad (9)$$

где D_b — доза бентонита, кг/м², ω_{max} — максимальное водопоглощение, кг воды/кг сухого бентонита.

Для перевода из т/га можно использовать следующую формулу:

$$D_b = \frac{\text{доза, } \frac{\text{т}}{\text{га}} * 1000}{10000} \quad (10)$$

Например, при внесении бентонита в почву в количестве 24 т/га, то на 1 м² расход бентонита составляет 2,4 кг/м²:

$$D_b = \frac{24 * 1000}{10000} = 2,4 \text{ кг/м}^2 \quad (11)$$

Установлено, что именно при внесении бентонита в почву в количестве 24 т/га является оптимальным значением, установленных при проведении полевых опытов в полузасушливых условиях. Также установлено, что гранулы удерживают 0,8 кг воды на 1 кг сухого материала, тогда:

$$S_{b,max} = 2,4 * 0,8 = 1,92 \text{ кг/м}^2 \approx 1,92 \text{ мм}$$

Если удержание воды бентонитом составляет 2–3 кг/кг, ёмкость бентонита повышается до уже 4,8–7,2 мм. Это не постоянное справочное число для каждого конкретного бентонита, а расчётное число, который определяются экспериментальным путем в зависимости от химико-минералогического состава и структуры отдельно для бентонита из каждого месторождения [5].

Как известно, основной плодородный слой почвы в засушливых землях находится на самой верхней части.

Для слоя толщиной z_b массовая доля внесения бентонита составляет:

$$\beta = \frac{M_b}{M_s}, \quad (12)$$

где, M_b – доза бентонита, кг/га

$$M_s = 10^4 \cdot z_b \cdot \rho_b$$

здесь ρ_b — плотность сложения почвы, кг/м³.

Пример: При $z_b=0,10$ м и $\rho_b=1300$ кг/м³, $M_s=10^4 \cdot 0,10 \cdot 1300=1,3 \times 10^6$ кг/га.

При внесении в почву бентонита в количестве 24 т/га:

$$\beta = \frac{24000}{1,3 \cdot 10^6} \approx 0,0185, \quad (13)$$

то есть около 1,5 % по массе почвы в слое 0÷10 см будет составлять бентонит.

В условиях Центральной Азии, в частности для Узбекистана, где наблюдается резко континентальный климат - тип климата умеренных широт, свойственный внутренним областям материков (Евразия, Северная Америка), удаленным от океанов, с экстремальными перепадами температур: очень холодной и продолжительной зимой и теплым, коротким летом, а также малым количеством осадков, расчет необходимой влаги для богарной пшеницы можно сделать простой сезонный расчёт по фазам [6].

В осенне-зимний период накопления влаги:

$$S_b^{spring} = \min (S_{b,max}, \sum A_t - \sum L_t) \quad (14)$$

Во время весенне-летнего периода расходования влаги:

$$S_b^{summer} = S_b^{spring} - \sum L_t \quad (15)$$

Дополнительная вода (влага), полученная культурой:

$$\Delta W_{crop} = \eta \sum L_t \quad (16)$$

Прибавка урожая:

$$\Delta Y = k_y \Delta W_{crop}, \quad (17)$$

где, k_y — коэффициент водоотдачи урожая, кг зерна/мм.

Для проведения реальных полевых опытов в условиях Узбекистана следует рекомендации оценить следующие экспериментальные параметры в 3 этапа.

В первом этапе, в лабораторных условиях определить максимальное водопоглощение (w_{max}), скорость набухания (k_a), скорость отдачи при подсыхании (k_r) бентонитовых гранул

На втором этапе следует оценить реальную долю осадков, попадающих в слой бентонитовых гранул, как меняется влажность почвы по глубине в 0÷10, 10÷20, 20÷40 см, скорость заряжения/разряжения (поглощения/отдачи) влагой бентонитовых гранул.

В заключительном третьем этапе подогнать математическую модель по сезонной динамике изменения влажности почвы, запасу продуктивной влаги; повышения урожайности и улучшения некоторых важных качественных характеристик урожая.

Для минимализации получения параметров при составлении математической модели можно ограничиться следующими параметрами:

$S_{b, max}$ - максимальный запас воды бентонита, мм

k_a - скорость поглощения влаги

k_r - скорость отдачи влаги

θ_c - порог влажности начала активной отдачи

η - доля доступной растениям воды

β - массовая доля бентонита в слое почвы

Тогда модель будет иметь следующее выражение:

$$\frac{dW}{dt} = I - ET - D - R + L - A \quad (18)$$

$$A = k_a I_b \left(1 - \frac{S_b}{S_{b, max}}\right) \quad (19)$$

$$L = k_r \max \left(0, \frac{\theta_c - \theta}{\theta_c - \theta_{\omega p}}\right) S_b \quad (20)$$

$$\frac{dS_b}{dt} = A - L \quad (21)$$

Приведенные выше математические уравнения являются достаточным для построения предварительной концептуальной модели и получения экспериментальных данных по применению бентонита как влагоудерживающего

и влагонакопительного элемента в структуре почвы в засушливых площадях богорных земель Узбекистана.

Список литературы

1. Mi J., Gregorich E., Xu S., McLaughlin N., & Liu, J. (2022). Effect of bentonite as a soil amendment on field water-holding capacity, millet photosynthesis and grain quality. *Scientific Reports*, 12, 13332. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17297-5>.
2. Zhou L., Monreal C. M., Xu S., McLaughlin N. B., Zhang H., Hao G., & Liu J. (2019). Effect of bentonite–humic acid application on soil properties and maize yield in a sandy soil of a semi-arid region.// *Geoderma*, 338, 269–280. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.014>
3. Zhang, H., Chen W., Zhao B., Phillips L. A., Zhou Y., Lapen D. R., & Liu, J. (2020). Sandy soils amended with bentonite induced changes in soil microbial communities and soil structure// *Applied Soil Ecology*, 146, 103378. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103378>
4. Murray H. H. (2007). *Applied clay mineralogy: Occurrences, processing and application of kaolins, bentonites, palygorskite–sepiolite, and common clays*. Elsevier.
5. Мухторова Н.Б., Шарипова У.И., Шохакимова А.А., Умиров У.Ф., Пулатов Х.Л., Сабиров Б.Т., Миралимова А.И. Исследование процесса сорбции ионов комплексных соединений хрома, цинка, никеля и кобальта, содержащихся в составе сточных вод бентонитовой глиной // *Journal of Modern Educational Achievements (JMEA)*, 2023, Volume 12, p.228-238. <https://scopusacademia.org/index.php/jmea/article/view/617/611>
6. Mukhtorova N.B., Aliev B.A., Pulatov Kh.L., Sabirov B.T., Umirov U.F. Researching of the processes of purification of wastewater in textile production with bentonite adsorbents// *Science and Innovation International Scientific Journal*, V.2, Issue 9, September, 2023. -P.123-129. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8386901>

Оценка воздействия производства сложных эфиров целлюлозы на окружающую среду

Романова С. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Бурганов А. И.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: В статье рассматриваются экологические аспекты производства сложных эфиров целлюлозы – одного из наиболее востребованных классов производных целлюлозы, широко применяемых в химической, фармацевтической и текстильной промышленности. Анализируются основные стадии технологического процесса – подготовка целлюлозного сырья, этерификация, осаждение и отмывка продукта – с точки зрения их воздействия на компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, водные объекты и почву. Рассматриваются характеристики основных загрязняющих веществ, образующихся в ходе производства, включая органические растворители, кислотные отходы и летучие органические соединения. Особое внимание уделяется анализу существующих методов оценки экологической нагрузки, применяемых в химической промышленности, а также их применимости к производствам на основе целлюлозы. В статье также рассматриваются подходы к снижению негативного воздействия на окружающую среду, в том числе принципы «зелёной химии» и возможности замкнутого цикла обращения с растворителями. Материал систематизирует актуальные теоретические сведения в данной области и может служить основой для разработки экологически ориентированных технологических решений в производстве эфиров целлюлозы.

Ключевые слова: оценка воздействия, нитроцеллюлоза, охрана окружающей среды, промышленность, химические отходы, загрязнение

Сложные эфиры целлюлозы представляют собой один из наиболее значимых классов химически модифицированных полимеров, получаемых на основе возобновляемого растительного сырья. Промышленное производство этих соединений насчитывает более полутора веков: первый ацетат целлюлозы был синтезирован ещё в 1865 году Полом Шютценбергером, а нитрат целлюлозы (коллоксилин) вошёл в широкое применение ещё раньше – в середине XIX века. Сегодня сложные эфиры целлюлозы – целлюлозы ацетат (ЦА), целлюлозы ацетобутират (ЦАБ), целлюлозы ацетопропионат (ЦАП), целлюлозы нитрат (ЦН)

и ряд других – находят применение в производстве плёнок, мембран, лаков, фармацевтических оболочек, текстильных волокон, а также в аддитивных технологиях. Объём мирового рынка только ацетата целлюлозы превышает 900 тысяч тонн в год, причём основная его доля приходится на производство ацетатного волокна для сигаретных фильтров и текстиля [1].

Целлюлоза как исходный субстрат представляет собой линейный полисахарид, построенный из остатков β -D-глюкопиранозы, соединённых гликозидными связями [1–4]. Каждое звено глюкозы содержит три свободные гидроксильные группы (при атомах углерода C_2 , C_3 и C_6), что обуславливает возможность этерификации. Степень замещения (DS) варьируется от 0 до 3 и является ключевым параметром, определяющим физико-химические свойства продукта. Так, триацетат целлюлозы ($DS \approx 2,8-3,0$) обладает высокой термической стабильностью и применяется для изготовления оптических плёнок, тогда как диацетат ($DS \approx 2,4-2,5$) хорошо растворим в ацетоне и используется для формирования волокон.

По химической природе ацилирующего агента различают: органические эфиры (ацетаты, пропионаты, бутираты, смешанные эфиры типа ЦАБ и ЦАП), неорганические эфиры (нитраты, сульфаты, фосфаты), а также смешанные производные. С точки зрения экологии каждый тип эфира характеризуется специфическим набором используемых реагентов и, соответственно, специфическим профилем экологического воздействия. Нитрат целлюлозы производится с применением нитрующей смеси (концентрированная азотная и серная кислоты), что порождает значительные объёмы кислотных сточных вод и оксидов азота.

В качестве исходного сырья используется облагороженная целлюлоза (растворимая целлюлоза, *dissolving pulp*) с содержанием α -целлюлозы не менее 96–98 %. Её получают из древесины (как правило, хвойных пород) или хлопкового линта методами сульфитной или предгидролизной крафт-варки. Стадия получения растворимой целлюлозы сама по себе является экологически нагруженным процессом: варочные щёлочи содержат лигносульфонаты, органические кислоты, соединения серы (SO_2 , H_2S , меркаптаны). Выброс восстановленных соединений серы (TRS — *total reduced sulphur*) является характерной проблемой сульфитных целлюлозных производств.

Серная кислота, используемая как катализатор в концентрации 3–8 % от массы целлюлозы, частично сульфатирует полимер, образуя сульфатные

эфирные группы, которые впоследствии гидролизуются на стадии омыления. Серная кислота в сточных водах является одним из ключевых показателей загрязнения на этой стадии; её концентрация в нейтрализованных стоках должна контролироваться и не превышать нормируемых значений по показателю pH и сульфат-иону. Полученный триацетат целлюлозы подвергается частичному гидролизу (омылению) водным раствором уксусной кислоты в присутствии следовых количеств серной кислоты для достижения требуемой степени замещения. Реакция ведётся при температурах 50–80 °С. На этой стадии образуется значительное количество водно-уксусных растворов, которые направляются на регенерацию уксусной кислоты методом ректификации. Остаточная концентрация уксусной кислоты в сточных водах после регенерации обычно составляет 0,5–2,0 %, что требует дополнительной очистки перед сбросом. ХПК (химическое потребление кислорода) таких стоков может достигать 10 000–30 000 мг/л, что значительно превышает нормативы для сброса в водные объекты. Раствор ацетата целлюлозы разбавляется водой или разбавленной уксусной кислотой, что вызывает осаждение полимера в виде волокнистых хлопьев. Промывные воды содержат остаточные количества уксусной кислоты, сульфат-ионов и следы мономерных продуктов деструкции целлюлозы (глюкоза, олигосахариды). По данным ряда технологических исследований, суммарный объём промывных вод на этой стадии составляет 15–25 м³ на тонну готового продукта, что формирует существенную нагрузку на очистные сооружения предприятия [4].

Атмосферные выбросы производства сложных эфиров целлюлозы включают как организованные (через вентиляционные трубы и технологические дымовые трубы), так и неорганизованные (фугитивные) источники. Основными загрязняющими веществами являются летучие органические соединения, в первую очередь уксусная кислота, уксусный ангидрид, ацетон (при использовании ацетонового метода формования), а в случае производства нитрата целлюлозы — оксиды азота (NO_x) и летучие нитросоединения.

Особую экологическую проблему представляет производство нитрата целлюлозы, при котором образуются значительные количества диоксида азота (NO₂), являющегося прекурсором образования тропосферного озона и фотохимического смога. Технологический процесс нитрования сопровождается выделением так называемых «нитрозных газов» — смеси NO, NO₂ и N₂O₅. Содержание NO_x в отходящих газах нитраторов без очистки может составлять 2000–

5000 мг/м³, что многократно превышает допустимые нормы. Для улавливания нитрозных газов применяются системы абсорбции водой с получением азотной кислоты или щёлочью с получением нитратов щелочных металлов; КПД таких систем при правильной эксплуатации достигает 95–98 % [5].

Главным показателем загрязнения производственных стоков является высокое значение БПК₅ (биологическое потребление кислорода за 5 суток) и ХПК, обусловленное присутствием уксусной кислоты и её производных. Уксусная кислота сама по себе является легкобиоразлагаемым соединением с высокой БПК: теоретическое значение ТБПК_{полн} для уксусной кислоты составляет около 1070 мгО мг/л. Это означает, что поступление даже относительно небольших количеств уксусной кислоты в водоёмы способно вызвать резкое снижение концентрации растворённого кислорода и привести к угнетению аэробных водных организмов.

Другой серьёзной проблемой является кислотность производственных сточных вод, обусловленная присутствием остаточной серной кислоты. Сброс кислых стоков в водные объекты без нейтрализации не только нарушает карбонатное равновесие природных вод, но и способствует растворению и мобилизации тяжёлых металлов из донных отложений. В соответствии с российскими нормативными требованиями (СанПиН 2.1.3684-21 и нормативами на сброс в системы водоотведения), pH сбрасываемых производственных сточных вод должен находиться в диапазоне 6,5–8,5.

При производстве нитрата целлюлозы кислотные сточные воды дополнительно содержат нитрат-ионы (NO₃)⁻ и нитрит-ионы (NO₂)⁻. Нитраты в высоких концентрациях вызывают эвтрофикацию водоёмов, стимулируя чрезмерное развитие водорослей и нарушая кислородный режим экосистем. Нитриты значительно более токсичны: ПДК нитрит-иона для водных объектов рыбохозяйственного значения составляет 0,08 мг/л. Отработанные кислотные смеси, содержащие смесь серной и азотной кислот, подлежат регенерации в системе рекуперации нитрующей смеси, которая является обязательным элементом современных производств нитрата целлюлозы.

Твёрдые и жидкие отходы производства сложных эфиров целлюлозы представляют потенциальную угрозу загрязнения почв и подземных вод. К основным видам отходов относятся: отработанные катализаторы и адсорбенты, кубовые остатки ректификационных колонн регенерации уксусной кислоты,

гипсовые шламы от нейтрализации кислых стоков, а также шламы биологических очистных сооружений.

Гипсовые шламы, образующиеся при нейтрализации серно-кислых стоков известью или известняком, могут накапливаться в значительных объёмах. По составу они представляют собой смесь $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 и органических включений. Данный вид отходов, как правило, относится к IV классу опасности (малоопасные) и может направляться на полигоны промышленных отходов. В ряде случаев возможна его переработка в строительный гипс, однако органические примеси существенно ограничивают эту возможность. Особую экологическую озабоченность вызывает обращение со сточными водами производства нитрата целлюлозы, содержащими остатки нитроэфиров. Даже в малых концентрациях органические нитраты обладают высокой токсичностью для водных организмов и могут оказывать мутагенное воздействие. Утечки технологических жидкостей при аварийных ситуациях способны привести к загрязнению почвенного покрова нитросоединениями, которые отличаются относительно высокой миграционной способностью и длительным периодом сохранения в почвенных горизонтах.

Для количественной и качественной оценки воздействия производства сложных эфиров целлюлозы на окружающую среду применяется ряд методологических подходов, разработанных как в рамках международной стандартизации, так и в рамках отраслевого регулирования.

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ, Life Cycle Assessment, LCA) является наиболее комплексным инструментом экологической оценки, стандартизированным в ISO 14040 и ISO 14044. Применительно к производству ацетата целлюлозы ОЖЦ-исследования позволяют охватить весь производственный цикл — от заготовки сырья до утилизации продукта, количественно оценивая вклад каждой стадии в изменение климата (через выбросы парниковых газов в эквиваленте CO_2), эвтрофикацию водоёмов, подкисление среды, расход первичной энергии и другие категории воздействия. Исследования, проведённые рядом европейских групп (в частности, работы Boustead Consulting & Associates по заказу Chemical Fibres of Europe), показали, что наибольший вклад в категорию «изменение климата» для ацетатного волокна вносят стадии производства уксусного ангидрида (около 40–50 % совокупных выбросов CO_2 -экв) и получения растворимой целлюлозы (20–30 %).

Параллельно с LCA в промышленной практике широко используется нормирование выбросов и сбросов на основе принципа НДТ (наилучших доступных технологий). В России этот механизм реализован через систему информационно-технических справочников (ИТС НДТ), разработанных Росстандартом совместно с Минпромторгом. Для химической промышленности релевантными являются ИТС 33-2017 «Производство прочих основных органических химических веществ» и смежные документы [3]. В Европейском союзе аналогичную роль выполняют документы BREF, в которых для каждой стадии производства устанавливаются диапазоны выбросов и сбросов, достижимые при применении НДТ.

Снижение экологического воздействия производства эфиров целлюлозы достигается комплексом технологических, инженерных и организационных мер, концептуально объединяемых под понятием «зелёной химии» (Green Chemistry), предложенным Полом Анастасом и Джоном Уорнером в 1998 году. Из 12 принципов «зелёной химии» наибольшее значение для данной отрасли имеют принципы атомной экономии, предотвращения отходов, использования возобновляемого сырья и разработки менее опасных синтезов.

Одним из наиболее перспективных направлений является разработка каталитических систем ацетилирования, позволяющих заменить серную кислоту менее агрессивными и более легко регенерируемыми катализаторами. В литературе описаны системы на основе перхлорной кислоты, сульфоновых кислот, ионообменных смол и металлоорганических комплексов. Применение твёрдых кислотных катализаторов (например, на основе цеолитов или сульфатированных оксидов циркония) теоретически позволяет отказаться от образования сернокислых сточных вод, хотя в промышленном масштабе такие подходы пока находятся на стадии опытно-промышленной апробации. В контексте управления сточными водами перспективной является технология мембранного разделения (нанофильтрация, обратный осмос), позволяющая концентрировать растворённые органические вещества из разбавленных промывных вод без их термического испарения. Это даёт возможность направлять концентрат на рекуперацию или термическое обезвреживание, существенно снижая ХПК сбрасываемых стоков [2]. Опыт европейских предприятий показывает, что применение мембранных технологий позволяет сократить ХПК очищенных вод в водные объекты на 60–80 %.

Перспективным направлением является также переход к использованию ионных жидкостей и эвтектических растворителей (Deep Eutectic Solvents, DES) в качестве реакционной среды для этерификации целлюлозы. Ионные жидкости на основе имидазолия (например, 1-бутил-3-метилимидазолий хлорид, [Bmim]Cl) обладают пренебрежимо малым давлением насыщенных паров, что исключает их потери через испарение. Растворимость целлюлозы в некоторых ионных жидкостях достигает 10–25 %, что открывает возможности для гомогенного ацетилирования с более высокой степенью контроля DS и меньшим расходом ацилирующего агента. Вместе с тем вопросы рекуперации, стоимости и биоразлагаемости ионных жидкостей пока ограничивают их промышленное применение.

Производство сложных эфиров целлюлозы представляет собой технологически сложный и экологически многоаспектный процесс, воздействие которого на окружающую среду обусловлено рядом факторов: типом производимого эфира, применяемыми реагентами и растворителями, степенью внедрения технологий рекуперации и очистки, а также общим уровнем экологического менеджмента предприятия. Атмосферные выбросы локальных очистных сооружений и кислотных газов, высоконагруженные органическими веществами сточные воды, а также специфические твёрдые отходы – таковы основные экологические проблемы данной отрасли.

Теоретический анализ показывает, что наиболее перспективными направлениями снижения экологической нагрузки являются: переход к каталитическим системам в синтезе нитратов целлюлозы, развитие технологий рекуперации растворителей, внедрение эффективных методов очистки сточных вод, а также системная реализация подходов в оценке жизненного цикла (ОЖЦ) для идентификации «горячих точек» воздействия на каждой стадии производственного цикла. Кроме того, необходимо внедрять безопасные, экологически безвредные способы утилизации опасных отходов производств нитратов целлюлозы.

Список литературы

1. Казицин С.Н. Исследование процесса получения ацетата целлюлозы из механоактивированных частиц березы / С.Н. Казицин, Д.В. Василишин, А.В. Шишмарева, Д.Д. Добрынкина, В.Д. Ворончихин // Хвойные

бореальной зоны. — 2024. — № 2. — С. 73–79. DOI: 10.53374/1993-0135-2024-2-73-79.

2. Романова М.А. Обезвреживание осадков технологических сточных вод производства нитратов целлюлозы / М.А. Романова, З.Т. Валишина, Р.А. Ибрагимов, А.В. Косточко // Вестник Казанского технологического университета. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obezvrezhivanie-osadkov-tehnologicheskikh-stochnyh-vod-proizvodstva-nitratov-tsellyulozy-soobschenie-1>.
3. Бытенский В.Я. Производство эфиров целлюлозы / В.Я. Бытенский, Е.П. Кузнецова. — Л.: Химия, 1974. — 208 с.
4. Мамажанов Г.О. Получение и исследование ацетата целлюлозы из хлопкового линта / Г.О. Мамажанов [и др.] // Universum: технические науки. — 2019. — № 10 (67). — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/7960>.
5. Гиндич В.И. Технология пироксилиновых порохов. Т. 1. Производство нитратов целлюлозы и регенерация кислот / В.И. Гиндич; под общ. ред. А.Г. Корсакова. — Казань, 1995. — 554 с.

Пути снижения экологической нагрузки при производстве азотнокислых эфиров целлюлозы

Романова С. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Мадякина А.М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Федорова А. С.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Сафин Р. М.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: предложен химический метод утилизации твердых отходов производства азотнокислых эфиров целлюлозы с получением продуктов гражданского назначения. Выявлены преимущественные направления реакции.

Ключевые слова: нитрат целлюлозы, сульфобисимидазол, замещение нитратных групп, химическая модификация, утилизация

Серьезную экологическую проблему в сфере производства энергонасыщенных материалов создают некондиционные отходы, а также морально устаревшие боеприпасы. В процессе их длительного хранения изменяются физико-химические свойства высокоэнергетических веществ, входящих в состав снаряжения. Технологии утилизации таких материалов должны обеспечивать экологическую безопасность и предусматривать возможность их вовлечения в хозяйственный оборот. В частности, азотнокислый эфир целлюлозы, являющийся основным компонентом пироксилиновых порохов, может быть регенерирован и повторно использован при производстве продукции гражданского назначения [1–2].

В настоящей работе изучается возможность модификации НЦ сульфобисимидазолом $C_6H_6S_2N_4O_6$. Работа является продолжением направлений

исследований в области химической модификации азотнокислых эфиров целлюлозы для получения продуктов, используемых в гражданских целях, например, основы для лаков [3-7]. Так как производные имидазолов обладают биологическими активными свойствами, можем предположить о придании подобных свойств продуктам на основе нитратов целлюлозы [8].

Целью настоящих исследований являлось исследование химического взаимодействия высокоазотного нитрата целлюлозы с сульфобисимидазолом, который является реагентом для синтеза новых продуктов.

В качестве исходного полимера для модификации использовали НЦ с эмпирической формулой $C_6H_7O_2(OH)_{0,46}(ONO_2)_{2,54}$ (содержание азота $N=12,87\%$).

Химическое превращение НЦ осуществлялось в гомогенной среде, в растворе диметилсульфоксида, который хорошо растворяет оба исходных компонента и не вступает с ними в химическое взаимодействие. Реакция проводилась в соотношении 1 моль сульфобисимидазола на каждую нитратную группу по схеме, при различных температурах (60 и 70 °С) и времени выдержки (2, 4 часа).

В результате реакции выделены твердые продукты, которые промывали большим количеством воды и далее высушивали на воздухе до постоянной массы. Твердые полимерные продукты, полученные в этом процессе, в виде мелкодисперсного порошка светло-серого цвета характеризуются хорошей растворимостью в неполярных протонных растворителях (ДМСО, ацетоне и др.) и нерастворимостью в полярных протонных растворителях (вода, этанол).

Для установления молекулярной структуры и изучения свойств полученных продуктов применяли методы: элементный анализ, ИК- и ЯМР ^1H - спектроскопия, вискозиметрический анализ.

По результатам данных элементного анализа установлено, что сера в полученных продуктах отсутствует.

В ИК – спектрах конечных продуктов наблюдаются полосы поглощения, принадлежащие нитрату целлюлозы, а также полосы поглощения, характерные для кольца бисимидазола 1634, 1654 cm^{-1} , соответствующие валентным колебаниям ($C=N$).

На основании анализа результатов ИК-спектроскопии можно сделать вывод, что происходит изменение строения полимера, поскольку спектры полученных продуктов содержат функциональные группы, характерные не только для валентных и деформационных колебаний связей исходного НЦ, но и для

бисимидазола, что свидетельствует о протекании реакции и введении в структуру полимера фрагментов модифицирующего агента.

Спектры ЯМР ^1H полученного полимера имеют сигналы (м. д.): 5,85 (^3H); 5,13 и 5,06 ($^{2,4}\text{H}$), 4,43-4,73 (^6H); 4,03 и 4,16 ($^{1,5}\text{H}$), соответствующие протонам глюкопиранозного кольца нитрата целлюлозы; 3,81 – протонам гидроксильных групп; 5,63 – протонам NH группы; 5,29 и 5,47 – протонам при кратной связи $\text{HC}=\text{C}$; 9,41 – сигнал, соответствующий протонам карбонильной функции в результате раскрытия цикла глюкопиранозы $\text{HC}=\text{O}$. Наличие последних сигналов в спектрах продуктов свидетельствует о присутствии в их структурах фрагментов модифицирующего агента.

Данные вискозиметрического анализа показали, что вязкость растворов полученных продуктов снижается по сравнению с исходным нитратом. Чем больше время выдержки и температура, тем ниже вязкость ацетоновых растворов модификатов. Следовательно, можно сделать вывод о частичной деполимеризации цепи макромолекул полимера, при которой происходит разрыв β -гликозидной связи.

При взаимодействии $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_{0,46}(\text{ONO}_2)_{2,54}$ с сульфобисимидазолом при температуре 60-70°C происходило уменьшение содержания нитратных групп в полимере, и их частичное замещение на гетероатомные кольца бисимидазола. Степень замещения нитратных групп в полимере уменьшалась с увеличением времени выдержки и температуры реакции, а степень замещения на фрагменты бисимидазола увеличивалась.

Выход полученного полимера уменьшается в зависимости от времени и температуры выдержки.

Полученные в ходе исследования данные показывают, что в среде диметилсульфоксида между высокоазотным нитратом целлюлозы и сульфобисимидазолом происходит химическая реакция, которая характеризуется несколькими процессами, включая замещение функциональных групп НЦ на бисимидазол, частичный гидролиз нитратных групп, разрыв β -гликозидных связей с присоединением бисимидазольных колец к концам полимерной цепи, и деполимеризацию цепи нитроцеллюлозы.

Из проведенных исследований можно сделать вывод, что полученные полимеры имеют структуру, отличную от исходного НЦ, содержащую меньшее

количество нитратных групп в элементарном звене и обладающую меньшей молекулярной массой.

Модификация НЦ сульфобисимидазолом расширяет возможности получения новых целлюлозных материалов, с целью дальнейшего использования полученных продуктов в качестве сырья для получения товаров народно-хозяйственного назначения обладающими биологическими активными свойствами.

Список литературы

1. Романова С.М. Экологические аспекты производства азотнокислых эфиров целлюлозы // Романова С.М., Мадякина А.М., Ахтямова З.Г., Романова К.А. - Текст : непосредственный// Естественные и технические науки. - 2024. - № 12 (199). - С. 167-173.
2. Романова С.М. Химическая модификация азотнокислых эфиров целлюлозы (обзор) / С.М. Романова, А.М. Мадякина, Д.И. Сабирова, М.В. Хузеев. – Текст : электронный // Химия растительного сырья. – 2017. - №2. – С. 19-34. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29932459> (дата обращения 09.04.26). - Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
3. Романова С.М. Синтез новых полимеров на основе нитрата целлюлозы / С.М. Романова, В.И. Трескова, Р.З. Гильманов, М.В. Хузеев, А.Г. Засыпкин. – Текст : электронный // Химия растительного сырья. – 2014. - №4. – С. 51-57. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23309055> (дата обращения 09.04.26). - Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
4. Романова С.М. Синтез и свойства полимера на основе нитрата целлюлозы и этилового эфира пара-аминобензойной кислоты / В.И. Трескова, С.М. Романова, А.Г. Засыпкин. – Текст : электронный // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2013. - № 12. – С. 217-221. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21089291> (дата обращения 09.04.26). - Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.
5. Романова С.М. Утилизация промышленных отходов предприятий по производству энергонасыщенных материалов химическим методом / Романова С.М., Мадякина А.М. С.М. Романова, А.М. Мадякина. - Текст : электронный // Экологическая химия. - 2022. – Т. 31. № – 3. - С. 158-166. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49567220> (дата обращения 09.04.26). - Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

6. Romanova S.M. Application of wastes productions of energy-saturated substances in receiving civil products // S.M. Romanova, A.M. Madyakina. - Текст : электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. «Innovative Technologies for Environmental Protection in the Modern World». - 2021. - С. 012031. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/815/1/012031> (дата обращения 09.04.26).
7. Romanova S.M. The disposal of expired high energy materials / S.M. Romanova, A.M. Madyakina. - Текст : электронный // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. «Innovative Technologies for Environmental Protection in the Modern World». - 2021. - С. 012003. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/815/1/012003> (дата обращения 09.04.26).
8. Нагорнова О.А. Разработка новых соединений на основе 2,2'-бисимидазола как потенциальных биологически активных веществ / О.А. Нагорнова, Л.Ф. Нуруллина, З.Г. Ахтямова, Р.З. Гильманов. - Текст : электронный // Вестник Технологического университета. -2020. – Т. 23. - № 7. - С. 14-17. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43794512> (дата обращения 09.04.26). - Режим доступа: Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU.

Воздействие полигонов твёрдых коммунальных отходов на компоненты окружающей среды и мероприятия по минимизации негативных последствий

Сабирова Л. А.

Студент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Романова С. М.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье рассмотрено влияние полигонов захоронения твёрдых коммунальных отходов на основные компоненты природной среды: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы и биоту. Проведён анализ источников загрязнения, связанных с образованием фильтрата и биогаза. Описаны инженерные и организационные меры, направленные на снижение экологического ущерба при проектировании, эксплуатации и рекультивации полигонов.

Ключевые слова: полигон ТКО, фильтрат, биогаз, загрязнение, почва, подземные воды, рекультивация, защита окружающей среды

Полигоны захоронения твёрдых коммунальных отходов (ТКО) остаются преобладающим способом размещения отходов в большинстве регионов Российской Федерации. В настоящее время на полигонное захоронение приходится от 85 % общего объёма образующихся ТКО [1]. При длительной эксплуатации массив отходов вступает в сложные физико-химические и биохимические процессы, следствием которых становится поступление загрязняющих веществ во все основные среды — атмосферу, гидросферу, литосферу.

В качестве ключевых загрязняющих факторов выступают свалочный фильтрат (жидкая фаза, формирующаяся при инфильтрации атмосферных осадков через тело полигона) и биогаз, образующийся в ходе анаэробного разложения органической фракции отходов [1]. Оба потока содержат широкий спектр токсичных компонентов, и их неконтролируемое поступление в окружающую среду ведёт к деградации экосистем на расстоянии до нескольких километров от границ объекта [2].

Влияние на атмосферный воздух. Биогаз, образующийся в толще складированных отходов, содержит преимущественно метан (CH_4) и диоксид углерода (CO_2), а также примеси сероводорода, аммиака, меркаптанов, летучих органических соединений (ЛОС) [3]. Максимальный выход биогаза наступает после выдержки отходов в толще полигона и стабилизации процессов разложения [4]. При отсутствии системы дегазации газовая смесь мигрирует к поверхности и рассеивается в приземном слое атмосферы на значительные расстояния, оказывая угнетающее действие на живые организмы [5–6].

Дополнительным источником загрязнения воздуха служат пылевые выбросы при разгрузке и уплотнении отходов, а также продукты горения при самовозгорании, нередко на полигонах с нарушенным режимом эксплуатации. При определенных условиях на полигонах ТКО возможно не только возгорание, но и взрыв образующейся метановой смеси [7].

Загрязнение поверхностных и подземных вод. Фильтрат представляет собой высококонцентрированный многокомпонентный раствор. Величина ХПК фильтрата может достигать $20\,000\text{ мг О}_2/\text{дм}^3$, БПК₅ – около $14\,000\text{ мг О}_2/\text{дм}^3$ [8]. В растворённой форме присутствуют тяжёлые металлы (свинец, кадмий, ртуть, хром, цинк), хлориды, сульфаты, фенолы, нефтепродукты. Фильтрационные воды характеризуются высоким содержанием биорезистентных компонентов и повышенной минерализацией (до $7000\text{ мг}/\text{дм}^3$) [9]. На полигонах, лишённых надёжного противοфильтрационного экрана, жидкость проникает в подстилающие грунты и водоносные горизонты, а наибольшее воздействие свалок на подземные воды происходит в первые 4–7 лет после их образования [10].

Характерная особенность такого загрязнения — его долговременность. Ореол распространения загрязнённых подземных вод расширяется по направлению потока и может выявляться в скважинах на площадь около 1 км^2 с превышением ПДК по ряду компонентов в 100 раз [2]. Поверхностные водотоки подвержены аналогичному риску: при недостаточном перехвате фильтрата и ливневых стоков с территории полигона загрязнённые воды поступают в ближайшие реки и ручьи, повышая в них содержание аммонийного азота, хлоридов и металлов до значений, кратно превышающих предельно допустимые концентрации [11].

Воздействие на почвы и литосферу. Почвенный покров в зоне влияния полигона претерпевает существенные изменения: фильтрат, мигрируя через зону

аэрации, изменяет кислотно-щелочное равновесие, сорбционную ёмкость и микробиологический состав грунта. Концентрации тяжёлых металлов в почве у границ полигона нередко значительно превышают фоновые значения [12]. В почвах обнаруживается присутствие таких микроэлементов, как никель, медь, барий, марганец, титан, свинец, цинк, кобальт, кадмий, ртуть. Зона загрязнения почвенного и растительного покрова вокруг свалок оценивается в 500–1500 м [13–14]. В ряде случаев загрязнение распространяется на расстоянии до 1,5 км [15].

Воздействие на биоту. Территория действующего полигона и прилегающая санитарно-защитная зона характеризуются обеднённым биоценозом. Растительность угнетается газовыми выделениями, засолением и тяжёлыми металлами. Вместе с тем свалочные массивы привлекают синантропные виды, а повышенная концентрация грызунов и птиц вблизи жилой застройки становится эпидемиологическим фактором: эти животные являются переносчиками ряда инфекционных заболеваний, в том числе туляремии, брюшной тиф, ящур и др. [16].

В водных экосистемах фиксируется снижение видового разнообразия бентосных организмов и угнетение ихтиофауны. Органические загрязнения вызывают вторичное эвтрофирование, а токсичные металлы и фенолы оказывают прямое цитотоксическое действие на гидробионты [17].

Инженерные меры по минимизации негативного воздействия. Комплексный подход к снижению экологического ущерба от полигонов ТКО предполагает реализацию защитных решений на всех стадиях жизненного цикла объекта: проектировании, строительстве, эксплуатации и рекультивации.

На стадии проектирования основным элементом защиты подземных и поверхностных вод служит противofильтрационный экран (ПФЭ). Согласно действующим нормативным документам, основание полигона оборудуется многослойной конструкцией, включающей уплотнённый глинистый слой мощностью 0,5 м и геосинтетический барьер [9, 18]. Поверх экрана устраивается дренажный слой с системой перфорированных труб для сбора и отвода фильтрата. Сбор поверхностного стока осуществляется по закрепленным руслам (лотки-быстротоки, водоспуски и т. п.) [9].

Защита атмосферного воздуха при эксплуатации полигона обеспечивается прежде всего системой активной дегазации: в тело полигона бурятся скважины

глубиной 75 % высоты полигона, объединённые коллектором, по которому биогаз отводится для сжигания. Факельное сжигание снижает выбросы метана на 95–98 %, а при прямом сжигании вырабатывается тепловая энергия [19]. Ежегодное уплотнение и изоляция рабочей карты слоем инертного грунта сокращают пылеобразование, распространение запаха и вероятность самовозгорания.

Очистка фильтрата — наиболее технологически сложная и затратная часть эксплуатационных мероприятий. Применяемые схемы, как правило, многоступенчаты и включают биосорбционные, электрохимические и биологические методы очистки, выбор которых зависит от объема образующегося фильтрата, его концентрации и гидрогеологических особенностей площадки [9].

К организационным мерам относятся ведение мониторинга состояния окружающей среды в зоне влияния полигона и соблюдение режима санитарно-защитной зоны. Мониторинговая программа предусматривает регулярный отбор проб подземных вод из наблюдательных скважин, мониторинг поверхностных вод, анализ состава почв на прилегающей территории и инструментальный контроль атмосферных выбросов на границе санитарно-защитной зоны.

Завершающий этап жизненного цикла полигона – рекультивация – направлен на предотвращение дальнейшей деградации нарушенных земель. Технический этап рекультивации включает стабилизацию тела полигона, выполаживание и террасирование, сооружение системы дегазации и создание рекультивационного многофункционального покрытия. Биологический этап предполагает подбор ассортимента многолетних трав, подготовку почвы, посев и уход за посевами [20].

Снижение объёмов полигонного захоронения в перспективе связано с переходом к раздельному сбору и глубокой переработке ТКО, однако для существующих и проектируемых полигонов реализация перечисленных инженерных и организационных решений остаётся обязательным условием экологической безопасности территории.

Список литературы

1. Оценка и обеспечение геоэкологической устойчивости массивов ТКО для строительно-хозяйственного освоения: монография / А.А. Савельев, О.В. Тупицына, К.Л. Чертес [и др.]. – Самара : Самарский государственный

- технический университет, 2019. – 111 с. – ISBN 2227-8397. – Текст : непосредственный.
2. Бабак В. В. Геоэкология полигонов твердых бытовых отходов Московского региона : специальность 04.00.24 "Геоэкология" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Бабак Владимир Владимирович ; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. – Москва, 1991. – 19 с. – Текст : непосредственный.
 3. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов. – Москва, 2004. – Текст : непосредственный.
 4. Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации полигонов захоронения твердых бытовых отходов. – Москва, 2003. – Текст : непосредственный.
 5. Гуков Д. М. Разработка технологической схемы системы сбора биогаза с полигонов твердых бытовых отходов / Д. М. Гуков. – Текст : непосредственный // Экология. – 2011. – № 6 (31). – С. 75–79.
 6. Стёпкин Ю. И. Оценка и управление риском при обращении с отходами / Ю.И. Стёпкин, Е.П. Гайдукова. – DOI 10.47470/0016-9900-2018-97-8-693-698. – Текст : электронный // Гигиена и санитария. – 2018. – Т. 97, № 8. – С. 693–698. – URL: <https://www.rjhas.ru/jour/article/view/613/587> (дата обращения: 28.03.2026).
 7. Наумов И.С. Мероприятия по снижению взрывопожароопасности на полигонах твердых бытовых отходов / И.С. Наумов, Т.Г. Середа. – Текст : электронный // Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия : сборник докладов / Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2010. – URL: https://library.sibsiu.ru/DATA/InformationResources/ScientistsWorks/Upravlenie_othodami_2010.pdf (дата обращения: 28.03.2026).
 8. Лыков И.Н. Экологотоксикологические характеристики фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов разных возрастов / И.Н. Лыков, О.П. Павлова, Г.А. Тихонова. – Текст : электронный // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 5. – С. 21–24. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologotoksikologicheskie-harakteristiki-filtrata-poligonov-tverdyh-kommunalnyh-othodov-raznyh-vozrastov> (дата обращения: 30.03.2026).

9. Рекомендации по сбору, очистке и отведению сточных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов. – Москва, 2003. – Текст : электронный // Система нормативных документов "МЕГАНОРМ". – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293776/4293776478.pdf> (дата обращения: 30.03.2026).
10. Злобина В. Л. Оценка опасности загрязнения окружающей среды свалками промышленных и коммунальных отходов / В.Л. Злобина, Ю.А. Медовар, И.О. Юшманов. – DOI 10.31857/S0321059621030159. – EDN RCZHED. – Текст : электронный // Водные ресурсы. – 2021. – Т. 48, № 3. – С. 315–321. – URL: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=vodres&year=2021&vol=48&iss=3&file=VodRes2103015Zlobina.pdf> (дата обращения: 30.03.2026).
11. Макарчев А.О. Влияние полигона захоронения твердых коммунальных отходов на поверхностные водные объекты / А.О. Макарчев, П.Ф. Агаханянц, Н.Ф. Й. Динкелакер, Н.В. Динкелакер. – Текст : электронный // Московский экономический журнал. – 2022. – № 5. – С. 267–279. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-poligona-zahoroneniya-tverdyh-kommunalnyh-othodov-na-poverhnostnye-vodnye-obekty> (дата обращения: 01.04.2026).
12. Жаббаров З.А. Загрязнение почв тяжелыми металлами вокруг полигона твердых бытовых отходов города Ташкента / З.А. Жаббаров, Г.Р. Атоева, С.С. Сайитов. – Текст : электронный // Научное обозрение. Биологические науки. – 2021. – № 2. – С. 17–23. – URL: <https://science-biology.ru/ru/article/view?id=1225> (дата обращения: 01.04.2026).
13. Игнатович Н.И. Что нужно знать о твердых бытовых отходах? / Н.И. Игнатович, Н.Г. Рыбальский. – Текст : непосредственный // Экологический вестник России. – 1998. – № 1. – С. 53–60.
14. Башаркевич ИЛ. Влияние городских свалок на загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами / И.Л. Башаркевич, Р.И. Ефимова. – Текст : непосредственный // Эколого-геохимический анализ техногенного загрязнения : сборник научных статей. – Москва, 1992. – С. 137–151.
15. Куксов С.В. Полигоны твердых бытовых и промышленных отходов / С.В. Куксов, Л.А. Осипова, Е.Н. Щербакова [и др.]. – Текст : электронный // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. – 2005. – № 3. – С. 185–

189. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poligony-tverdyh-bytovyh-i-promyshlennyh-otходов> (дата обращения: 02.04.2026).
- 16.Елизарова Д.И. Оценка воздействия полигонов ТБО на окружающую среду / Д.И. Елизарова, Т.С. Иванушкина. – Текст : электронный // Научный журнал молодых ученых. – 2023. – № 4 (34). – С. 12–16. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vozdeystviya-poligonov-tbo-na-okruzhayushuyu-sredu> (дата обращения: 02.04.2026).
- 17.Гудкова Н.К. Влияние полигонов ТКО на деградацию биогеоценозов прибрежных зон водотоков и Черного моря / Н.К. Гудкова, Т.Л. Горбунова, Н.И. Матова. – Текст : электронный // Природообустройство. – 2021. – № 5. – С. 117–124. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-poligonov-tko-na-degradatsiyu-biogeotsenozov-pribrezhnyh-zon-vodotokov-i-chernogo-morya> (дата обращения: 02.04.2026).
- 18.Соломин И.А. Учебное пособие по курсовому проектированию: складирование твердых бытовых отходов на полигонах захоронения / И.А. Соломин, О.И. Соломина, Л.И. Будник. – Москва : МГАКХиС, 2009. – Текст : непосредственный.
- 19.Касимо А. М. Биогаз полигонов ТБО – важный резерв альтернативных источников энергии / А.М. Касимов, А.С. Мелашенко. – Текст : электронный // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 3 (32). – С. 26–28. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biogaz-poligonov-tbo-vazhnyy-rezerv-alternativnyh-istochnikov-energii> (дата обращения: 02.04.2026).
- 20.Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов : утверждена Минстроем России 2 ноября 1996 г. – Текст : непосредственный.

Анализ эффективности современных методов организации тушения пожаров в городских условиях

Самойлова К. О.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Фатыхова Л. А.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: представлен анализ современных методов организации тушения пожаров в условиях плотной городской застройки. Рассмотрены традиционные и инновационные подходы. На примере оперативно-тактической характеристики объекта выполнены расчеты параметров развития пожара и требуемых сил и средств. Показан сравнительный экономический и экологический эффект от внедрения предложенных технологий. Даны практические рекомендации по повышению эффективности деятельности пожарных подразделений.

Ключевые слова: техносферная безопасность, тушение пожаров, городские условия, инновационные технологии, роботизированные системы, тонкораспыленная вода, экологический ущерб

Пожарная безопасность является одной из важнейших составляющих техносферной безопасности в современных городах. Рост плотности застройки, увеличение этажности зданий, насыщение объектов инфраструктуры полимерными материалами и сложным электрооборудованием приводят к тому, что традиционные методы тушения пожаров, основанные преимущественно на подаче компактных водяных струй, часто оказываются недостаточно эффективными. Время свободного горения даже в течение 10–15 минут может привести к распространению огня на площади в десятки и сотни квадратных метров, созданию плотного задымления и выделению токсичных продуктов горения, что существенно затрудняет работу пожарных подразделений и увеличивает риски для населения. Кроме того, городские условия характеризуются ограниченными подъездными путями, удаленностью пожарных гидрантов, высокой загруженностью дорог, что дополнительно увеличивает время прибытия первых подразделений. В связи с этим возникает объективная необходимость анализа существующих методов пожаротушения, выявления их недостатков

и обоснования внедрения новых технологических и организационных решений. Целью данной работы является проведение комплексного анализа современных методов организации тушения пожаров в городе, оценка их эффективности на примере реального объекта, а также разработка практических рекомендаций по повышению оперативности и результативности деятельности пожарных подразделений.

Анализ литературных данных, нормативно-правовой базы и практики работы гарнизонов пожарной охраны позволяет выделить несколько системных проблем, характерных для большинства городов России и стран СНГ [1]. Во-первых, это недостаточная инфраструктура: во многих районах, особенно старой застройки, наблюдается нехватка пожарных гидрантов, водоисточников, а также наличие узких улиц и неправильно припаркованного автотранспорта, что препятствует проезду пожарных автомобилей. Во-вторых, длительное время реагирования. Несмотря на нормативные требования о прибытии первого подразделения в течение 10 минут, реальные показатели в часы пик и для удаленных микрорайонов могут достигать 15–20 минут. В-третьих, низкий уровень осведомленности населения: многие граждане не знают правил эвакуации, не умеют пользоваться огнетушителями, а в случае пожара впадают в панику, что затрудняет работу спасателей. В-четвертых, недостаточная координация между экстренными службами – пожарной охраной, полицией, скорой помощью, газовой и электрической службами. Отсутствие единой информационной платформы и отработанных протоколов взаимодействия приводит к задержкам при отключении электроэнергии, перекрытии газа или оказании первой помощи пострадавшим. Наконец, значимой проблемой является экологический ущерб от пожаров: выбросы углекислого газа, сажи, токсичных веществ, загрязнение почвы и водных объектов огнетушащими веществами и продуктами горения. Традиционные методы с использованием больших объемов воды часто приводят к попаданию загрязненного стока в городскую ливневую канализацию и далее в водоемы, что наносит дополнительный вред окружающей среде [2].

Для количественной оценки эффективности различных методов тушения в качестве модельного объекта был выбран автосалон «РЕНО», расположенный в Московском районе г. Казани по адресу: ул. Восстания, 131. Здание является двухэтажным, из бетонного монолита с наружной отделкой сэндвич-панелями.

Внутренняя отделка выполнена гипсокартоном с водно-дисперсионной окраской, перегородки кирпичные, межэтажные перекрытия – бетонный монолит и металлические фермы. В фасаде используются витражи из алюминиевого профиля со стеклопакетами, окна пластиковые, решетки отсутствуют. Здание относится к функциональной пожароопасности Ф.3.1 (объекты обслуживания населения) и Ф.5.1 (производственные и складские помещения) и имеет II степень огнестойкости. На первом этаже расположены выставочный зал (шоу-рум), сервисная зона по ремонту и техобслуживанию легковых автомобилей, склад шин и масел. На втором этаже находятся склад автозапчастей, кабинеты администрации, зал переговоров, бэкофис, учебный класс и кафе. Максимальное количество людей в дневное время – до 100 человек (30 персонала и 70 посетителей). Эвакуационных выходов наружу – 13, время полной эвакуации не превышает 5 минут. Ближайшее подразделение – ОП-3 ПСЧ-7 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС России по РТ находится на расстоянии 1 км, время следования – 2 минуты. Однако основной выезд осуществляется от ПСЧ-3, удаленной на 4,5 км, что при сложном маршруте (ул. Яруллина, М. Вахитова, Фрунзе, Восстания) дает время прибытия около 7–8 минут с учетом сбора и развертывания.

В рамках исследования были рассмотрены два наиболее вероятных сценария пожара. Первый вариант – короткое замыкание электропроводки на складе кузовного ремонта на первом этаже. Горючая нагрузка представлена автомобильными шинами, маслами, резинотехническими изделиями. Линейная скорость распространения горения принята равной 1 м/мин, требуемая интенсивность подачи воды – 0,06 л/(с·м²). Время свободного горения до прибытия первого подразделения составило 11 минут (5 мин до сообщения, 1 мин обработки, 2 мин следования, 3 мин боевого развертывания). Путь, пройденный огнем за это время, достиг 6 метров, а площадь пожара – 48 м². Требуемый расход воды для тушения – 2,9 л/с, что обеспечивается одним стволом РСК-50. Однако из-за необходимости защиты смежных помещений и эвакуации людей фактический расход возрастает до 14,7 л/с. При задержке подачи стволов и развитии пожара до момента сосредоточения сил по второму рангу (около 20 минут) площадь горения может увеличиться до 70 м², требуемый расход – до 4,2 л/с, а количество стволов на тушение – до двух. Общий требуемый расход с учетом защиты достигает 14,7 л/с, а фактический – 17,5 л/с. Для обеспечения такого расхода необходимо устанавливать две автоцистерны на пожарные гидранты,

а общее количество личного состава должно составлять 30 человек (6 отделений). Таким образом, традиционная тактика требует привлечения значительных сил и средств, а площадь пожара к моменту локализации может достигать 70–80 м². Второй вариант – пожар в кафе на втором этаже из-за неосторожного обращения с огнем. Исходные параметры аналогичны, но площадь помещения кафе – 77 м². Расчеты показали, что к моменту прибытия первого подразделения площадь пожара составит 42 м², а при задержке и сосредоточении сил по второму вызову – до 86 м². Требуемое количество стволов на тушение – 2, на защиту – 2, общий расход – 15,6 л/с, личного состава – 28 человек. Оба варианта подтверждают, что традиционные методы без применения современных технологий не позволяют локализовать пожар на ранней стадии и требуют больших затрат ресурсов.

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта (США, Германия, Япония) предложен комплекс инновационных методов, которые могут быть адаптированы для городских условий [3, 4]. Первым и наиболее перспективным направлением являются роботизированные системы пожаротушения. Роботы-пожарные, оснащенные водяными пушками и системами технического зрения, способны работать в зонах с высокой температурой, плотным задымлением и угрозой обрушения конструкций. Управление роботом осуществляется оператором с безопасного расстояния (до 500 м), а время начала тушения с момента получения сигнала может составлять всего 2 минуты, в то время как для традиционной бригады это время не менее 15 минут (включая прибытие и развертывание). Расчеты показывают, что при линейной скорости распространения огня 0,5 м/мин площадь возгорания к моменту начала тушения традиционным способом достигает 176,7 м², тогда как при использовании робота она составляет лишь 3,14 м². Экономия площади – более 173 м², что при среднем ущербе 50 тысяч рублей за квадратный метр дает предотвращенный ущерб около 8,7 миллиона рублей только на одном объекте.

Вторым важным направлением являются беспилотные летательные аппараты – дроны. Они позволяют проводить аэрофотосъемку, термальную разведку и даже доставлять небольшие объемы огнетушащих веществ в труднодоступные места. Скорость патрулирования дроном составляет 300 м/мин против 50 м/мин у пешего патруля. Для обследования территории площадью 1 км² дрону требуется около 33 минут (при ширине обзора 50 м), тогда как пешему

патрулю – более 6 часов. Выигрыш во времени – более 5 часов, что позволяет оперативно выявлять новые очаги и корректировать тактику тушения [5].

Третьим инновационным решением являются системы тонкораспыленной воды. В отличие от традиционных спринклеров с расходом $1 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$, установки тонкораспыленной воды формируют капли диаметром 100–150 мкм, что увеличивает площадь теплосъема и снижает требуемый расход до $0,25 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Для защиты помещения площадью 100 м^2 в течение нормативного времени тушения 600 секунд традиционная спринклерная система израсходует 60 м^3 воды, а система тонкораспыленной воды – всего 15 м^3 . Экономия воды составляет 45 м^3 , что при стоимости водоподготовки и водоотведения около 30 рублей за кубометр дает экономический эффект 1350 рублей на одно срабатывание. Кроме того, меньший объем воды снижает вторичный ущерб от затопления и уменьшает нагрузку на системы дренажа.

Четвертое направление – применение огнестойких материалов нового поколения. Стандартная скорость распространения пламени по обычным отделочным материалам составляет $0,5 \text{ м}/\text{мин}$. При использовании огнестойких покрытий и пропиток эта скорость снижается до $0,1 \text{ м}/\text{мин}$. Если эвакуационный выход находится на расстоянии 50 м от очага пожара, то при обычных материалах пламя достигнет выхода через 100 минут, а при огнестойких – через 500 минут. Дополнительные 400 минут (почти 7 часов) являются критическим резервом времени для спасения людей и прибытия подкреплений.

Пятое направление – применение тепловизоров. Среднее время поиска одного пострадавшего в плотном задымлении без тепловизора составляет 30 минут. С тепловизором это время сокращается до 10 минут. Для группы из 5 человек общее время поиска сокращается со 150 до 50 минут, выигрыш – 100 минут. Учитывая, что в условиях пожара каждая минута может стоить человеческой жизни, данный эффект является бесценным [6].

Помимо прямого экономического эффекта, инновационные методы тушения позволяют существенно снизить экологический ущерб от пожаров. В расчетах приняты следующие показатели: выбросы CO_2 при горении – 50 тонн на гектар, стоимость ущерба от одной тонны CO_2 – 1000 рублей, ущерб почве – 50 тысяч рублей на гектар, ущерб биоразнообразию – 30 тысяч рублей на гектар. Для роботизированных систем, сокращающих площадь пожара на 80 гектаров, предотвращенный ущерб от выбросов углерода составит 4 миллиона рублей,

ущерб почве – еще 4 миллиона, ущерб биоразнообразию – 2,4 миллиона. Общий ликвидированный ущерб – 10,4 миллиона рублей. Для систем тонкораспыленной воды на площади тушения 100 гектаров экономия воды достигает 32 тысяч кубометров (с учетом коэффициента загрязнения 0,8), что предотвращает ущерб водным объектам на сумму 16 миллионов рублей. Дополнительный эффект для почвы – 800 тысяч рублей. Итого – 16,8 миллиона рублей. Огнестойкие материалы, сокращающие площадь пожара на 25 гектаров, дают предотвращенный ущерб 3,25 миллиона рублей. Тепловизоры, за счет ускорения тушения и сокращения площади на 1 гектар, предотвращают ущерб на 130 тысяч рублей. Таким образом, комплексное внедрение всех рассмотренных технологий на территории одного крупного города может дать многомиллионный экологический эффект ежегодно.

Проведенный анализ показывает, что традиционные методы тушения пожаров в современных городских условиях уже не отвечают требованиям оперативности, безопасности и экологичности. Внедрение роботизированных систем, дронов, установок тонкораспыленной воды, тепловизоров и огнестойких материалов позволяет сократить время начала тушения в 5–7 раз, уменьшить площадь пожара на 80–98 %, снизить расход воды на 40–60 %, увеличить время безопасной эвакуации в несколько раз и предотвратить многомиллионный экологический ущерб. На основании результатов исследования сформулированы следующие рекомендации. Для пожарных подразделений: оснастить каждую пожарную часть хотя бы одним роботизированным комплексом и двумя дронами; включить в штатное расписание операторов БПЛА; проводить регулярные тренировки с использованием тепловизоров и тренажеров виртуальной реальности. Для органов местного самоуправления и градостроительных организаций: внести в нормативные документы требования об обязательном проектировании систем тонкораспыленной воды для объектов с массовым пребыванием людей (торговые центры, школы, больницы); стимулировать применение огнестойких материалов при новом строительстве и реконструкции; разработать и внедрить единую городскую платформу координации экстренных служб с отображением в реальном времени местоположения пожарных расчетов, гидрантов, дорожной ситуации. Для учебных заведений и служб МЧС: усилить просветительскую работу среди населения, проводить открытые уроки в школах, публиковать в СМИ и социальных сетях памятки по действиям при

пожаре, организовывать регулярные тренировки по эвакуации. Только комплексный подход, объединяющий технологические инновации, организационные меры и повышение осведомленности граждан, позволит создать действительно безопасную городскую среду и минимизировать последствия пожаров. Реализация предложенных рекомендаций требует инвестиций, однако, как показывают расчеты, они окупаются за счет снижения материального и экологического ущерба уже в течение 2–3 лет.

Список литературы

1. Кузнецов М.С. Пожарная безопасность: основы и принципы. – Москва: Безопасность, 2017. – 192 с.
2. Петров И.Н. Современные подходы к профилактике и борьбе с пожарами. – Санкт-Петербург: Научный профессор, 2019. – 208 с.
3. Смирнов А.В. Методы тушения пожаров: традиционные и инновационные подходы. – Казань: Вестник безопасности, 2018. – 156 с.
4. Федоров А.Н. Пожарная зависимость городской инфраструктуры. – Казань: Издательство Казанского университета, 2018. – 144 с.
5. Спиридонов Д.А. Дроновая технология в экстренных ситуациях // Современные технологии спасения. – 2021. – № 4. – С. 34–41.
6. Самойлова К.О. Анализ современных методов организации тушения пожаров в городских условиях: выпускная квалификационная работа (магистр). – Казань: КНИТУ, 2026. – 70 с.

Риски при обращении с серосодержащими реагентами при производстве поверхностно-активных веществ (ПАВ) в химической промышленности

Санагатуллина А. А.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Сольяшинова О. А.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: в статье рассматриваются специфические риски, возникающие при обращении с серосодержащими реагентами в процессе производства поверхностно-активных веществ (ПАВ) в химической промышленности. Основное внимание уделено токсикологическим, пожаро- и взрывоопасным, коррозионным и экологическим аспектам. Рассмотрены механизмы воздействия на персонал, оборудование и окружающую среду.

Ключевые слова: серосодержащие реагенты, химическая промышленность, экологические риски, оценка профессионального риска

Производство поверхностно-активных веществ (ПАВ) является одним из ключевых направлений химической промышленности. В технологических схемах синтеза анионных и неионогенных ПАВ широко применяются серосодержащие реагенты: серная кислота, олеум, сернистый ангидрид, сульфорирующие агенты. Их использование сопровождается повышенными рисками для персонала, оборудования и окружающей среды.

Синтез анионных ПАВ включает стадии сульфирования, нейтрализации, стабилизации и очистки. Ключевой стадией является сульфирование органического субстрата серосодержащими агентами. Процесс протекает с выделением тепла и образованием агрессивных промежуточных соединений.

Серосодержащие реагенты характеризуются высокой коррозионной активностью среды, токсичностью и способностью образовывать взрывоопасные смеси. При контакте с влагой возможно выделение тепла и токсичных газов.

Процесс получения синтетических поверхностно-активных веществ основан на методе непрерывного сульфирования в многотрубном пленочном

реакторе альфа-олефинов фракции C_{14} , линейного алкилбензола, оксиэтилированных высших жирных спиртов фракции C_{12} - C_{14} газообразным серным ангидридом в смеси с осушенным воздухом в изменяемых количествах и концентрациях SO_3 , получаемым путем сжигания серы на установке

Источниками возникновения аварий при производстве ПАВ может стать любое действующее технологическое оборудование и коммуникации, в которых обращается опасное вещество [1].

Анализ используемых для производства ПАВ реагентов показал, что они характеризуются высокой химической и коррозионной агрессивностью и потенциально токсичны. Наибольшую опасность представляет олеум, способный при контакте с влагой образовывать токсичные аэрозоли и вызывать интенсивное тепловыделение, что увеличивает риск разгерметизации оборудования и развития аварийных ситуаций. Даже менее опасные органические производные серы при определённых условиях могут создавать угрозу для персонала и оборудования, что обосновывает необходимость строгого контроля технологических параметров и комплексной оценки промышленного риска.

Коварство этих сред заключается в том, что их агрессивность меняется в зависимости от концентрации, температуры и скорости потока. Критическим фактором обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации оборудования является так называемый "парадокс концентрации": если олеум и высококонцентрированная серная кислота ($> 90\%$) при нормальных температурах демонстрируют относительную инертность к углеродистой стали за счет формирования на её поверхности плотной пассивирующей сульфатной пленки, то снижение концентрации ниже порогового значения (70-80%) приводит к катастрофической деградации металла. В результате гигроскопичного поглощения влаги или образования конденсата защитный слой растворяется, что инициирует резкое ускорение коррозионных процессов и может привести к сквозному разрушению стенки оборудования в течение нескольких суток, создавая необратимые риски разгерметизации системы, поэтому анализ аварийных сценариев является обязательным этапом оценки рисков [2]. Для количественной оценки возможных путей развития аварии при разгерметизации оборудования, содержащего олеум, в работе применяется метод анализа дерева событий, позволяющий формализовать последовательность отказов и определить вероятность тяжёлых последствий [3-5]. Дерево событий разгерметизации реактора представлено на рис.

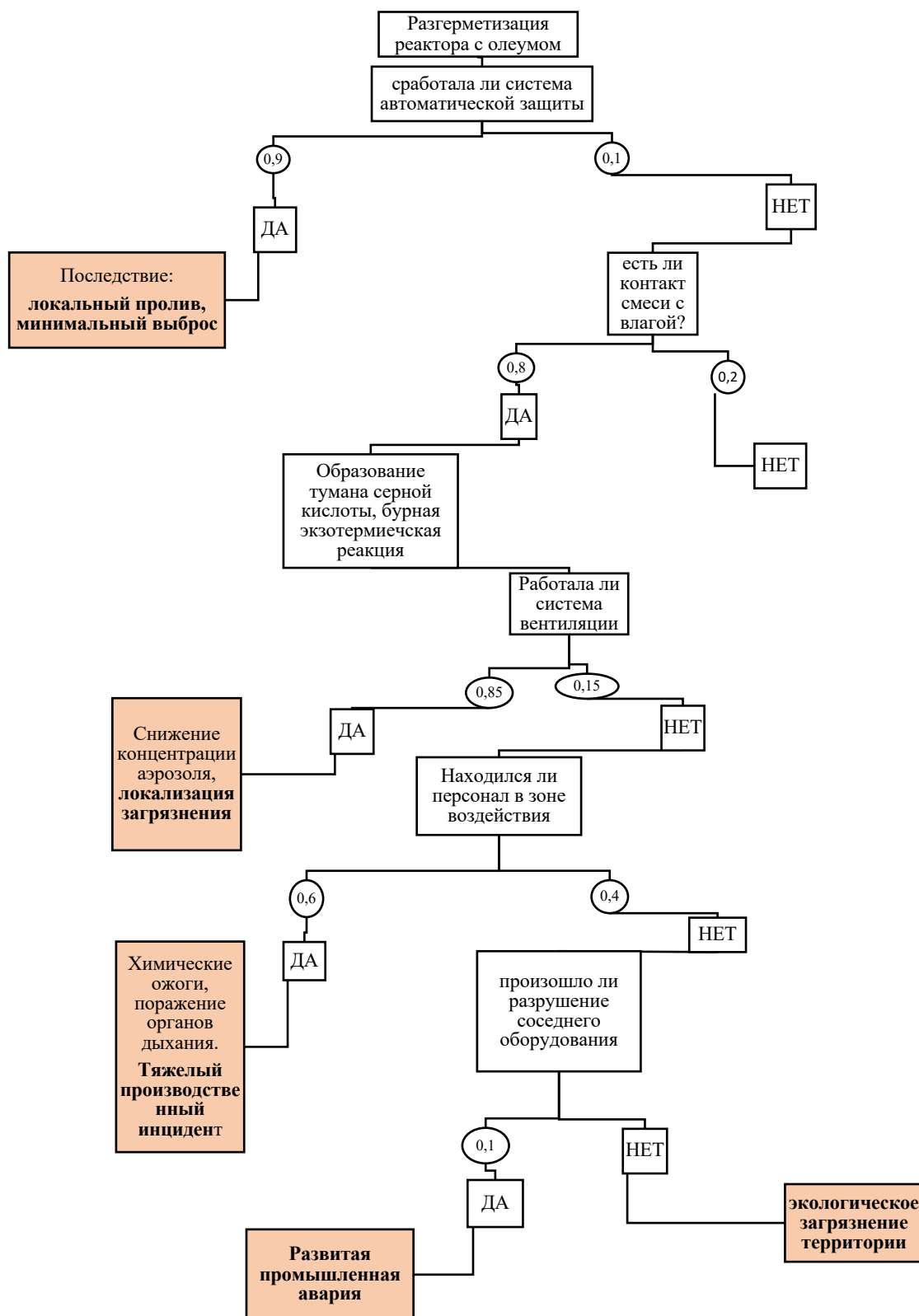


Рис.1. Дерево событий разгерметизации оборудования с олеумом

Вероятность тяжелого производственного инцидента можно рассчитать по формуле:

$$P_{\text{тяж}} = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4, \quad (1)$$

где $P_{1,2,3,4}$ – условные вероятности последовательных событий.

В соответствии с структурой дерева событий, представленной на рис. 1, тяжелый производственный инцидент реализуется при одновременном выполнении следующих условий:

- отказе системы автоматической защиты ($p_1 = 0,1$)
- контакте олеума с влагой ($p_2 = 0,8$)
- отказе системы вентиляции ($p_3 = 0,15$)
- наличии персонала в зоне воздействия ($P_4 = 0,6$)

Подставляя наши условные вероятности в формулу 1 получаем:

$$P_{\text{тяж}} = 0,1 \times 0,8 \times 0,15 \times 0,6$$

$$P_{\text{тяж}} = 7,2 \times 10^{-3}$$

Вероятность эскалации до развитой промышленной аварии рассчитываем по формуле (2):

$$P = P_{\text{тяж}} \times P_5, \quad (2)$$

где P_5 – вероятность разрушения соседнего оборудования равное 0,1.

Получаем:

$$P = 7,2 \times 10^{-3} \times 1$$

$$P = 7,2 \times 10^{-4}$$

Вероятность тяжелого производственного инцидента составляет:

$P_{\text{тяж}} = 7,2 \times 10^{-3}$; Вероятность эскалации до развитой промышленной аварии составляет $P_{\text{тяж}} = 7,2 \times 10^{-4}$. Полученные значения свидетельствуют о существенном вкладе отказа системы автоматической защиты и вентиляции в формирование аварийного риска. Расчёт подтверждает, что существующая структура защитных барьеров не обеспечивает достаточного снижения вероятности тяжёлых последствий без дополнительного повышения надёжности критических элементов технологической системы [6].

Для установления первопричин указанных сценариев и выявления элементов оборудования, формирующих наибольший вклад в риск, проводится анализ видов и последствий отказов, позволяющий системно оценить механизмы отказов, их последствия и определить приоритетные направления повышения надёжности технологической системы, таблица 1.

Таблица 1

Результаты анализа видов и последствий отказов технологической системы производства ПАВ

Элемент системы	Вид отказа	Возможная причина	Последствие	S	O	D	Приоритетное число риска (RPN)
Реактор	Коррозионное разрушение корпуса	Воздействие олеума, истончение металла	Разгерметизация, выброс аэрозоля серной кислоты	9	4	3	108
Трубопровод	Нарушение герметичности фланцевого соединения	Износ прокладок, вибрация	Локальный пролив, токсичное облако	8	5	4	160
Предохранительный клапан	Заклинивание	Коррозия, отсутствие ТО	Рост давления, разрушение аппарата	9	3	4	108
Система автоматической защиты	Несрабатывание	Отказ датчика давления	Неостановленный аварийный режим	10	3	5	150
Система вентиляции	Отказ вентилятора	Отсутствие резервирования	Накопление токсичного аэрозоля	8	4	6	192
Датчик утечки	Ложный сигнал или отказ	Коррозия чувствительного элемента	Несвоевременное обнаружение аварии	7	4	6	168

Показатель S – это оценка тяжести последствий. Для оборудования, содержащего олеум, значения $S \geq 8$ присваиваются отказам способным привести к образованию токсичного аэрозоля и поражению персонала.

Показатель O отражает частоту или вероятность реализации отказа. Для коррозионных процессов и отказов фланцевых соединений приняты значения 4–5, что соответствует средней вероятности при эксплуатации в агрессивной среде

Показатель D - обнаруживаемость отказа. Для отказов датчиков и вентиляции значения D выше (5–6), поскольку их неисправность может быть выявлена не сразу.

Выполненный анализ видов и последствий отказов позволил количественно ранжировать элементы технологической системы по степени их вклада в формирование аварийного риска. В качестве критерия приоритетности использовано приоритетное число риска (RPN), которое рассчитывается по формуле (3):

$$RPN = S \times O \times D \quad (3)$$

Для оценки критичности принята следующая шкала:

$RPN < 100$ — контролируемый риск;

$100 \leq RPN < 150$ — потенциально опасный уровень;

$RPN \geq 150$ — критический уровень, требующий немедленного снижения.

Результаты расчёта показали, что наибольшие значения RPN соответствуют:

- отказу системы вентиляции;
- отказу средств обнаружения утечек;
- нарушению герметичности фланцевых соединений.

Сопоставление результатов анализа дерева событий и анализ видов и последствий отказов продемонстрировало согласованность выводов двух независимых методов оценки риска. При определённой комбинации отказов возможно формирование сценариев с повышенным уровнем риска. Полученные значения характеризуют потенциальную опасность рассматриваемого технологического узла, а не фактически реализованные аварии, и подтверждают необходимость поддержания высокой надёжности защитных систем.

Список литературы

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: федер. закон Рос. Федерации от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ (с изм. и доп.).
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». — Москва: Ростехнадзор, 2020.
3. ГОСТ 12.1.007-76. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. — Москва: Стандартиформ, 2007.
4. ГОСТ Р 12.3.047-2012. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. — Москва: Стандартиформ, 2013.
5. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. — Москва: Госгортехнадзор России, 2001.
6. Методические рекомендации по оценке риска аварий на опасных производственных объектах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. — Москва: Ростехнадзор, 2016.

Экологический аспект практики применения природных красителей для окрашивания текстильных материалов

Скобова Н. В.

Доцент

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь

Кириллова М. Д.

Студент

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь

Шитикова А. А.

Студент

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь

Аннотация: предложена энергоэффективная технология крашения текстильных материалов природными красителями местного региона, позволяющая интенсифицировать процесс экстрагирования красящих веществ из растений, увеличить степень закрепления красителя на волокне путем применения биопротрав, повысить экологичность процесса за счет снижения энергозатрат и нагрузки на сточные воды.

Ключевые слова: натуральные красители, крашение, биопротравы, сточные воды, текстильные материалы

В последние годы растущая обеспокоенность состоянием окружающей среды и переход к устойчивому потреблению возродили интерес к натуральным красителям, извлекаемым из растений, что свидетельствует о более масштабном переходе к экологичным практикам в текстильной промышленности.

Устойчивость использования натуральных красителей в текстильном производстве состоит из трех аспектов: экономического, экологического и социального. Экономическая эффективность применения природных красителей заключается в возможности перехода к экономике замкнутого цикла, в которой отходы превращаются в ресурсы и повторно используются на различных этапах производства, например, в пищевой отрасли жмых винограда можно использовать в качестве красящего вещества [1], в снижении расходов в сельском

хозяйстве на борьбу с некоторыми видами инвазивных растений, например золотарника американского, имеющего высокий красящий потенциал [2], в сокращении затрат на очистку сточных вод от синтетических красителей. С экологической точки зрения, натуральные красители являются биоразлагаемыми, возобновляемыми, нетоксичными, гипоаллергенными и просты в использовании. Социальный аспект использования заключается в том, что натуральные красители можно использовать в рамках концепции «медленной моды» и потребители могут самостоятельно применять такую технологию при окрашивании собственной одежды [3].

Таким образом натуральные красители, полученные из растений, грибов, водорослей и минералов, вновь стали жизнеспособной альтернативой. Несмотря на описанные выше преимущества возрождения применение природных красителей имеет ряд ограничений: изменчивость оттенков, плохая воспроизводимость и более низкая стойкость к свету и трению по сравнению с синтетическими красителями. Проблемы стабильности пигментов и эффективности экстракции остаются актуальными, хотя недавние инновации в технологиях предварительной обработки и экстракции начали решать эти проблемы [4]

Целью работы является исследование возможности применения природных красителей в технологии крашения текстильных материалов для получения устойчивых оттенков при сохранении экологизации производства.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) интенсифицировать этап экстрагирования красильных веществ из различных местных растений, собранных в регионе, для снижения материалоемкости процесса и увеличения интенсивности окраски;
- 2) увеличить степень закрепления красителя на волокне путем протравливания материала на этапе крашения биопротравами;
- 3) изучить влияние pH рабочей ванны на интенсивность окраски;
- 4) выбрать энергоемкую технологию крашения текстильных материалов природными красителями.

Разработана технология крашения текстильных материалов с использованием наземных, подземных частей растений, плодовых тел грибов (рис. 1). Путем введения ультразвуковой обработкой дробленого сырья в традиционную цепочку образовался потенциал для извлечения физиологически активных функциональных веществ в рабочий раствор красильной ванны. Повышение

эффективности экстракции при использовании ультразвука в основном объясняется эффектом акустической кавитации, возникающей в растворителе при прохождении ультразвуковой волны [5]. Ультразвук также оказывает механическое воздействие, способствуя более глубокому проникновению растворителя в матрицу образца, увеличивая площадь контакта между твердой и жидкой фазами и, как следствие, ускоряя диффузию растворенного вещества из твердой фазы в растворитель. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода.

При подготовке одревесневших частей растений необходимо вводить этап замачивания сырья перед ультразвуковой обработкой, однако для грибов трутовиков эту фазу можно опустить.



Рис. 1. Интенсификация процесса крашения текстильных материалов природными красителями

Вторым вариантом снижения энергоемкости процесса является технология крашения с использованием волн СВЧ диапазона. Данный подход подразумевает совмещение этапа экстрагирования и крашения текстильного материала. Из-за схожих физических свойств микроволновый нагрев следует

рассматривать как разновидность диэлектрического нагрева. Под воздействием высокочастотного поля с изменяющейся полярностью дипольные молекулы совершают колебания. По сравнению с энергией химической связи энергия фотонов микроволнового излучения невелика, поэтому микроволны не оказывают прямого воздействия на молекулярную структуру соединения и не изменяют его электронную конфигурацию. Микроволновый нагрев является альтернативой традиционному нагреву и обеспечивает быстрый, эффективный и равномерный нагрев за счет проникновения микроволнового излучения в частицы материала. При объемном нагреве микроволновая энергия поглощается материалами напрямую и преобразуется в тепло, что обеспечивает быстрый, контролируемый, селективный и равномерный нагрев, способствуя диффузии молекул красителя и ускоряет его фиксацию в текстильном материале [6].

Представленные методы интенсификации позволяют сократить итоговое время обработки текстильного материала от начального до конечного этапа на 160 минут при ультразвуковой подготовке сырья, на 200 минут при совмещенном процессе.

Энергопотребление по каждой из предлагаемых технологий составляет:

Ультразвуковая обработка сырья в ультразвуковой ванне, экстрагирование и этап крашения на водяной бане – 2920 Вт. Совмещенный процесс экстрагирования и крашения – 1520 Вт.

Биопротравы играют ключевую роль в устойчивом окрашивании текстиля, способствуя внедрению экологически чистых альтернатив традиционным протравителям на основе металлов. Эти органические вещества, полученные из возобновляемых биологических источников, не только улучшают поглощение и фиксацию красителя, но и придают текстилю функциональные преимущества, такие как антимикробные и УФ-защитные свойства. В отличие от традиционных протравителей, они являются биоразлагаемыми, экологически безопасными, что делает их особенно ценными для окрашивания материала, предназначенного для прямого контакта с кожей, например, детская одежда.

В работе использованы биопротравы на растительной основе: богатые танинами кора дуба и зеленый чай, ягоды красной рябины, травянистые листья алоэ вера (рис. 2). Они богаты фенольными соединениями и гидролизуемыми танинами, которые действуют как природные хелатирующие агенты, образующие комплексы с молекулами красителя, тем самым улучшая проникновение

красителя и его стойкость. Их взаимодействие с волокнистыми субстратами происходит посредством водородных связей и сил Ван дер Ваальса, часто облегчаемых слабокислыми или ферментативными условиями [4]. Также в работе использовались биопротравители на не растительной основе: винная кислота.

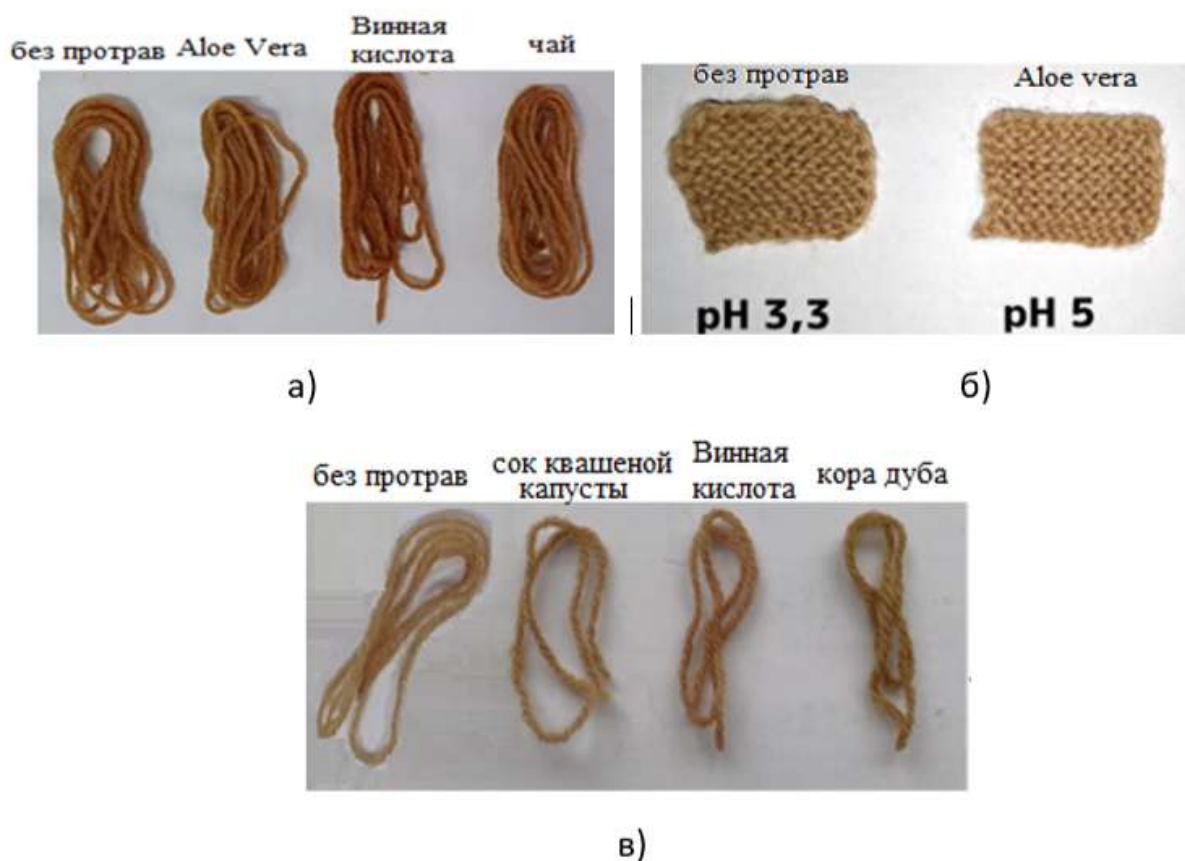


Рис. 2. Образцы пряжи, окрашенной корнями лапчатки (а), трутовиком окаймленным (б), зверобоем (в) в присутствии протрав

Проведенные исследования устойчивости окраски пряжи к сухому и мокрому трению показали высокие оценки – 4-5 баллов, что доказывает эффективность закрепления красителя на волокне при крашении в присутствии биопротрав.

Влияние pH рабочей ванны на интенсивность окрашивания пряжи при использовании биопротрав: 2 % раствор винной кислоты, неразбавленный сок квашеной капусты, чая образует кислую среду рабочей ванны. Шерстяное волокно поглощает танин, содержащийся в экстракте натурального красителя, за счет электростатического взаимодействия между карбоксильной группой танина и аминогруппой шерстяного. Низкий уровень pH увеличивает степень

ионизации аминокруппы в волокнах шерсти, что приводит к улучшению поглощения красителя. Введение 4 % раствора сока Aloe Vera в качестве протравы снижает кислотность ванны (рис. 2б).

В результате проведенной работы установлено, что наличие интенсифицирующих факторов при экстрагировании способствует эффективному выходу красящих веществ в рабочий раствор. Ультразвуковая обработка создает эффект акустической кавитации, благодаря чему происходит вытеснение воздушных пузырьков из клеток растений, облегчая тем самым выход большего числа красильных веществ в рабочий раствор ванны на этапе экстрагирования. Совмещенный процесс экстрагирования и крашения в среде СВЧ волн является менее энергозатратным.

Применение биопротрав, содержащих танины и понижающих кислотность рабочей ванны, позволяет не только изменять насыщенность получаемых оттенков и разнообразить цветовую гамму, но и способствует закреплению молекул красителя на волокне. Все это положительно отражается на эксплуатационных характеристиках пряжи.

Разработанная технология является экологически безопасной, энергоэффективной и может быть интересна и рекомендована творческим людям, дизайнерам, ремесленникам, занимающимся выпуском оригинальных модных элементов одежды и аксессуаров.

Список литературы

1. Скобова Н. В. Интенсификация экстрагирования природного сырья при крашении шерстяной пряжи / Н.В. Скобова, А.В. Горохова, Н.Н. Ясинская, Е. П. Попко // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2025. – № 2(52). – С. 69. DOI:10.24412/2079-7958-2025-2-69-79
2. Kert M. (2018) The influence of the treatment process on the dyeability of cotton fabric using goldenrod dye, TEKSTILEC. University of Ljubljana. doi: 10.14502/TEKSTILEC2018.61.192-200.
3. Zlatev, Zlatin. (2022). Application of natural dyes to textile fabrics in the context of sustainability. 10. 149-164. 10.15547/artte.2022.03.004.
4. Shahidul Islam, Md. Abdul Jalil, K.Z.M Abdul Motaleb, Md. Abu Saeed, Sanjoy Belowar, Md. Rahamatolla, Shahin Hossain, Md. Abdul Mukit, Ayub Nabi Khan. (2025). Toward a Greener Fabric: Innovations in Natural Dyes and Biomordants

for Sustainable Textile Applications. Sustainability & Circularity NOW 2025; 02: a26957703. DOI: 10.1055/a-2695-7703

5. Mahfud, M. (2018) Natural Dye Extraction From Teak Leaves (*Tectona Grandis*) Using Ultrasound Assisted Extraction Method for Dyeing on Cotton Fabric, MATEC Web Conf., 156 (2018) 05004. doi: 10.1051/MATEC-CONF/201815605004.
6. López-Salazar H., Camacho-Díaz B.H., Ocampo M.L.A., and Jiménez-Aparicio, A. R. (2023). Microwave-assisted extraction of functional compounds from plants: A Review, BioResources, 18(3), 6614-6638.

Технологии минимизации выбросов парниковых газов при добыче, транспортировке и переработки нефти

Унгуриян С. Р.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева

Казаков Т. П.

Студент

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева

Шибяев П. Б.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технический университет
имени А.Н. Туполева

Аннотация: в статье проведена систематизация и количественная оценка технологий снижения выбросов парниковых газов на этапах добычи, транспортировки и переработки нефти. На основе расчетного подхода IPCC показано, что максимальный эффект достигается при комплексном применении LDAR на добыче (10 430 т CO₂-экв. /год), мультимодального мониторинга при транспортировке (64,3 т CO₂-экв. на событие) и повышения энергоэффективности на НПЗ (6 732 т CO₂/год). Результаты применимы для разработки программ декарбонизации и корпоративной климатической отчетности.

Ключевые слова: парниковые газы, метан, углеродный след, LDAR, мультимодальный мониторинг, энергоэффективность, декарбонизация, нефтяная отрасль

Объект исследования – технологические процессы добычи, транспортировки и переработки нефти как источники выбросов парниковых газов. Предмет исследования – технологии и методы минимизации выбросов метана и диоксида углерода на указанных этапах. Цель исследования – выявление и количественная оценка наиболее эффективных технологий снижения выбросов парниковых газов по всей нефтяной цепочке. Гипотеза исследования состоит в том, что комплексное применение LDAR на стадии добычи, мультимодальных систем мониторинга при транспортировке и мер энергоэффективности на НПЗ обеспечивает более значительное сокращение выбросов, чем изолированное

внедрение отдельных решений. Для достижения цели решались задачи систематизации современных технологий, сравнительного анализа их эффективности на основе подхода IPCC, определения приоритетных направлений декарбонизации и выполнения оценочных расчетов для типовых сценариев внедрения.

Проблема снижения выбросов парниковых газов в нефтяной отрасли в последние годы приобрела особую значимость. Это связано с тем, что метан является одним из наиболее сильных короткоживущих климатических загрязнителей, а нефтегазовая отрасль остается крупным источником его утечек, вентиляционных сбросов и выбросов при факельном сжигании. Согласно Global Methane Tracker 2025, метан ответственен примерно за 30 % роста глобальной температуры со времени индустриальной революции, а энергетический сектор обеспечивает более 35 % антропогенных выбросов метана. Одновременно World Bank фиксирует рост глобального факельного сжигания: в 2024 г. было сожжено 151 млрд м³ газа против 148 млрд м³ в 2023 г. Это подтверждает, что существующие меры пока недостаточны и необходим переход от фрагментарных решений к системной модернизации всей нефтяной цепочки [1, 2].



Рис. 1. Мировой объем факельного сжигания газа в 2023–2024 гг., млрд м³ (составлено авторами по данным [2])

Для российской нефтяной отрасли тема дополнительно актуальна в связи с задачами повышения степени утилизации попутного нефтяного газа, снижения углеродного следа продукции и развития верифицируемых систем учета выбросов. В отечественных публикациях подчеркивается, что нефтегазовый

сектор России должен сочетать технологические меры по снижению эмиссии с совершенствованием методик учета и верификации углеродного следа нефти и нефтепродуктов [3, 4].

В работе использован сравнительный анализ современных научных и аналитических источников: отраслевых обзоров IEA и World Bank, международных публикаций, индексируемых в WoS/Scopus, а также российских статей, представленных в CyberLeninka. Критериями отбора источников являлись их актуальность, наличие количественных данных по выбросам и технологиям снижения эмиссии, а также применимость результатов к стадиям добычи, транспортировки и переработки нефти. В качестве методической основы принят расчетный подход IPCC, в соответствии с которым выбросы определяются как произведение данных об активности на коэффициент выбросов. Для перевода выбросов ископаемого метана в CO₂-эквивалент использовано значение GWP100 = 29,8, рекомендованное GHG Protocol для ископаемого метана. Такой подход позволяет связать обзор технологий не только с качественным анализом, но и с количественной оценкой эффекта от их внедрения [5, 6].

В качестве типовых сценариев для оценочных расчетов приняты: местоорождение с фугитивными выбросами 500 т CH₄/год; утечка на трубопроводе интенсивностью 10 кг/ч; блок первичной перегонки НПЗ с потреблением 800 ТДж/год топливного газа. Указанные значения выбраны как репрезентативные инженерные допущения для сопоставления технологических решений на основе отраслевых обзоров и научных публикаций. Принятое сокращение утечек на 70 % при LDAR отражает высокий, но достижимый результат для хорошо организованных программ обнаружения и устранения утечек. Расчеты носят оценочный характер; фактический эффект может варьировать в зависимости от конфигурации объекта, длительности утечки, качества мониторинга и режима эксплуатации оборудования [1, 5, 7, 9, 10].

На стадии добычи основными источниками выбросов являются утечки метана из оборудования, вентиляционные сбросы, резервуарные потери и факельное сжигание попутного нефтяного газа. По данным IEA, в нефтегазовом секторе к наиболее результативным мерам снижения выбросов относятся программы LDAR, замена мокрых уплотнений на сухие уплотнения, применение установки рекуперации паров, улавливание продувочных выбросов и сокращение планового сжигания. Обзор Lu, Xie и Cheng показывает, что выбросы по

нефтегазовой цепочке распределены неравномерно: значительную долю формируют немногочисленные источники повышенной эмиссии, поэтому быстрый эффект дают именно программы поиска и устранения «супер-эмиттеров» [1, 7].

Для повышения достоверности мониторинга на добывающих объектах наиболее целесообразен комбинированный подход. По данным Cooper, Dubey и Hawkes, спутниковые наблюдения перспективны для выявления крупных выбросов и верификации инвентаризаций, однако сами по себе пока не могут полностью заменить наземные измерения. Следовательно, практическое снижение выбросов требует сочетания OGI-камер, БПЛА, стационарных датчиков и спутниковой верификации [8].

На этапе транспортировки основными источниками выбросов являются утечки на трубопроводах, линейной арматуре, резервуарных парках и насосно-компрессорных станциях. Современные исследования показывают, что наибольший эффект достигается не отдельными датчиками, а мультимодальными системами, объединяющими акустический контроль, оптическую визуализацию газа, цифровую аналитику и средства дистанционного мониторинга. В обзоре Gong и соавт. подчеркивается, что именно такие системы особенно важны для раннего обнаружения малых утечек, когда потери вещества и климатический ущерб еще можно быстро локализовать [9].

Таким образом, для трубопроводного транспорта приоритетными следует считать технологии, уменьшающие время обнаружения утечки и повышающие точность локализации дефекта. Это не только снижает прямые потери углеводородов, но и уменьшает удельные выбросы в расчете на единицу транспортируемой нефти.

На стадии переработки структура выбросов смещается в сторону CO₂, поскольку основными источниками становятся печи, котлы, блоки первичной перегонки, производство водорода и факельные системы. Современные исследования по декарбонизации НПЗ показывают, что первоочередной эффект дают меры энергоэффективности: тепловая интеграция, модернизация теплообменных сетей, усовершенствованное управление технологическими процессами, утилизация вторичных энергоресурсов и снижение потерь в печах. По данным Rafeek и соавт., интегрированные стратегии, включая цифровую оптимизацию и современные методы управления, позволяют заметно улучшать работу установок первичной перегонки нефти и снижать экологическую нагрузку [10]. Для

глубокой декарбонизации НПЗ необходимы также низкоуглеродный водород и улавливание CO₂, однако, как показывает работа Sunny и соавт., эти решения эффективны прежде всего как часть комбинированной стратегии, а не как единственная мера [11].

Для количественного сопоставления рассмотренных технологий использована базовая зависимость:

$$E = AD \cdot EF, \quad (1)$$

где E — выбросы парникового газа, AD — показатель активности, EF — коэффициент выбросов. Для фугитивных выбросов ископаемого метана принята формула:

$$E_{CO2e}^{CH_4} = M_{CH_4} \cdot 29,8, \quad (2)$$

где M_{CH_4} — масса метана, т/год. Для выбросов CO₂ от сжигания природного газа на НПЗ использован коэффициент 56,1 т CO₂/ТДж, соответствующий IPCC Guidelines [5, 6].

1. Добыча нефти. В качестве типового сценария примем месторождение, на котором суммарные фугитивные выбросы составляют 500 т CH₄/год. Такое значение используется как репрезентативное допущение для сравнительной оценки эффекта LDAR на объекте с заметными, но не экстремальными утечками. Тогда общий климатический эффект равен:

$$E_{CO2e} = 500 \cdot 29,8 = 14900 \text{ т CO}_2 - \text{экв./год} \quad (3)$$

Если благодаря хорошо организованной программе LDAR удастся сократить 70 % утечек, то предотвращаемые выбросы составят:

$$\Delta E = 500 \cdot 0,70 \cdot 29,8 = 10430 \text{ т CO}_2 - \text{экв./год} \quad (4)$$

Этот результат подтверждает, что для добывающих объектов именно поиск и устранение утечек дает наибольший краткосрочный эффект [1].

2. Транспортировка нефти. Для трубопроводного участка рассмотрим типовой сценарий малой, но длительной утечки метана интенсивностью 10 кг/ч,

то есть 0,01 т/ч. Такой уровень потерь позволяет количественно оценить значение раннего обнаружения дефекта для сокращения климатического ущерба. Масса потерь определяется как:

$$M_{loss} = \dot{m} \cdot t \quad (5)$$

Если без современных систем мониторинга утечка выявляется через 10 суток, то:

$$M_{loss} = 0,01 \cdot 240 = 2,4 \text{ т CH}_4 \quad (6)$$

$$E_{CO2e} = 2,4 \cdot 29,8 = 71,5 \text{ т CO}_2 - \text{ экв./год} \quad (7)$$

Если мультимодальная система обнаруживает ее за 24 часа, то:

$$M_{loss} = 0,01 \cdot 24 = 0,24 \text{ т CH}_4 \quad (8)$$

$$E_{CO2e} = 0,24 \cdot 29,8 = 7,2 \text{ т CO}_2 - \text{ экв./год} \quad (9)$$

Следовательно, сокращение времени обнаружения с 10 суток до 1 суток предотвращает около 64,3 т CO₂-экв. на одно событие. Это количественно подтверждает высокую практическую значимость цифрового мониторинга на этапе транспортировки [9].

3. Переработка нефти. Пусть крупный блок первичной перегонки НПЗ потребляет 800 ТДж/год топливного газа. Такой сценарий используется как инженерно-репрезентативная оценка потенциала энергосбережения для энергоемкой установки. Тогда при снижении энергопотребления на 15 % экономия энергии составит:

$$\Delta Q = 800 \cdot 0,15 = 120 \text{ ТДж/год} \quad (10)$$

Соответствующее сокращение выбросов CO₂:

$$\Delta E_{CO2} = 120 \cdot 56,1 = 6732 \text{ т CO}_2/\text{год} \quad (11)$$

Следовательно, даже умеренное повышение энергоэффективности дает для одного крупного технологического блока НПЗ эффект свыше 6,7 тыс. т CO₂

в год, что делает энергоэффективность одной из наиболее оправданных первоочередных мер [5, 10, 11].

Таблица 1 составлена авторами по результатам приведенных оценочных расчетов и показывает, что максимальный быстрый эффект достигается за счет LDAR на добыче, ускоренного обнаружения утечек при транспортировке и повышения энергоэффективности на НПЗ.

Таблица 1

Результаты оценочных расчетов по этапам нефтяной цепочки

Этап	Технология / мера	Исходный сценарий	Оценочный эффект
Добыча	LDAR и устранение 70 % утечек	500 т CH ₄ /год	10 430 т CO ₂ -экв. /год
Транспортировка	Раннее обнаружение утечки	10 кг CH ₄ /ч; сокращение времени выявления с 10 суток до 1 суток	64,3 т CO ₂ -экв. на одно событие
Переработка	Энергоэффективность блока первичной перегонки	800 ТДж/год; снижение энергопотребления на 15%	6 732 т CO ₂ /год

Научная новизна исследования заключается в систематизации современных технологий минимизации выбросов парниковых газов по всей нефтяной цепочке «добыча – транспортировка – переработка» с единых методических позиций, в количественной оценке эффекта от внедрения ключевых технологий на основе расчетного подхода IPCC с использованием актуальных коэффициентов GWP для ископаемого метана, а также в обосновании приоритетности мер декарбонизации для каждого этапа нефтяной цепочки [7, 8, 9, 10, 11].

Личный вклад авторов заключается в верификации актуальных источников, их систематизации по стадиям нефтяной цепочки, выборе единой расчетной базы и выполнении оценок потенциального эффекта от внедрения технологий. Практическая ценность результатов состоит в возможности использования предложенного подхода при разработке программ декарбонизации

производственных активов, корпоративной климатической отчетности и мероприятий по снижению углеродного следа нефти и нефтепродуктов [3, 4]. Перспективы использования результатов связаны с дальнейшим развитием непрерывного мониторинга метана, цифровых двойников трубопроводов, низкоуглеродного водорода и технологий улавливания CO₂ на НПЗ.

Проведенный анализ показал, что минимизация выбросов парниковых газов в нефтяной отрасли должна строиться по принципу технологической очередности. Систематизация технологий продемонстрировала, что на этапе добычи максимальный эффект обеспечивают программы LDAR – до 10 430 т CO₂-экв./год при сокращении 70 % утечек на месторождении с исходным уровнем 500 т CH₄/год; на этапе транспортировки – сокращение времени обнаружения утечки, позволяющее предотвратить до 64,3 т CO₂-экв. на одно событие; на этапе переработки – повышение энергоэффективности, обеспечивающее сокращение до 6 732 т CO₂/год для блока мощностью 800 ТДж/год при снижении энергопотребления на 15 %. Количественная оценка по методологии IPCC подтвердила, что сочетание мер оперативного характера и долгосрочных технологических решений является наиболее рациональной стратегией декарбонизации нефтяной отрасли. Полученные результаты могут быть использованы при разработке программ снижения углеродного следа нефти и нефтепродуктов в рамках корпоративной климатической отчетности.

Список литературы

1. Global Methane Tracker 2025 : [аналитический отчет] / International Energy Agency. – Paris : IEA, 2025. – Текст : электронный // IEA : [официальный сайт]. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2025> (дата обращения: 16.03.2026).
2. Global Gas Flaring Tracker Report 2025 : [аналитический отчет] / World Bank. – Washington : World Bank, 2025. – Текст : электронный // World Bank : [официальный сайт]. – URL: <https://www.worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction/publication/2025-global-gas-flaring-tracker-report> (дата обращения: 16.03.2026).
3. Богоявленский В.И. Эмиссия парниковых газов, глобальное потепление и нефтегазовая отрасль России / В.И. Богоявленский. – Текст : электронный // Научные труды Вольного экономического общества России. –

2022. – № 4. – С. 466–488. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/emissiya-parnikovyh-gazov-globalnoe-poteplenie-i-neftegazovaya-otrasl-rossii> (дата обращения: 16.03.2026).
4. Чиждова А.А. Углеродный след нефти: аналитический обзор методологий оценки следа и распределения выбросов парниковых газов / А.А. Чиждова. – Текст : электронный // Экспозиция Нефть Газ. – 2025. – № 7. – С. 146–152. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uglerodnyy-sled-nefti-analiticheskij-obzor-metodologiy-otsenki-sleda-i-raspredeleniya-vybrosov-parnikovyh-gazov> (дата обращения: 16.03.2026).
 5. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 : Energy / IPCC. – Hayama : Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. – Текст : электронный // IPCC : [официальный сайт]. – URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html> (дата обращения: 16.03.2026).
 6. IPCC Global Warming Potential Values / GHG Protocol. – 2024. – Текст : электронный // Greenhouse Gas Protocol : [официальный сайт]. – URL: <https://ghgprotocol.org/global-warming-potential-values> (дата обращения: 16.03.2026).
 7. Lu H. Methane emissions from the oil and gas supply chain: characteristics and mitigation / H. Lu, D. Xie, Y. F. Cheng. – Текст : электронный // Nexus. – 2025. – Vol. 2. – Art. 100087. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950160125000348> (дата обращения: 16.03.2026).
 8. Cooper J. Methane detection and quantification in the upstream oil and gas sector: the role of satellites in emissions detection, reconciling and reporting / J. Cooper, L. Dubey, A. Hawkes. – Текст : электронный // Environmental Science: Atmospheres. – 2022. – Vol. 2, № 1. – P. 9–23. – URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/ea/d1ea00046b> (дата обращения: 16.03.2026).
 9. Gong Y. A review on gas pipeline leak detection: acoustic-based, OGI-based and multimodal fusion methods / Y. Gong, C. Bao, Z. He, Y. Jian, X. Wang, H. Huang, X. Song. – Текст : электронный // Information. – 2025. – Vol. 16, № 9. – Art. 731. – URL: <https://www.mdpi.com/2078-2489/16/9/731> (дата обращения: 16.03.2026).

10. Rafeek M. Sustainable refining: integrating renewable energy and advanced technologies / M. Rafeek, M. Elwardany, A. M. Nassib [et al.]. – Текст : электронный // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2025. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-025-14673-z> (дата обращения: 16.03.2026).
11. Sunny N. S. N. A pathway towards net-zero emissions in oil refineries / N. S. N. Sunny, A. Bernardi, D. Danaci, M. Bui, A. Gonzalez-Garay, B. Chachuat. – Текст : электронный // Frontiers in Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 4. – Art. 804163. – URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fceng.2022.804163> (дата обращения: 16.03.2026).
12. Постановление Правительства РФ от 20.06.2005 г. № 385 «О федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы».
13. Приказ МЧС России от 16.10.2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».
14. Приказ МЧС России от 25.10.2017 г. № 467 «Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах».
15. Приказ МЧС России от 30.12.2005 г. № 1027 «О дополнительных мероприятиях по формированию федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы».
16. Приказ Главного управления МЧС России по Республике Татарстан и МЧС Республики Татарстан от 08.07.2022 г. №960/194 «О назначении должностных лиц территориального пожарно-спасательного гарнизона Республики Татарстан».

Бережливое производство в управлении экологической безопасностью нефтепромыслового трубопровода

Урядникова Н. С.

Магистрант

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ»

Гоголь Э. В.

Доцент

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ»

Аннотация: в статье рассматривается возможность применения инструментов бережливого производства для повышения уровня экологической безопасности нефтепромысловых трубопроводов. Анализируются современные подходы к внедрению Lean-технологий в нефтегазовой отрасли, а также методы диагностики техногенной трансформации природной среды. Предлагается концептуальная модель управления, объединяющая принципы бережливого производства с задачами предотвращения аварийных разливов и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Приводится количественная оценка снижения экологических рисков на основе балльной методики.

Ключевые слова: бережливое производство, экологическая безопасность, нефтепромысловый трубопровод, техногенная трансформация, непроизводительное время, битумизация, галогенез

Эксплуатация нефтепромысловых трубопроводов на территории Российской Федерации сопряжена с высокими экологическими рисками, обусловленными значительным износом основных фондов и аварийностью линейных объектов. К нефтепромысловым относятся внутривыпускные трубопроводы, выкидные линии и нефтесборные сети, которые отличаются от магистральных трубопроводов меньшим диаметром, более разветвленной конфигурацией и, как следствие, повышенной аварийностью [4]. Цель данной статьи – обосновать применение принципов бережливого производства для повышения уровня экологической безопасности нефтепромыслового трубопровода на основе анализа современных подходов к управлению техногенными процессами.

Отечественная промышленность переживает критически важный этап своего развития, когда «для преодоления существующих вызовов требуется комплексный системный подход, направленный на всестороннее развитие производственных процессов» [2]. В этом контексте концепция бережливого производства, изначально разработанная для повышения экономической эффективности, приобретает новое измерение, связанное с управлением экологическими аспектами деятельности. А.А. Коровина справедливо отмечает, что «Lean Production – это производство, где нет излишеств и потерь, а в основе системы лежит принцип снижения издержек и улучшения потребительских свойств товаров» [4]. Однако потенциал устранения потерь может быть распространен не только на финансовые и временные ресурсы, но и на экологические издержки, связанные с аварийными разливами нефти.

При эксплуатации нефтяных месторождений, включая трубопроводную инфраструктуру, формируются три основных типа техногенного воздействия на природную среду: механогенез, битумизация и галогенез. Механогенез проявляется в физическом нарушении целостности почвенно-растительного покрова при строительстве и обслуживании трубопроводов. Битумизация выражается в миграции нефтяных углеводородов по почвам, грунтам и подземным водам, что приводит к их разрушению и загрязнению. Галогенез, в свою очередь, связан с распространением солей, содержащихся в подтоварных водах, которые нередко сопутствуют транспортируемой нефти [1]. Именно эти процессы становятся источником долговременной экологической опасности при аварийных разрывах трубопроводов.

Особую тревогу вызывает ситуация в карстовых районах, где нефтепромысловое техногенез приобретает скрытый и трудно прогнозируемый характер. Ю.В. Хотяновская с соавторами установили, что «карстовые полости могут аккумулировать нефть на длительный период и постоянно загрязнять водотоки» [6]. Потенциальная емкость карстового массива для накопления углеводородов может составлять значительные объемы, что создает эффект «отложенного» экологического ущерба. В таких условиях традиционные методы реагирования на аварийные разливы оказываются недостаточно эффективными, что требует внедрения превентивных управленческих подходов, основанных на принципах бережливого производства.

Разработанная концептуальная модель управления экологической безопасностью нефтепромыслового трубопровода на основе Lean включает четыре последовательных этапа [3]:

Первый этап – диагностический, предполагающий картирование потока создания ценности и выявление участков трубопровода с наибольшими экологическими рисками.

Второй этап – аналитический, в рамках которого производится идентификация видов потерь (ожидание ремонтной бригады, лишние перемещения, дефекты сварных швов, перепроизводство диагностических данных).

Третий этап – внедренческий, включающий стандартизацию процедур обслуживания и ремонта, организацию рабочих мест по системе 5С, визуализацию критических точек.

Четвертый этап – контрольный, предполагающий регулярный мониторинг ключевых показателей эффективности и непрерывное улучшение (Кайдзен).

Инструменты бережливого производства могут быть успешно адаптированы для решения задач управления экологической безопасностью трубопроводного транспорта. М.С. Вагин подчеркивает, что «повышение производительности труда, сокращение издержек и оптимизация производственных процессов являются главными задачами концепции бережливого производства» [2]. Применительно к трубопроводной инфраструктуре это означает, что устранение потерь должно включать не только экономию материальных ресурсов, но и сокращение времени простоя оборудования, предотвращение дефектов (утечек) и оптимизацию ремонтных работ. Каждый час непроизводительного времени при ликвидации аварии напрямую увеличивает объемы выбросов и масштабы загрязнения.

Т.Б. Саматова предлагает рассматривать бережливую нефтепереработку как «адаптивную систему, использующую принципы Lean для обеспечения безопасных условий труда и предотвращения всех видов потерь» [5]. Аналогичный подход может быть адаптирован для нефтепромысловых трубопроводов. Ключевыми инструментами здесь выступают картирование потока создания ценности (для выявления этапов эксплуатации с наибольшими экологическими рисками), система 5С (для организации порядка на объектах обслуживания и ремонта), а также всеобщий уход за оборудованием (Total Productive Maintenance) [5]. TPM позволяет перейти от реактивного устранения аварий

к их предупреждению через вовлечение персонала в процессы диагностики и профилактики.

Внедрение системы 5С на объектах трубопроводной инфраструктуры предполагает сортировку оборудования и инструментов по степени необходимости, соблюдение порядка на рабочих местах, регулярную уборку и стандартизацию процедур. Н.В. Горохова и Е.В. Дресвянникова отмечают, что «в основе бережливого производства находится устранение потерь во всех сферах производства, включая снабжение и производственный менеджмент» [3]. Для трубопроводного транспорта это означает необходимость пересмотра подходов к планово-предупредительным ремонтам, оптимизации маршрутов патрулирования и внедрения стандартных операционных процедур (СОП) для аварийно-восстановительных бригад.

Серьезным барьером на пути внедрения Lean на нефтепромысловых трубопроводах является территориальная распределенность объектов. Удаленность участков трубопровода от ремонтных баз приводит к увеличению времени реагирования на аварии. Сокращение непроизводительного времени при ликвидации аварийных разливов — это, пожалуй, одно из наиболее перспективных направлений повышения экологической безопасности. Логика здесь проста: каждый час задержки в локализации утечки напрямую увеличивает площадь загрязнения, а также глубину проникновения углеводородов в почвенные горизонты. Применение инструментов бережливого производства открывает здесь широкие возможности. Речь идет об оптимизации логистики доставки ремонтных бригад, о стандартизации процедур реагирования — вплоть до мельчайших операций, — и, что не менее важно, о сокращении времени принятия решений в кризисных ситуациях.

Однако ключевой вопрос, требующий ответа, звучит так: как именно внедрение Lean-инструментов сказывается на количественных параметрах экологической безопасности? Иными словами, нам нужны не декларации, а цифры. Для количественной оценки экологических аспектов была использована методика балльной оценки рисков, апробированная в рамках дисциплины «Системы экологического менеджмента» (кейс 1–6 недель).

Суть подхода заключается в следующем. Каждому фактору, влияющему на вероятность возникновения аварийной ситуации и масштаб ее последствий, присваивается балльная оценка по 10-балльной шкале, где 0 соответствует

полному отсутствию риска, а 10 — максимально возможному (авария с катастрофическими последствиями). С учетом доли фактора в группе ($q_{i,j}$) рассчитывается итоговый показатель. Чем ниже сумма баллов, тем выше уровень экологической безопасности. В нашем случае рассматривались две ключевые группы факторов: «Битумизация» (загрязнение углеводородами) и «Галогенез» (засоление почв и вод). Доли факторов определены экспертным путем с учетом их вклада в общий экологический риск на основе данных, представленных в работах [1, 4, 6].

Обратимся к расчетам по группе «Битумизация». В данную группу включены три основных фактора: объем утечки нефти при аварии (V , м³), площадь загрязнения почвенного покрова (S , га) и время ликвидации разлива (T , часы). Исходные данные получены из анализа эксплуатационной отчетности, а также из результатов геоэкологических исследований, представленных в работах [1, 6]. Для целей демонстрации методики были приняты следующие условные значения, характерные для типового нефтепромыслового трубопровода в условиях Западной Сибири.

До внедрения Lean-инструментов (условно — «традиционный подход») средние показатели составляли: объем утечки — 12,5 м³, площадь загрязнения — 0,35 га, время ликвидации — 48 часов. Соответственно, балльные оценки факторов выглядели так: $B(V) = 7$ (значительный объем, серьезное загрязнение), $B(S) = 6$ (загрязнение средней площади, требует вмешательства), $B(T) = 8$ (длительное время реагирования, что критично). С учетом долей факторов в группе ($q(V)=0,4$; $q(S)=0,3$; $q(T)=0,3$) итоговая сумма баллов по группе «Битумизация» составляла:

$$\Sigma(\text{Витум}) = 0,4 \times 7 + 0,3 \times 6 + 0,3 \times 8 = 2,8 + 1,8 + 2,4 = 7,0 \text{ балла.}$$

Это довольно высокий показатель, свидетельствующий о серьезном уровне риска.

После внедрения Lean-инструментов (оптимизация логистики, стандартизация процедур, применение беспилотной аэрофотосъемки для ранней диагностики [1]) показатели изменились: объем утечки сократился до 5,2 м³ (за счет оперативного перекрытия), площадь загрязнения — до 0,12 га, время ликвидации — до 18 часов. Балльные оценки снизились: $B(V) = 3$ (умеренный объем, локальный характер), $B(S) = 2$ (незначительное пятно, быстро локализуется),

$B(T) = 3$ (быстрое реагирование, в пределах нормы). Новая сумма баллов по группе «Битумизация»:

$$\Sigma(\text{Витум}) = 0,4 \times 3 + 0,3 \times 2 + 0,3 \times 3 = 1,2 + 0,6 + 0,9 = 2,7 \text{ балла.}$$

Снижение более чем в 2,5 раза — согласитесь, результат весьма показательный.

Аналогичные расчеты проведены для группы «Галогенез». Здесь учитывались следующие факторы: объем сброса подтоварных вод (W , м³), площадь засоления почв (S , га), концентрация хлоридов в сточных водах (C , мг/л). Исходные данные, как и в предыдущем случае, получены из геоэкологических исследований и анализа отчетности [6].

До внедрения Lean: $W = 150 \text{ м}^3$, $B(W) = 6$ (значительный сброс); $S = 0,20 \text{ га}$, $B(S) = 5$ (заметное засоление); $C = 320 \text{ мг/л}$, $B(C) = 7$ (высокая токсичность). Доли факторов: $q(W)=0,3$; $q(S)=0,3$; $q(C)=0,4$. Итоговая сумма:

$$\Sigma(\text{Гал}) = 0,3 \times 6 + 0,3 \times 5 + 0,4 \times 7 = 1,8 + 1,5 + 2,8 = 6,1 \text{ балла.}$$

После внедрения Lean-инструментов (включая оптимизацию режимов сброса и ужесточение контроля [4]): $W = 62 \text{ м}^3$, $B(W) = 2$ (минимальный сброс); $S = 0,06 \text{ га}$, $B(S) = 1$ (следы засоления); $C = 185 \text{ мг/л}$, $B(C) = 3$ (умеренная концентрация, в пределах допустимого). Новая сумма по группе «Галогенез»:

$$\Sigma(\text{Гал}) = 0,3 \times 2 + 0,3 \times 1 + 0,4 \times 3 = 0,6 + 0,3 + 1,2 = 2,1 \text{ балла.}$$

Снижение — почти в три раза.

Обобщая результаты, можно констатировать: интеграция Lean-принципов позволила снизить суммарную балльную оценку экологических рисков с 13,1 ($7,0 + 6,1$) до 4,8 ($2,7 + 2,1$), то есть более чем на 60%. Это количественное подтверждение того, что бережливое производство действительно повышает экологическую безопасность нефтепромысловых трубопроводов — не умозрительно, а в цифрах. Предотвращенный объем разливов, рассчитанный как разница между утечками до и после внедрения, составил 7,3 м³ на одну аварийную ситуацию. Для наглядности результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Практика убедительно подтверждает эффективность использования беспилотных летательных аппаратов для сплошной аэрофотосъемки местности. Данный метод диагностики позволяет выявлять участки, где происходят процессы битумизации и галогенеза — те самые, которые при обычном наземном обходе, как правило, остаются незамеченными [1]. Обследование с помощью дронов дает возможность своевременно фиксировать зоны скрытого

нефтяного и солевого загрязнения там, где традиционные методы контроля, увы, оказываются недостаточно информативными. Кстати, именно эти данные — координаты выявленных очагов загрязнения — служат основой для корректировки балльных оценок при повторных циклах оценки.

Таблица 1

Результаты балльной оценки экологических рисков до и после внедрения Lean-инструментов

Группа факторов	Показатель	До внедрения	После внедрения
Битумизация	Объем утечки (V), м ³	12,5	5,2
Битумизация	Площадь загрязнения (S), га	0,35	0,12
Битумизация	Время ликвидации (T), ч	48	18
Битумизация	Итоговая сумма баллов	7,0	2,7
Галогенез	Объем сброса вод (W), м ³	150	62
Галогенез	Площадь засоления (S), га	0,20	0,06
Галогенез	Концентрация хлоридов (C), мг/л	320	185
Галогенез	Итоговая сумма баллов	6,1	2,1
Итого	Суммарная балльная оценка	13,1	4,8

Когда результаты дистанционного зондирования интегрируются с информационными стендами в рамках системы визуального управления, формируется целостная, прозрачная картина экологических рисков на объекте.

Подобная визуализация позволяет — и это важно подчеркнуть — в кратчайшие сроки доводить до сведения обслуживающего персонала актуальные данные о техническом состоянии трубопровода, о выявленных дефектах, об участках, требующих первоочередного ремонта. В итоге повышается оперативность принятия решений и, как следствие, снижается вероятность развития аварийной ситуации.

Использование принципов бережливого производства, вне всякого сомнения, представляет собой один из наиболее действенных способов повышения результативности работы промышленных предприятий. Для организаций нефтегазового сектора, функционирующих в условиях высокой волатильности рынка и постоянно меняющейся экономической конъюнктуры, этот подход приобретает особое — я бы сказал, стратегическое — значение [4]. Экономическая отдача от внедрения Lean-инструментов, что характерно, напрямую связана с экологическими результатами. Сокращение числа аварий и утечек позволяет не только уменьшить финансовые потери компании, но и существенно снизить нагрузку на окружающую среду, предотвращая масштабное загрязнение почв и водных объектов. Следовательно, бережливое производство становится важнейшим элементом корпоративной экологической политики.

Таким образом, интеграция принципов бережливого производства в систему управления экологической безопасностью нефтепромысловых трубопроводов — это вполне осознанная стратегия. Она позволяет, с одной стороны, сократить экономические потери, связанные с аварийными остановками и ликвидацией последствий. С другой, минимизировать долгосрочный ущерб, наносимый природной среде.

Очевидно, что для объективной оценки результативности Lean-преобразований на линейных объектах нефтегазовой инфраструктуры необходима система количественных показателей. Помимо балльной оценки, представленной выше, в качестве дополнительных параметров предлагается использовать три ключевых показателя: среднее время между отказами (MTBF), отражающее надежность оборудования; среднее время восстановления (MTTR), характеризующее эффективность ремонтных служб; а также, что принципиально важно, объем предотвращенных разливов, выраженный в тоннах нефтяного эквивалента. В нашем случае предотвращенный объем составил 7,3 м³ на одну аварийную ситуацию.

Перспективные исследования, на наш взгляд, должны быть сосредоточены на двух взаимосвязанных направлениях. Во-первых, это апробация модели на реальных объектах — только практика способна подтвердить ее состоятельность. Во-вторых, адаптация Lean-инструментов к специфическим условиям эксплуатации трубопроводов в разных климатических зонах: то, что эффективно в условиях Западной Сибири, может оказаться мало применимо в районах с суровым арктическим климатом или в зонах с развитыми карстовыми процессами.

Список литературы

1. Бузмаков С.А. Применение беспилотной аэрофотосъемки для диагностики техногенной трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения / С.А. Бузмаков, П.Ю. Санников, Л.С. Кучин, Е.А. Игошева, И.Ф. Абдулманова // Записки Горного института. – 2023. – № 260. – С. 180-193.
2. Вагин М.С. Влияние бережливого производства на конкурентоспособность российской промышленности / М.С. Вагин // Власть и управление на Востоке России. – 2025. – № 1 (110). – С. 145-157.
3. Горохова Н.В. Современное развитие системы бережливого производства в российской промышленности / Н.В. Горохова, Е.В. Дресвянникова // Актуальные вопросы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 100-летию плана ГОЭРЛО, 3–4 декабря 2020 г., г. Ижевск. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – С. 27.
4. Коровина А.А. Перспективы бережливого производства в нефтегазовой промышленности / А.А. Коровина // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2023. – Т. 14. – № 2. – С. 55-63.
5. Саматова Т.Б. Бережливая нефтепереработка, как область развития бережливого производства / Т.Б. Саматова // Московский экономический журнал. – 2021. – № 7. – С. 364-371.
6. Хотяновская Ю.В. Геоэкологические закономерности трансформации природной среды при эксплуатации нефтяного месторождения в карстовом районе / Ю.В. Хотяновская, С.А. Бузмаков, Л.С. Кучин // Географический вестник. – 2023. – № 1 (64). – С. 127-138.

Актуальные аспекты проектирования систем противопожарной защиты производственных зданий предприятий оборонно-промышленного комплекса

Фатыхова Л. А.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Ведерников С. А.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: рассмотрены особенности разработки проектных решений по оснащению производственного здания предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК) автоматической дренчерной установкой пожаротушения (АУП-Д) и быстродействующей автоматической пожарной сигнализацией (БАПС). Представлены результаты анализа исходных данных объекта защиты, обоснование выбора типа установок, алгоритм интеграции систем и требования к оборудованию во взрывозащищённом исполнении.

Ключевые слова: техносферная безопасность, дренчерная установка пожаротушения, быстродействующая автоматическая пожарная сигнализация, взрывозащищённое электрооборудование, энергонасыщенные материалы

Предприятия оборонно-промышленного комплекса России, специализирующиеся на производстве оружия, боеприпасов и энергонасыщенных материалов традиционно относятся к категории объектов повышенной взрывопожарной опасности, что обусловлено спецификой технологических процессов, связанных с обращением легковоспламеняющихся жидкостей, горючих газов и взрывоопасных пылевидных фракций. Именно поэтому к системам противопожарной защиты таких производственных зданий предъявляются особо жёсткие требования, регламентируемые как федеральным законодательством, так и ведомственными нормативными документами. В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 1 сентября 2021 года № 1464, при проведении капитального ремонта или реконструкции объектов защиты необходимо руководствоваться актуальными положениями Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», что

создаёт объективные предпосылки для модернизации существующих систем автоматической противопожарной защиты [1].

Настоящая статья посвящена разработке проектных решений по оснащению одного из типовых производственных зданий завода по выпуску энергонасыщенных материалов автоматической дренчерной установкой пожаротушения и быстродействующей автоматической пожарной сигнализацией в рамках капитального ремонта помещений, причём особое внимание уделяется вопросам взрывобезопасности и интеграции указанных систем в единый алгоритм управления.

Объектом защиты выступает производственное здание, расположенное в одном из промышленных регионов Российской Федерации, на территории которого осуществляется полный цикл изготовления и хранения энергонасыщенных материалов. В ходе капитального ремонта помещений предусматривается комплекс работ по модернизации систем внутреннего электроснабжения и электроосвещения, что, в свою очередь, создаёт благоприятные условия для одновременного совершенствования систем противопожарной защиты без существенного увеличения эксплуатационных расходов. Учитывая, что технологические регламенты допускают наличие в воздухе рабочей зоны горючих газов, паров легковоспламеняющихся жидкостей либо горючей пыли, всё электрооборудование, размещаемое в указанных помещениях, должно иметь взрывозащищённое исполнение, соответствующее категории и группе взрывоопасной смеси. В разработанном проекте применены, в частности, светильники взрывозащищённые типа «Вега 60» в исполнении 2Ex CCM-CCBз 02-060 с маркировкой Ex tb III T80°C IP65, а также взрывозащищённые кабельные вводы марки ВАМ1-ГЗ/4, причём наличие знака взрывобезопасности «Ex» на каждом элементе оборудования является обязательным условием, установленным Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 012/2011 [2].

Проектные решения разрабатывались в строгом соответствии с требованиями следующих нормативных документов: СП 485.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» (с Изменением № 1), Постановления Правительства РФ № 1464 от 01.09.2021, НПБ 110-99 «Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией», а также Правил

устройства электроустановок (ПУЭ, издание седьмое). Для защиты рассматриваемого производственного здания в качестве автоматической установки пожаротушения обоснованно выбрана дренчерная система (АУП-Д), которая, согласно определению, данному в СП 485.1311500.2020, представляет собой установку, оборудованную дренчерными оросителями или генераторами пены, при срабатывании которой огнетушащее вещество подаётся одновременно из всех оросителей или распылителей данной установки либо её секции. Выбор в пользу дренчерной системы обусловлен несколькими ключевыми факторами, а именно: высокой скоростью реагирования и способностью орошать всю защищаемую площадь практически мгновенно; возможностью создания водяных завес для локализации пожара в пределах отдельных технологических зон; доказанной эффективностью при тушении пожаров в помещениях с высокой горючей нагрузкой, характерной для энергонасыщенных материалов; а также относительной простотой конструкции и надёжностью эксплуатации. Следует особо подчеркнуть, что продолжительность действия дренчерной водяной установки для производственных помещений в соответствии с требованиями СП 485.1311500.2020 должна составлять не менее 60 минут, что обеспечивает достаточный запас времени для ликвидации даже крупного очага возгорания [3].

В качестве системы обнаружения пожара принята быстродействующая автоматическая пожарная сигнализация (БАПС), ключевым требованием к которой является минимизация временного интервала от момента возникновения очага возгорания до выдачи управляющего сигнала на включение дренчерной установки. В соответствии с пунктом 6.3.1 СП 485.1311500.2020, автоматическое включение дренчерной установки должно осуществляться по сигналам, поступающим от автоматических пожарных извещателей, входящих в состав системы пожарной сигнализации. В рамках предлагаемого проектного решения применяются пожарные извещатели пламени, обеспечивающие обнаружение возгорания на самой ранней стадии за счёт регистрации инфракрасного спектра излучения, а также приёмно-контрольный прибор, интегрируемый с узлами управления АУП-Д, и система резервирования каналов связи и электропитания, выполненная в соответствии с требованиями к надёжности для взрывопожароопасных объектов [4].

Алгоритм работы интегрированной системы противопожарной защиты предлагается в следующем виде. На первом этапе происходит обнаружение очага возгорания извещателями пламени, входящими в состав БАПС, после чего сформированный сигнал передаётся на приёмно-контрольный прибор, который формирует управляющий импульс и направляет его на открытие запорно-пускового устройства (сигнального клапана) дренчерной установки. Вслед за этим огнетушащее вещество, в качестве которого может использоваться вода или водопенный раствор, подаётся через дренчерные оросители на всю защищаемую площадь, одновременно формируется сигнал о срабатывании установки на пульт диспетчеризации. Кроме того, нормативной документацией предусматривается возможность дистанционного или местного ручного включения системы в соответствии с пунктом 6.3.8 СП 485.1311500.2020, что особенно важно в случае отказа автоматики или при необходимости проведения дополнительных мероприятий по тушению [5]. В качестве побудительной системы для дренчерной установки может применяться трубопровод диаметром не менее 15 мм, заполненный водой или раствором пенообразователя, что позволяет обеспечить надёжное и быстрое срабатывание.

В процессе разработки проектных решений был выполнен детальный расчёт электрических нагрузок осветительной сети производственного здания, позволивший определить резервы мощности для питания систем противопожарной защиты. Согласно проектной документации, установленная мощность рабочего освещения составляет порядка 14,2 кВт, а расчётная нагрузка — около 12,8 кВт при коэффициенте мощности 0,95, что учитывается при выборе источников бесперебойного питания для БАПС и АУП-Д в режиме ожидания. Для обеспечения взрывобезопасности на объекте принят комплекс следующих технических решений: кабельные линии выполняются кабелями марок ВВГнг(А)-LS и ВБШвнг(А)-LS, обладающими пониженным дымо- и газовыделением, что критически важно для обеспечения безопасной эвакуации персонала в случае пожара; металлорукава в ПВХ-НГ изоляции типа РЗ-ЦП-НГ-20 обеспечивают механическую защиту кабелей и герметизацию ввода во взрывоопасные зоны; корпуса распределительных щитов типа ШРН имеют степень защиты IP31 и оснащены оцинкованными DIN-рейками для монтажа автоматических выключателей и устройств защитного отключения; наконец, ответвительные коробки типа КР-В-100д-4.1 выполнены во взрывозащищённом исполнении с маркировкой

Ex db IIIC T6 Gb / Ex tb IIIC T85°C Db IP67, что гарантирует их безопасную эксплуатацию в условиях возможного появления взрывоопасных смесей [6].

Предлагаемые проектные решения позволяют достичь следующих результатов: минимизация времени обнаружения пожара благодаря применению высокочувствительных извещателей пламени; локализация и ликвидация возгорания на ранней стадии за счёт дренчерного орошения всей защищаемой площади; существенное повышение уровня взрывопожаробезопасности благодаря использованию сертифицированного взрывозащищённого оборудования; а также снижение рисков для персонала и уменьшение вероятного материального ущерба, что в совокупности обеспечивает непревышение допустимого уровня пожарного риска для данного объекта защиты.

В результате проведённого исследования разработаны и всесторонне обоснованы проектные решения по внедрению автоматической дренчерной установки пожаротушения и быстродействующей автоматической пожарной сигнализации для производственного здания предприятия по выпуску энергонасыщенных материалов. Ключевые выводы работы сводятся к следующему. Во-первых, выбор дренчерной системы в качестве основного средства автоматического пожаротушения для зданий, в которых обращаются энергонасыщенные материалы, является технически и экономически обоснованным решением, что подтверждается положениями СП 485.1311500.2020 и положительным опытом эксплуатации аналогичных установок на объектах оборонно-промышленного комплекса. Во-вторых, интеграция быстродействующей пожарной сигнализации и дренчерной установки по единому алгоритму с использованием извещателей пламени позволяет достичь минимального времени срабатывания всей системы и максимальной эффективности пожаротушения, что особенно важно для объектов с высокой горючей нагрузкой. В-третьих, обязательным условием безопасной эксплуатации любых систем противопожарной защиты на взрывопожароопасных объектах является применение оборудования, имеющего взрывозащищённое исполнение с соответствующей маркировкой «Ex» и необходимыми степенями защиты от проникновения твёрдых частиц и влаги (IP). Наконец, разработанные проектные решения полностью соответствуют актуальной нормативно-правовой базе Российской Федерации и могут быть рекомендованы для широкого внедрения на аналогичных предприятиях оборонно-промышленного комплекса, а также на других объектах, где

технологические процессы связаны с обращением легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ.

Список литературы

1. СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования: свод правил: утвержден и введен в действие приказом МЧС России от 31 декабря 2020 г. № 1043: дата введения 2021-04-01. – Издание официальное. – Москва: МЧС России, 2020. – Текст: непосредственный.
2. Постановление Правительства РФ от 1 сентября 2021 г. № 1464 «Об утверждении требований к оснащению объектов защиты автоматическими установками пожаротушения, системой пожарной сигнализации, системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре». – Текст: электронный. – URL: <http://government.ru/docs/all/135894/> (дата обращения: 20.04.2026).
3. НПБ 110-99. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией: нормы пожарной безопасности: приняты и введены в действие Главным управлением Государственной противопожарной службы МВД России 22 марта 1999 г.: дата введения 1999-05-01. – Текст: непосредственный.
4. ТР ТС 012/2011. О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах: технический регламент Таможенного союза: принят Решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 825: дата введения 2013-02-15. – Текст: непосредственный.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2016. – Текст: непосредственный.
6. Рабочая документация по капитальному ремонту помещений производственного здания. – [Б. м.]: Проектная организация, 2023. – Текст: непосредственный.

Совершенствование системы водоподготовки химического производства на примере ПАО «Казаньоргсинтез» с использованием рециркуляции осадка

Фатыхова Л. А.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Чернова А. В.

Магистрант

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Аннотация: рассмотрены современные проблемы промышленной водоподготовки на примере ПАО «Казаньоргсинтез». Проанализированы существующие методы очистки природной воды (коагуляция, флокуляция, отстаивание, фильтрование, хлорирование) и оборудование станции водоподготовки. Предложено инженерное решение по модернизации блока основных сооружений – установка рециркуляторов осадка в камеры хлопьеобразования.

Ключевые слова: водоподготовка, рециркуляция осадка, коагуляция, флокуляция, горизонтальный отстойник, скорый фильтр, техносферная безопасность, ПАО «Казаньоргсинтез»

Промышленная водоподготовка является одной из ключевых составляющих техносферной безопасности крупных химических предприятий. ПАО «Казаньоргсинтез» – один из ведущих производителей полиэтилена, фенола, поликарбонатов в России. Предприятие основано в 1958 году и в настоящее время выпускает более одного миллиона тонн полиэтилена и поликарбоната в год. Цех водоподготовки предприятия предназначен для снабжения водой питьевого качества как самого завода, так и жилого комплекса «Салават Купере». Вода забирается из реки Волга, однако её природное качество часто не соответствует современным санитарно-эпидемиологическим требованиям из-за наличия взвешенных веществ, органических соединений, патогенных микроорганизмов. Поэтому необходима многоступенчатая очистка, включающая механическую, физико-химическую и обеззараживающую стадии [1, 2].

Существующая технологическая схема водоподготовки на блоке основных сооружений (БОС) ПАО «Казаньоргсинтез» включает следующие основные

узлы: контактные камеры (2 штуки), горизонтальные отстойники, совмещённые с камерами хлопьеобразования (10 штук), скорые песчаные фильтры (14 штук), резервуар фильтрованной воды объёмом 6000 м³, башню промывной воды объёмом 500 м³, насосную станцию возврата промывных вод, а также резервуары объёмом 600 и 100 м³. Производительность станции составляет 100 000 м³/сут. Вода после очистки должна соответствовать требованиям СанПиН 2.1.3684-21 по органолептическим, обобщённым и микробиологическим показателям.

В ходе анализа работы станции было установлено, что наиболее затратной и критичной стадией является коагуляция и флокуляция – процессы объединения мелких коллоидных частиц в более крупные агрегаты (хлопья) под действием реагентов. В качестве коагулянта используется сернокислый алюминий $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией рабочего раствора 1,5–6%, а в качестве флокулянта – полиакриламид (ПАА) «аммиачный» с концентрацией 0,03–0,15% [3]. При гидролизе сульфата алюминия выделяются ионы водорода, что снижает pH воды и может замедлять образование хлопьев, особенно при низких температурах (зимой).

Для интенсификации процесса и снижения расхода коагулянта было предложено применить рециркуляцию части ранее сформировавшегося осадка. Рециркуляторы осадка (эжекционные устройства) устанавливаются непосредственно в камеры хлопьеобразования. Принцип их работы заключается в том, что часть осадка, содержащего уже сформировавшиеся хлопья гидроксида алюминия, возвращается в зону смешения с исходной водой и свежим коагулянтом. Эти хлопья служат дополнительными центрами хлопьеобразования, ускоряя процесс и позволяя снизить дозу коагулянта. Ожидаемая экономия коагулянта составляет до 15 %, а также ускоряется осаждение взвеси в отстойниках [4].

Технологическая схема после модернизации работает следующим образом. Речная вода с насосной станции первого подъёма поступает в контактные камеры прямоугольной формы размерами 27×5,3 м, объёмом 700 м³. В контактной камере организовано четыре продольных коридора, где происходит предварительное смешение воды с растворами коагулянта и флокулянта. Для интенсификации смешения в последнем коридоре предусмотрен барботаж сжатым воздухом. Время движения воды в контактной камере – 17 минут.

Затем вода самотёком поступает в камеры хлопьеобразования (10 штук), где установлены рециркуляторы осадка и хлопьеобразующие сотоблоки. В камерах хлопьеобразования происходит основная стадия коагуляции: мелкие частицы слипаются в хлопья гидроксида алюминия, которые сорбируют на себе взвешенные и коллоидные примеси. Из камер хлопьеобразования вода через затопленный водослив поступает в горизонтальные отстойники (10 штук), каждый из которых имеет размеры в плане 31,5×6 м, объём 813 м³. В отстойниках скорость горизонтального потока составляет около 0,9 мм/с, время пребывания – 2 часа. Крупные хлопья оседают на дно, а осветлённая вода собирается с помощью горизонтальных подвесных желобов с отверстиями и направляется в сборный коллектор [5]. Далее вода поступает на скорые песчаные фильтры (14 штук) открытого типа, размером 6000×7500 мм, площадью фильтрования 35,04 м² каждый. Загрузка фильтров – кварцевый песок крупностью 0,5–1,8 мм или гидроантрацит крупностью 0,6–1,6 мм, высота слоя 2,6 м. Фильтрование происходит сверху вниз; по мере засорения загрузки (потеря напора 2–2,5 м вод. ст.) фильтр отключается и промывается обратным потоком воды из башни объёмом 500 м³. Промывная вода направляется на песколовки и далее в резервуар-накопитель, откуда насосами возвращается в голову сооружений. Фильтрованная вода обеззараживается раствором гипохлорита натрия, получаемым электролизом поваренной соли, и поступает в резервуар чистой воды объёмом 6000 м³, откуда насосами второго подъёма подаётся потребителям.

Для оценки эффективности модернизации был составлен материальный баланс узлов хлопьеобразования, отстаивания и фильтрования. Исходные данные: производительность станции 100 000 м³/сут, расход хозяйственно-питьевой воды на собственные нужды – 6312 м³/сут (6,3 %). В исходной воде (волжская вода) содержание взвешенных веществ – 13 мг/л, кальция – 29,5 мг/л, магния – 12,3 мг/л, железа – 0,37 мг/л, хлоридов – 12,5 мг/л, меди – 0,1 мг/л. Эффективность осветления в отстойниках, совмещённых с камерами хлопьеобразования, составляет 80%, а в скорых фильтрах – 78%. Расчёт выполнен на объём воды 813 м³, соответствующий одному отстойнику. Масса взвешенных веществ на входе в контактную камеру: 13 мг/л × 813 м³ = 10569 мг = 10,569 г. После отстаивания масса взвешенных веществ в осветлённой воде составила 2,1138 г, а в осадке – 8,4552 г. После фильтрования остаточная масса взвешенных веществ – 0,465036 г, что соответствует концентрации 0,572 мг/л, что ниже

нормативной (1,5 мг/л). Аналогичные расчёты проведены для кальция, магния, нитратов, меди, хлоридов, железа. Материальный баланс сходится с точностью до сотых долей процента. Применение рециркуляции позволило снизить расход коагулянта с 49 до 41,65 кг на 1000 м³ воды, то есть на 7,35 кг/тыс. м³. При цене коагулянта 3,567 тыс. руб./кг ежемесячная экономия составит около 26,22 тыс. руб. (исходя из производительности станции). Кроме того, рециркуляция ускоряет осаждение коагулированной взвеси, что особенно важно при обработке маломутных цветных вод в зимний период.

Технологические параметры оборудования были пересчитаны с учётом рециркуляции. Площадь всех камер хлопьеобразования (КХО) определена по формуле $\sum F_k = q_{\text{час}} / (3600 \cdot v)$, где v – скорость восходящего потока (0,002 м/с). При $q_{\text{час}} = 4166,67 \text{ м}^3/\text{ч}$ суммарная площадь составила 578,7 м². При количестве камер $n=10$ площадь одной камеры – 57,87 м². Ширина камеры принята равной ширине отстойника (6 м), тогда длина камеры $l_k = 57,87/6 = 9,645 \text{ м}$. Высота камеры $h_k = h_{\text{отс}} + h_p = 2,65 + 0,15 = 2,8 \text{ м}$. Расход воды на одну камеру – 115,74 л/с. Горизонтальные отстойники рассчитаны на скорость выпадения взвеси $U_0 = 0,4 \text{ мм/с}$ (для маломутных цветных вод, обрабатываемых коагулянт-ом). Суммарная площадь отстойников $F_{\text{го}} = 1,3 \cdot 4166,67 / (3,6 \cdot 0,4) = 3761,57 \text{ м}^2$. Длина отстойника при средней горизонтальной скорости $v_{\text{ср}} = 5 \text{ мм/с}$ и глубине $H_{\text{ср}} = 2,5 \text{ м}$: $L = (5/0,4) \cdot 2,5 = 31,25 \text{ м}$. Ширина одного отстойника при $N=10$: $B = 4166,67 / (3,6 \cdot 5 \cdot 2,5 \cdot 10) = 9,25 \text{ м}$. Поскольку ширина более 6 м, отстойник разделяется продольными перегородками на три коридора шириной около 3 м каждый. Параметры рециркуляционного аппарата: расход воды на один аппарат – 6,775 м³/с, диаметр корпуса 204×4 мм, длина 850 мм, скорость во всасывающем сопле 0,05 м/с. Аппарат устанавливается в каждой камере хлопьеобразования.

Экономическое обоснование основано на снижении расхода коагулянта. Фактический расход коагулянта составлял 49 кг/тыс. м³, теоретический после модернизации – 41,65 кг/тыс. м³. Цена коагулянта 3,567 тыс. руб./кг. Ежемесячная экономия только по коагулянту – 26,22 тыс. руб., или 314,6 тыс. руб. в год. Кроме того, снижаются затраты на транспортировку и хранение реагентов, уменьшается объём осадка, требующего утилизации. Капитальные затраты на установку рециркуляторов невелики, поскольку это стандартные

малогабаритные аппараты, монтируемые в существующие камеры. Окупаемость ожидается менее одного года.

С точки зрения техносферной безопасности, модернизация не создаёт новых опасностей, но требует строгого соблюдения правил эксплуатации реагентного хозяйства. В цехе водоподготовки используются следующие химически опасные вещества: сернокислый алюминий (4 класс опасности, ПДК в воде 0,5 мг/л), полиоксихлорид алюминия (4 класс), полиакриламид (3 класс), праестол (4 класс), гипохлорит натрия (3 класс, ПДК по активному хлору 0,1 мг/л). Эти вещества могут вызывать раздражение кожи, слизистых оболочек, ожоги. Поэтому персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты (респираторы, защитные очки, резиновые перчатки, спецодежда). В помещении реагентного корпуса предусмотрена приточно-вытяжная вентиляция, автоматический контроль воздушной среды, система водяной завесы на случай аварийного выброса. Все ёмкости и трубопроводы заземлены для защиты от статического электричества. Периодически проводится дезинфекция сооружений гипохлоритом натрия [6].

Основные опасные производственные факторы – повышенное напряжение в электрических цепях (220, 380, 6000 В), загазованность, работа в заглублённых помещениях (колодцы, камеры переключения). Разработаны инструкции по охране труда и план ликвидации аварий. Складское хранение сыпучих реагентов осуществляется в закрытых помещениях на стеллажах, жидкие реагенты – в герметичных ёмкостях.

Экологический аспект: предприятие осуществляет забор воды из реки Волга. Годовая плата за водозабор составляет $54750000 \text{ м}^3 \times 7,54 \text{ руб./м}^3 = 412815000 \text{ руб.}$ Снижение расхода коагулянта и ускорение очистки позволяют уменьшить сброс загрязняющих веществ с промывными водами. Промывные воды после отстаивания и удаления песка возвращаются в голову сооружений, что снижает нагрузку на водоём. Улучшение качества очистки приводит к уменьшению концентрации остаточного алюминия и железа в питьевой воде, что благоприятно сказывается на здоровье населения [7].

Таким образом, предложенная модернизация системы водоподготовки ПАО «Казаньоргсинтез» путём установки рециркуляторов осадка в камеры хлопьеобразования является технически обоснованной, экономически эффективной и безопасной. Она позволяет снизить расход коагулянта на 15%, ускорить

процесс хлопьеобразования, повысить качество очищенной воды и уменьшить антропогенную нагрузку на водные объекты. Рекомендуется внедрение данной технологии на других станциях водоподготовки, работающих с маломутными цветными водами, особенно в регионах с холодным климатом.

Список литературы

1. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 4. – Москва, 2021. – (Санитарные правила и нормы).
2. Методы очистки промышленных и сточных вод учебное пособие / Т.А. Сидорова, Е.А. Глушанкова, А.М. Аксёнова, О.С. Верисокина. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 112 с.
3. Очистка природных вод / под редакцией Е.Д. Сметанина. – Казань: КНИТУ, 2016. – 180 с.
4. Горизонтальный отстойник: пат. 2438992 Рос. Федерация. – Опубл. 10.01.2012.
5. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. – Москва: Минрегион России, 2012. – (Свод правил).
6. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. – Москва: Издательство стандартов, 1974.
7. СНиП 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Москва Госстрой России, 2001.

Взаимодействие вуза и производства. Опыт кафедры инженерной экологии в этом вопросе

Ярошевский А. Б.

Доцент

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Подготовка высокопрофессиональных и конкурентоспособных кадров, отвечающих потребностям современного производства, является важнейшим компонентом экономического развития любой страны. От того, насколько университеты готовы выпускать таких специалистов, напрямую зависит будущее государства. Одним из факторов, обеспечивающих высокий уровень подготовки кадров, является взаимодействие вузов и производственных предприятий.

Эта вводная фраза не представляет особого интереса, так как просто является аналогом какой-нибудь общеизвестной сентенции типа «Волга впадает в Каспийское море». Действительно, необходимость и важность подобного взаимодействия была понятна всегда. По крайней мере, автор, имеющий более чем 50-летний педагогический стаж, может утверждать, что, проблема такого взаимодействия обсуждалась постоянно. Другое дело, что меняются требования к компетенциям молодого специалиста, меняются подходы предприятий и государства. Отсюда возникает вопрос: а существует ли на государственном уровне система, обеспечивающая взаимовыгодное, нацеленное на перспективу, взаимодействие вузов и промышленных предприятий.

ВУЗ – структура, созданная обществом для реализации 2-х глобальных целей:

- учебно-воспитательный процесс, необходимый для регенерации и повышения интеллектуального потенциала общества;
- научно-исследовательская работа, то есть работа, проводимая в рамках решения задач науки, учебного процесса и производства.

Здесь, как мы видим, вуз, реализуя свои программные цели, все время соприкасается с производством, взаимодействует с ним, задумывается

о необходимости что-то делать для промышленных предприятий, т.е. для структур, направленных на создание материальных благ.

Можно сказать, что учебный процесс, научно-исследовательская работа в вузе и производство постоянно тесно контактируют друг с другом. Фактически, промышленность вновь и вновь, каждый раз на более современной основе, ставит перед вузами задачи изучения нового оборудования, технологических процессов, принципов организации, управления производством.

Фактически, связь образования с наукой должна составлять основу для выработки стратегии, а связь с производством – основу для выработки тактики развития вузов.

И стратегия развития образования, и тактика действий вуза предполагают наличие системы, развивающейся под эгидой государства.

В Советском Союзе подобная система существовала. Была система обязательного распределения выпускников вузов. Студенты направлялись на производственную практику на профильные заводы, расположенные в различных регионах страны. На предприятиях за студентами закреплялся руководитель, который за свое руководство производственной практикой получал какую-то прибавку к зарплате.

Потом рухнула страна и предприятиям надо было выживать, а не думать о системе подготовки кадров. Однако постепенно жизнь в России налаживалась и сейчас уже наблюдается нехватка кадров и, даже, борьба предприятий за кадры.

Сегодня практически все крупные компании работают над вопросами обеспечения себя нужными кадрами, развивая при этом как привычные форматы, так и внедряя дополнительные, новые инструменты. Здесь и стипендиальные программы, и встречи с экспертами, и мастер-классы, и проведение федеральных и региональных олимпиад и конкурсов, и многое другое.

Несколько меньше уделяется внимания программам развития научно-технического взаимодействия вузов с предприятиями. У крупных предприятий есть потребность в новых разработках и новых технологиях. И, например, наш университет разрабатывает совместные программы с Сибуром, Газпромом, Татнефтью и другими промышленными гигантами. Но здесь, на мой взгляд, вузы очень редко могут предложить партнерам не просто идеи, пусть даже и хорошо

проработанные, а готовые технологии, хотя бы в виде, пригодном для создания реальных проектов.

Все, о чем я писал выше, касается вопросов выстраивания системы взаимодействия таких крупных структур как университеты и мощные промышленные объединения. А какова роль, какое место у кафедр в этой системе? Какой вклад они могут внести в развитие подобного взаимодействия?

Здесь я хотел бы немного рассказать о том, какой вклад вносит наша кафедра инженерной экологии и как она выстраивает свои взаимоотношения с предприятиями.

Традиционно, преподаватели нашей кафедры участвовали в работе ИДПО, читая лекции для экологов предприятий. Но, надо честно сказать, что большого обратного эффекта, существенно влияющего на совершенствование учебного процесса на кафедре, не было. Совсем иной «выхлоп» (воспользуюсь таким жаргонным словечком) дала наша работа с Сибуром в 2025 году. В Сибуре действует интересная система повышения квалификации работников предприятий холдинга. Холдинг заказывает вузу разработку курса лекций, методологии, практических заданий. В общем, полную методическую проработку, включая сценарный план, контрольные задания и критерии оценки. Все это в процессе обучения передается, так называемым, тренерам, которые затем обучают сотрудников всех предприятий холдинга.

Бурные дискуссии с экологами Сибура начались уже на стадии согласования технического задания. Мы по-разному видели то, что нужно знать линейному персоналу предприятий в области экологии. После того, как учеба была проведена, очень существенно изменилась позиция Сибура. Еще дальше продвинулось понимание того, какие экологические знания и в каком объеме необходимо давать производственному персоналу после того, как тренеры провели свои первые занятия. То же можно сказать и о наших преподавателях.

В результате, в Сибуре стали лучше понимать, чему нужно учить производственный персонал в части экологии. Мне кажется, что это было несколько неожиданно и очень полезно и для них, и для нас. Посетив занятия тренеров, мы тоже стали по-другому смотреть и на программы обучения студентов, которые реализуются на наших занятиях.

Я считаю, что это очень хороший пример того, как может быть организовано взаимодействие вуза и производства в деле повышения качества подготовки кадров.

Еще одна проблема – это место кафедры в системе научно-технического взаимодействия. Здесь возможны варианты: работа по заказу предприятий и проведение исследований, направленных на решение экологических проблем, предлагаемых кафедрой. В зависимости от степени готовности, работы могут быть сразу предложены предприятиям-партнерам или могут предполагать долгосрочное развитие отношений, которое не всегда приносит мгновенную прибыль, но всегда предполагает окупаемость для вуза и кафедры в перспективе.

В качестве примера могу назвать некоторые работы последнего времени, выполняемые на кафедре. На северо-западе Казани жители часто жалуются на неприятный запах. Перед нами была поставлена задача выявить все источники неприятного запаха, идентифицировать составляющие этих запахов и, как следствие, дать рекомендации по сокращению этого воздействия. Работа включала в себя маршрутное обследование, учет транспортных потоков, идентификацию составляющих запахов и проведение расчетов рассеивания выбросов загрязняющих веществ. Эта работа значима по многим критериям. Во-первых, работа на результат всегда интересна и позволяет наработать важный практический опыт. Во-вторых, к участию в исследованиях были привлечены и сотрудники кафедры, и студенты. Т.е. студенты уже на ранних стадиях обучения были приобщены к практически важной исследовательской работе. И, в-третьих, все участники, что тоже немаловажно, получили материальное вознаграждение.

В качестве работы кафедры на перспективу, можно назвать исследования по утилизации осадков сточных вод. Это чрезвычайно важная проблема. Только на городских очистных сооружениях Казани осадки – иловые поля - занимают более 100 гектаров. Работа интересная, значимая, перспективная. И, кроме того, она позволяет вовлекать в решение этой важной задачи студентов и даже школьников.

Необходимо отметить, что и работа по определению источников запаха, и некоторые другие работы кафедры, например, выдача рекомендаций по повышению эффективности малых очистных сооружений или исследования по обезвоживанию шлама на Нижнекамскнефтехиме, проводились в кооперации

с аналитическим центром нашего университета или при взаимодействии с другими кафедрами.

Взаимодействие с проектной структурой нашего вуза - еще одно, только развивающееся направление работы кафедры инженерной экологии. В настоящее время любой проект создания или модернизации какого-либо производства предполагает наличие раздела по экологии, раздела по оценке воздействия на окружающую среду. Кафедра только начинает работу в этом направлении, но, по-моему, оно имеет очень большие перспективы.

То, что я сказал о работе кафедры, это, все-таки, в немалой степени самостоятельная работа. Но сказанное показывает возможности развития системы взаимодействия вуза с производством в области НИР. По-видимому, наш университет со временем придет к созданию инжинирингового центра или какой-то другой аналогичной структуры. Этому способствует и развивающееся взаимодействие кафедр при создании новых технологий, и наличие в составе университета проектного института, и работа в этом направлении ректората и, в конце концов, желание государства и промышленных предприятий повышать эффективность вузовской науки.

Создание подобного инжинирингового центра, на мой взгляд, добавит системности и, как следствие, повысит продуктивность работы вузовских ученых и сократит путь от идеи до внедрения.

Здесь кафедра инженерной экологии может претендовать на очень важное место в системе, так как во всех проектах обязательно должен присутствовать экологический раздел и должна быть проведена оценка воздействия на окружающую среду.

Подводя итог своему выступлению, можно сказать, что при совместной работе в выигрыше оказываются и вузы, и предприятия. Это подтверждает и опыт нашей кафедры, и нашего университета.