

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)**

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ  
РЕСУРСОВ И ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО  
СЫРЬЯ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
НАУКИ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ХИМИЯ И  
БИОТЕХНОЛОГИЯ**

**Международная  
научная конференция**

**(2 - 6 июня 2025 г.)**

**Сборник докладов**

**Белгород  
2025**

Министерство науки и высшего образования РФ  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ  
РЕСУРСОВ И ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО  
СЫРЬЯ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
НАУКИ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ХИМИЯ И  
БИОТЕХНОЛОГИЯ**

Международная  
научная конференция

(2-6 июня 2025 г.)

Сборник докладов

Белгород  
2025

**УДК 628.4.038**

**ББК 30.69**

**P27**

*Составитель: В.Ю. Жиленко*

**В27    Рациональное использование природных ресурсов  
и переработка техногенного сырья:  
фундаментальные проблемы науки,  
материаловедение, химия и биотехнология: сб.  
докл. Междунар. научн. конф., 2 - 6 июня 2025 г. –  
Белгород: Изд-во БГТУ, 2025. – 484 с.**

ISBN 978-5-361-01557-3

Сборник содержит материалы докладов Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология» по тематическим направлениям: «перенос и трансформация загрязнителей в биосфере, геохимический мониторинг»; «фундаментальные проблемы и инновационные решения в сфере создания экологически чистых производств»; «химические процессы и инженерные решения в очистке сточных вод и газовых выбросов»; «переработка техногенного сырья: теоретические и прикладные аспекты»; «актуальные вопросы биотехнологии»; «рациональное природопользование в антропогенных условиях». Публикуется в авторской редакции

**УДК 628.4.038**

**ББК 30.69**

ISBN 978-5-361-01557-3

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. ПЕРЕНОС И ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В БИОСФЕРЕ. ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

**Вельможина К.А., Шинкевич П.С., Политаева Н.А.,  
Поздняков Ш.Р., Опарина А.М.**

Геохимический мониторинг влияния макрофитов на  
трансформацию азота и фосфора в эвтрофированной  
акватории..... 12

**Дембеле М., Гончарова Е. Н.**

Влияние нефти на прорастание семян растений..... 15

**Мушенко Д.А., Жиленко В.Ю.**

Иновационные решения в восстановлении экосистем..... 19

**Ольшанская Л.Н., Голов Д.А.**

Фиторемедиационная очистка почвы от хрома (Ш) с  
применением растения сои и внешних физических полей.... 23

**Патрикеев Д.Н., Таранцева К.Р.**

Выбор показателей для мониторинга загрязнения водоемов  
применением нейросетевых моделей..... 30

**Филонычев А.А., Тунакова Ю.А.**

Повышение достоверности моделирования  
распространения выбросов автотранспортных средств  
в приземном слое атмосферного воздуха..... 35

**Чертег К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н.,**

**Шушанян Г.А., Сеяно А.П.**

Фильтрационно-реологические особенности модели  
распространения загрязнений в геосреде..... 40

### СЕКЦИЯ 2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В СФЕРЕ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПРОИЗВОДСТВ

**Аешин Н.Н., Сомин В.А.**

Определение сорбционной способности панциря моллюска  
отношению к ионам кобальта..... 47

**Балахонов А.В., Гафаров Р.Р., Токач Ю.Е.,**

**Рубанов Ю.К.**

Разработка способа получения биоцидного  
композиционного покрытия из отходов производства..... 50



<b>Галимова А.Р., Акчурина А.Р.</b> Тарельчатый абсорбер для очистки газовых выбросов от оксида углерода.....	56
<b>Галиахметов Р.Л., Мингазетдинов И.Х.</b> Разработка гидроциклона с регулированием центрабежной силы.....	59
<b>Гуина Е.М., Иванцова Н.А.</b> Фотокаталитическая деструкция метронидазола в водных растворах под воздействием УФ-излучения с использование Degussa P25.....	64
<b>Дмитриева Ю.А., Михнев В.И., Кикалишвили Е.Н., Токач Ю.Е.</b> Мембранные технологии: инновационный метод в сфере экологической безопасности.....	68
<b>Ибатуллина Д. Э., Котляр М. Н.</b> Предпосевная обработка семян растений хитозаном: влияние на всхожесть и урожайность.....	72
<b>Николаева Л.А., Зайнуллина Э.Р.</b> Утилизация обратноосмотического концентрата ТЭС.....	84
<b>Раздобарин А.Е., Везенцев А.И.</b> Физико-химическое моделирование карбонизации стеклотары на основе полиэтилентерефталата.....	87
<b>Святченко А.В., Кучеренко С.В., Разинькова С.И.</b> О перспективности применения беспилотных летательных аппаратов в экологическом мониторинге.....	92
<b>Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллина Р.А., Нурмехамитова В.А., Шагидуллин А.Р.</b> Способ определения концентраций парникового газа диоксида углерода в зоне влияния предприятия органического синтеза.....	97
<b>Чертег К.Л., Тупицына О.В., Ермаков В.В., Пыстин В.Н., Шушанян Г.А.</b> Технология обезвреживания загрязнений водоэмульсионного слоя накопителей отходов нефтяного комплекса.....	102

### СЕКЦИЯ 3. ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД И ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

**Абрамова А.С., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И.,  
Кошелев А.В.**

Десорбция ионов  $Fe^{2+}$  с поверхности отработанного сорбционного материала, выполненного на основе модифицированного бентонита..... 111

**Абрамова А.С., Атаманова О.В., Тихомирова Е.И.**

Установление вида адсорбции сафранина Т сорбционными материалами на основе модифицированного бентонита..... 115

**Багрянцев А.А., Таранцева К.Р.**

К вопросу использования скопа в качестве сорбента для очистки сточных вод от тяжелых металлов..... 120

**Васильева А.А., Пересунько Ю.Д.**

Способы очистки сточных вод от фторид-ионов отходами черной металлургии..... 123

**Воронин Д.А., Сомин В.А.**

Изучение сорбционных свойств материалов из маньчжурского ореха по метиленовому синему..... 127

**Воронин Н.А., Лавриненко Е.С., Паталаха А.А.,**

**Ускорников Я.В., Сомин В.А.**

Сравнение сорбции красителей метиленового синего и оранжевого панцирями моллюсков *Helix pomatia* и *Lissachatina fulica*..... 130

**Галимова А.Р., Свинцова Е.А.**

Биохимическая очистка сточных вод производства удобрений..... 134

**Гайфутдинова Г., Санатуллова З.Т., Шайхиев И.Г.**

Влияние ультразвуковой обработки корзинок лопуха войлочного (*Arctium tomentosum*) на нефтеемкость..... 139

**Гуина Е.М., Иванцова Н.А.**

Фотокаталитическая деструкция метронидазола в водных растворах под воздействием УФ-излучения с использованием Degussa P25..... 146

<b>Еськов А.С., Сапронов Д.В., Шайхиев И.Г.</b> Использование опилок деревьев рода грабовые для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы).....	150
<b>Ибрагимова А.А., Санатуллова З.Т., Шайхиева К.И.</b> Изучение влияния ультразвуковой обработки на нефтепоглощение жома сахарной свеклы.....	157
<b>Иванов А.А.</b> Применение процесса фентона для деструкции фенола в сточных водах.....	162
<b>Кениг Л.Л., Курбатов А.Ю.</b> Оценка эффективности применения ПГМГхл в качестве обеззараживающего реагента на примере <i>E. coli</i> .....	167
<b>Красильников И.О., Сомин В.А.</b> Исследования по очистке фенолсодержащих сточных вод на модифицированных полиэтиленоксидом мембранах.....	171
<b>Леонов Э.М., Соловьев К.Д., Кручинина Н.Е.</b> Опока вольского месторождения в качестве сорбента для очистки сточных вод от ионов меди.....	174
<b>Огнева А.Н., Дмитриева Ю.А., Михнев В.И.</b> Сточные воды пищевой промышленности: проблемы, технологии очистки и стратегии устойчивого управления....	178
<b>Огнева А.Н., Дмитриева Ю.А.</b> Сточные воды молочной промышленности: методы очистки и перспективы утилизации.....	187
<b>Отскачный Б., Латыпова М.М.</b> Интенсификация работы очистных сооружений города Шебекино.....	196
<b>Пересунько Ю. Д., Азопков С. В.</b> Удаление ионов меди из сбросной воды ТЭЦ инновационными реагентами.....	200
<b>Петров В.И., Бычихин Н.С.</b> Исследование гранул ила после термомеханической очистки сточных вод в Казани.....	206
<b>Сапронова Ж.А., Сафонов И.В.</b> Извлечение фуксина из растворов древесными опилками....	211
<b>Сапронов Д.В., Еськов А.С., Шайхиев И.Г.</b> Использование опилок деревьев рода буковые для удаления ионов тяжелых металлов из водных сред (обзор литературы).....	215

<b>Сапронова Ж. А., Шамраева Д.А.</b>	
Мембранная очистка вод продувки водооборотных циклов.	220
<b>Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Гафаров Р.Р., Грабазей А.В.</b>	
Влияние дозы отбелной глины на снижение ХПК стоков птицеубойного цеха.....	225
<b>Свергузова С.В., Спесивцева С.В., Чехунова К.В.</b>	
Кобальт в водных объектах Белгородской области	228
<b>Свергузова С.В., Спесивцева С.В., Чехунова К.В.</b>	
Фенол в воде некоторых рек Белгородской области	230
<b>Святченко А.В., Куксов И.С., Красников И.С.</b>	
Состояние водоснабжения в Новгородской области.....	234
<b>Старостина И.В., Лифинцев А.Н., Бек С.С., Гулиев В., Анри С., Шевцова Р.Г., Лушников А.С.</b>	
Композиционный углеродсодержащий сорбционный материал для извлечения эмульгированных нефтепро- дуктов из водных сред.....	240
<b>Файзетдинова Д.И., Мартышкин К.Н., Санатуллова З.Т Шайхиева К.И.</b>	
Влияние плазменной обработки на нефтеемкость и водопоглощение оболочек зерен гороха ( <i>Pisum sativum</i> ).....	246
<b>Федоров Е.А., Кручинина Н.Е.</b>	
Обезвоживание осадка сточных вод мясоперерабатыва- ющей промышленности.....	252
<b>Хабибрахманова Е.Н., Шайхиев И.Г.</b>	
Исследование конопляной костры в качестве сорбционного материала для удаления ионов никеля из модельных сточных вод.....	257
<b>Халимова К.Р., Сафиуллина И.Ф., Санатуллова З.Т., Шайхиев И.Г.</b>	
изучение возможности использования наружных оболочек луковиц в качестве нефте- и масло- сорбента.....	261
<b>Хомякова У.Т., Соловьев К.Д.</b>	
Определение сорбционных характеристик стешевской глины борщевского месторождения в отношении меди	266
<b>Черныш И.В., Василенко Т.А.</b>	
Использование золы от сжигания для очистки сточных вод от красителя метиленовый голубой.....	270

**Шайхиев И.Г.**

Использование еловых (*Picea*) шишек в качестве сорбционных материалов для удаления ионов металлов из водных сред (обзор литературы) ..... 275

**Шайхиева К.И.**

Использование биомассы и отходов от переработки чечевицы в качестве сорбционного материала для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы)..... 281

**Шайхиева К.И.**

Использование оболочек стручков нута в качестве сорбционного материала для удаления ионов тяжелых металлов из водных сред (обзор литературы)..... 288

**Шайхиева К.И.**

Использование оболочек стручков голубинового гороха (*Sajanus sajan*) в качестве сорбционного материала для удаления поллютантов из водных сред (обзор литературы)... 296

**Шинкевич П.С., Вельможина К.А.Политаева Н.А.,****Чусов А.Н., Зибарев Н.В., Опарина А.М.**

Роль микроводорослей в трансформации и утилизации газовых загрязнителей промышленных выбросов..... 303

**Шлыкова А.Ю., Иванцова Н.А.**

Влияние плотности тока на эффективность электрохимического окисления метиленового синего..... 306

**СЕКЦИЯ 4. ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ:  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ****Валеев Р.Р., Шайхиев И.Г.**

О возможности использования шлама химводоочистки для производства керамических плиток (краткий анализ литературных источников)..... 309

**Голикова Е.В., Иванцова Н.А.**

Озонирование НПАВ в присутствии пероксида водорода..... 315

**Игумнова В.В., Спельников В.Н., Латыпова М.М.**

О возможности использования бентонитовых глин для очистки дренажных вод..... 318

**Пирожкова Е.С., Жиленко В.Ю.**

Исследование технологии получения силиконового заливочного компаунда..... 322

<b>Краснова В.Ф., Мочалов Д.В.</b> Рациональное использование древесного наполнителя в полиуретановой системе.....	325
<b>Сапронова Ж.А., Загороднюк Л.Х., Гафаров Р.Р., Богданов В.Н.</b> Зависимость работы адгезии и коэффициента смачивания от состава неотвержденной композиции защитно- декоративного покрытия.....	329
<b>Сапронова Ж.А., Гафаров Р.Р., Мурзаханов Я.А.</b> Отход фильтрации смазочных масел как сырье для получения сорбционного материала.....	333
<b>Свергузова С.В., Воронина Ю.С., Чехунова К.В.</b> Экологическое состояние некоторых водных объектов Белгородской области.....	338
<b>Свергузова С.В., Гафаров Р.Р., Грабазей А.В.</b> Исследование структурных изменений отхода отбелной глины при термической обработке методом рамановской спектроскопии.....	340
<b>Свергузова С.В., Гафаров Р.Р., Богданов В.Н.</b> О возможности конверсии цитрогипса.....	346
<b>Сергеев О.Е., Вельможина К.А., Масалова М.А.</b> Изучение особенностей разложения полимера с добавкой d2w по результатам микроскопии и ИК-спектрометрии.....	349
<b>Таранцева К.Р., Худойбердиев М.С.</b> Исследование сорбции меди сорбентом из твердого остатка пиролиза изношенных шин.....	354
<b>Фатыхова Л. А., Романова С. М.</b> Использование сложных смешанных эфиров целлюлозы в качестве основы для нитроклея.....	361
<b>Фахреев Н.Н., Валеева Д.Л.</b> Экологический аудит производства пластиковых изделий....	366
<b>Шайхиев И.Г.</b> Личинки <i>Zophobas morio</i> – решение пластиковой проблемы (краткий обзор литературы).....	370
<b>Шайхиев И.Г., Сафиуллина И.Ф., Борисова С.В., Мингалеева З.Ш.</b> Использование луковой шелухи в рецептуре хлеба (краткий обзор зарубежной литературы).....	376

<b>Шайхиев И.Г., Сафиуллина И.Ф., Хабибуллин Р.Э.</b> Использование луковой шелухи и экстрактов в мясных изделиях (краткий обзор зарубежной литературы).....	384
--	-----

## **СЕКЦИЯ 5. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В АНТРОПОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

<b>Бадибанга Янник, Жиленко В.Ю.</b> Микробиологические аспекты переработки пластмассовых материалов Республики Конго.....	394
--	-----

<b>Ветрова Н.М.</b> К вопросу управления экологической безопасностью рекреационного региона.....	397
--	-----

<b>Джиколум Рональд, Латыпова М.М.</b> О перспективах использования в Республике Чад методов биоремедиации для очистки почв от нефтепродуктов.....	407
--	-----

<b>Думбия Алиу, Балахонов А.В., Жиленко В.Ю.</b> Экологические проблемы водных ресурсов Республики Мали.....	411
--	-----

<b>Гаптрахманова З.А., Романова С.М., Мадыкина А.М.</b> Использование осадков сточных вод для получения органо-известкового удобрения.....	414
--	-----

<b>Жиленко В.Ю., Сорокопудов В.Н.</b> Адаптивные особенности анатомической структуры листьев некоторых видов рода <i>Berberis</i> L. в условиях г. Белгорода.....	419
--	-----

<b>Здоровцов В.А., Пендюрин Е.А.</b> Использование георешетки при восстановлении нарушенных земель.....	427
---	-----

<b>Лувенхидигссем Мбайкайбе Исидор, Латыпова М.М.</b> Стратегия защиты водных ресурсов от загрязнений нефтью в Республике Чад.....	431
--	-----

<b>Луконина А.С., Микрюкова Е.В.</b> Рациональное использование отходов лесосечных работ.....	436
--	-----

<b>Мапоссе Л.Ф.Ж., Латыпова М.М.</b> Повторное использование хвостов добычи угля и бокситов для производства экологичных строительных материалов в Мозамбике.....	440
--	-----

<b>Мушенко Д.А., Жиленко В.Ю.</b> Архитектура будущего: умные города и зеленые технологии.....	443
<b>Пендюрин Е.А., Лебедева Ю.В., Гененко О.Н.</b> Развитие экологического туризма в России.....	446
<b>Пендюрин Е.А., Лебедева Ю.В., Гененко О.Н.</b> Благоустройство и озеленение территории города Белгорода.....	450
<b>Сиснерос Рамиро, Латыпова М.М.</b> Анализ гидрологических и климатических показателей реки Гуаяс в Эквадоре.....	454
<b>Святченко А.В., Михайлов И.С., Косолапов В.П.</b> Проблемы накопления отходов Ямало-Ненецкого автономного округа.....	458
<b>Скорикова Д.П., Бурлакова Е.В., Горелова О.М.</b> Оценка возможности использования придонных осадков озера Завьялово.....	462
<b>Старостина И.В., Бек С.С., Лифинцев А.Н., Лушников А.С.</b> Использование углеродсодержащих сорбционных материалов для извлечения нефтепродуктов из водных сред	465
<b>Бек С.С., Лифинцев А.Н., Лушников А.С., Старостина И.В.</b> Очистка сточных вод от СПАВ сорбционными материалами	472
<b>Шайдорова Г.М., Везенцев А.И., Труфанов Д.А.</b> Адсорбционные кормовые добавки на основе бентонитовой глины и бактериальных культур.....	479



## СЕКЦИЯ 1. ПЕРЕНОС И ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В БИОСФЕРЕ. ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

УДК 504.064.36

<sup>1</sup>Вельможина К.А.,

<sup>1</sup>Шинкевич П.С.,

<sup>1</sup>Политаева Н.А., д-р техн. наук, проф.,

<sup>2</sup>Поздняков Ш.Р., д-р геогр. наук, директор,

<sup>1</sup>Опарина А.М.

(1 - СПбПУ, г. Санкт-Петербург, Россия;

2 – РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия)

### ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВЛИЯНИЯ МАКРОФИТОВ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ АЗОТА И ФОСФОРА В ЭВТРОФИРОВАННОЙ АКВАТОРИИ

Представлены результаты воздействия высших водных растений на содержание биогенных элементов (азота и фосфора) и развитие цианобактерий. Проведена оценка эффективности использования макрофитов для биоремедиации эвтрофированной акватории Спасского затона (г. Москва).

Ключевые слова: высшие водные растения, цианобактерии, биогенные элементы, гидрохимический анализ, водный объект, Спасский затон, макрофиты, акватория, биоремедиация, азот, фосфор.

Эвтрофикация водоёмов, вызванная накоплением биогенных элементов (прежде всего соединений азота и фосфора) [1, 2], способствует массовому развитию сине-зелёных водорослей (цианобактерий), что приводит к цианобактериальному «цветению» воды, снижению прозрачности, дефициту кислорода [3, 4]. Одним из перспективных биологических методов борьбы с цианобактериальным «цветением» является использование высшей водной растительности (макрофитов), способной извлекать биогенные элементы из водной толщи [5]. Цель исследования — оценка эффективности метода подавления цветения цианобактерий путём высадки и удаления макрофитов в условиях акватории Спасского затона (г. Москва, река Москва). Работы проводились с весны по осень 2024 года. В качестве биоремедиаторов высаживались следующие виды: *Typha angustifolia* (4 300 шт.), *Iris pseudacorus*, *Nuphar lutea*, *Phragmites australis*, *Scirpus lacustris* *Albescens*, *Eichhornia crassipes* и *Pistia stratiotes*. Продолжительность экспозиции растений составила от 1 до 4 месяцев. До, в ходе и после периода вегетации макрофитов проводились

гидрохимические и биологические исследования воды. Выполнено 7 серий пробоотборов на двух станциях (кут и устье), в поверхностном и придонном горизонтах. Оценивались параметры: температура, pH, УЭП, БПК<sub>5</sub>, ХПК, содержание взвешенных веществ, кислорода, форм азота (нитриты, нитраты, аммоний, валовой) и фосфора (неорганического и валового). Анализ выполнялся специалистами ГПБУ «Мосэкомониторинг». Дополнительно определялись: внешняя и внутренняя фосфорная нагрузка, содержание цианобактерий по фикоцианину (датчики *Aqua Troll 600* и *Aquaprobe AP-5000*), динамика хлорофилла-а и фикоэритрина, фотодокументация «цветения» в разные периоды. В вегетационный период зафиксировано снижение концентрации валового азота ( $N_{\text{общ.}}$ ) в 1,31 раза, но рост валового фосфора ( $P_{\text{общ.}}$ ) в 2,16 раза. Соотношение N/P, определяющее вероятность цианобактериального «цветения», снижалось от весенних значений 13–16 до летних 3–5. Внешняя нагрузка на водоём составила 5,1 кг/год по фосфору и 67,7 кг/год по азоту. Внутренняя нагрузка из донных отложений — до 26,9 кг P/год (наличие вторичное загрязнение). В сентябре концентрация цианобактерий (по фикоцианину) в Спасском затоне составила 7,49 тыс. кл/мл, в контрольном — 14,55 тыс. кл/мл (в 1,94 раза выше). В ноябре, при минимальном цветении, зафиксированы значения 1,25 тыс. кл/мл (эксперимент) и 0,84 тыс. кл/мл (контроль). Для количественной оценки воздействия высших водных растений (макрофитов) на уровень цианобактериального «цветения» воды использовались два показателя:  $D_1$  и  $D_2$ . Расчёты основаны на измерениях концентрации цианобактерий по фикоцианину (определялось в тыс. клеток/мл с помощью флуоресцентных датчиков). Степень снижения концентрации цианобактерий в экспериментальной зоне по сравнению с контрольной ( $D_1$ , %) была рассчитана по формуле

$$(1): \quad D_1 = \left( \frac{K-C}{K} \right) * 100\%, \quad (1)$$

где  $C$  — концентрация цианобактерий в экспериментальной зоне в период максимального цветения;

$K$  — концентрация в контрольной (необработанной) зоне в тот же период.

Степень превышения концентрации цианобактерий над фоновым уровнем, устранённая в результате воздействия ( $D_2$ , %) была

$$\text{рассчитана по формуле (2):} \quad D_2 = \left( \frac{C-C_1}{C} \right) * 100\%, \quad (2)$$

где  $C_1$  — концентрация в экспериментальной зоне в период минимального цветения (фоновое состояние). Данные показатели позволили количественно оценить эффективность метода биологической

ремедиации на основе сокращения биомассы цианобактерий под влиянием высаженных макрофитов. Эффективность метода по показателю  $D_1$  составила 49%, по  $D_2$  — 83%. Цветение воды отсутствовало на большей части затона с массивами макрофитов. Входная часть, не защищённая макрофитами, показывала активное цветение. В сентябре произведён срез и утилизация надводной биомассы для предотвращения возврата накопленных элементов в экосистему. Результаты эксперимента демонстрируют высокую эффективность биоремедиации с макрофитами в условиях слабопроточных водоёмов. Метод позволяет снизить концентрации азота и фосфора и сократить цианобактериальное цветение воды. Высадка и удаление макрофитов обеспечивает дополнительный контроль за круговоротом биогенных элементов и может быть рекомендована как экологически безопасная и устойчивая технология для локальной очистки водоёмов.

*Исследование выполнено в рамках НИР «Выполнение исследовательских работ по отработке технологических и конструктивных решений по оценке эффективности комплексного применения апробированных методов подавления развития сине-зеленых водорослей в акватории реки Москвы в целях эффективной эксплуатации электрического водного транспорта в городе Москве» по Соглашению № 6174-901112-2025 от 30.04.2025 г.*

### **Библиографический список**

1. Federici, M. T. Impacto de las cianotoxinas en la producción agropecuaria y el ambiente / M. T. Federici, M. Vallejos, C. Simón, P. Rovira, V. Ciganda, N. Rigamonti, G. Ferrari // Revista INIA. – 2022. – Vol. 68. – P. 16–22.
2. Aguilera, A. Bloom-forming cyanobacteria and cyanotoxins in Argentina: A growing health and environmental concern / A. Aguilera, S. Haakonsson, M. V. Martin, G. L. Salerno, R. O. Echenique // Limnologica. – 2018. – Vol. 69. – P. 103–114.
3. Altmanová, N. The effects of macrophytes on the growth of bloom-forming cyanobacteria: Systematic review and experiment / N. Altmanová, J. Altman, J. Kaštovský // Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 792. P. 148413.
4. Agathokleous, E. Low Levels of Contaminants Stimulate Harmful Algal Organisms and Enrich Their Toxins / E. Agathokleous, J. Penuelas, R. A. Azevedo, M. C. Rillig, H. Sun, E. J. Calabrese // Environmental Science & Technology. – 2022. – Vol. 56, № 17. – P. 11991–12002.
5. Политаева, Н.А. Утилизация высших водных растений с целью получения биогаза / Н.А. Политаева, К.А. Вельможина, П.С. Шинкевич [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13, № 1(65). – С. 119.

## ВЛИЯНИЕ НЕФТИ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН РАСТЕНИЙ

*Исследована токсичность нефти и бензина на тест-объекте Sinapis alba. Показана более высокая токсичность нефти по сравнению с бензином: при концентрации нефти равной 1 г/л эффект торможения равен 48-50%, при такой же концентрации бензина эффект угнетения всего лишь 8-10 %.*



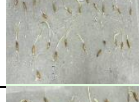

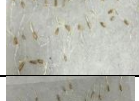
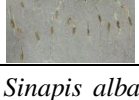
*Ключевые слова: биотестирование, загрязнение нефтью, тест-объект Sinapis alba.*

Нефть в современном мире является одним из востребованных полезных ископаемых, которое облегчает жизнь людей, однако, она очень опасна как загрязняющее вещество в окружающей среде, может вызвать серьезные последствия на разных уровнях организации биоценозов [1, 2]. Известно, что при нынешнем уровне добычи запасов нефти в России этого природного ресурса хватит более, чем на 60 лет. По добыче этого полезного ископаемого Россия находится на одном из ведущих мест в мире [3]. Нефть сложное по своему составу вещество, представляет по своему составу жидкий раствор, состоящий из большого количества углеводородов разного строения [4, 4]. Нефть оказывает негативное влияние на все составляющие окружающей среды: почву, атмосферный воздух, воду, биоценозы. Загрязнение нефтью может вызывать гибель живых организмов, ухудшение качества земель, нарушение ландшафтов и загрязнение зоны нефтепромыслов токсичными веществами (сероводородом, меркаптанами и др.), вызывающими у людей серьезные заболевания [5]. Загрязнение почвы нефтью приводит к существенным изменениям физико-химического состава почвы [5, 6]. Высокая концентрация загрязнения нефтью приводит к полной потере воздушной почвенной среды, ухудшается доступ корней к водной фазе, гибели микроорганизмов в почвенной среде. Твердая фаза почвы – это ее основная матрица, создающаяся в процессе почвообразования из материнской горной породы, представляет собой органоминеральную систему. В нее входят остаточные минералы, обломочные горные породы, вторичные глинистые минералы, соли и оксиды элементов. В сорбированном состоянии на частицах почвы имеется большое количество

микроорганизмов. Некоторые из этих микроорганизмов способны использовать углеводороды в качестве энергетических ресурсов. Большое количество микроорганизмов находятся в ризосфере растений, в которой складываются оптимальные условия для их жизнедеятельности. Влияние нефти на растения проявляется различными морфологическими аномалиями – карликовостью или гигантизмом, искривлением стеблей, скрученностью листьев, изменением цвета, появлением новообразований и др. В жидкой фазе почвы, в водном растворе солей находятся микроорганизмы, образующие микробобиоценоз. В нее входит множество микроорганизмов таких как, бактерии, актиномицеты, грибы, водоросли, макроорганизмы – животные, черви и корни растений [1-3]. В литературе имеются весьма разнообразные данные, касающиеся влияния нефти на рост и развитие различных растений в почве, при различных концентрациях нефти и физико-химических условиях среды, самого почвенного состава. В качестве тест-организмов обычно используют наиболее чувствительные живые организмы, к таким представителям относится горчица белая, овес посевной, редис розовый с белым кончиком и др. Целью исследования в данной работе заключалась в выявлении влияния различных концентраций нефти и бензина на прорастание семян и рост растений *Sinapis alba*. В начале проверяли семена *Sinapis alba* на всхожесть. Всхожесть семян должна составлять не менее 95 %. В ходе эксперимента тестировали различные концентрации нефти в области 0,1-2 г/л и бензина от 0,001 до 10 г/л. Различные диапазоны исследованных концентраций связаны с различной токсичностью веществ. На каждом этапе эксперимента пробы дублировались не менее чем в трех экземплярах. Исследования начинали с процесса стерилизации и охлаждения чашек Петри, в которых помещали фильтровальную бумагу, вырезанную по размеру чашек. На внешней стороне крышек размещали маркировку с указанием наименования пробы. В каждую чашку помещали по 20 сухих здоровых семян, всхожесть которых составляла не менее 95 %. Экспериментальные исследования проводили в соответствии с методикой [7]. В опытные чашки добавляли по 5 мл растворов нефти и бензина с различными концентрациями, в то время как контрольные семена обрабатывали тем же объемом дистиллированной воды. Все образцы затем помещали в термостат на 7 суток. Закрытые чашки термостатировали при 20 — 23 °С в течение 7 суток, после чего измеряли среднюю длину корней и ошибку для каждого варианта

эксперимента, а также эффект торможения роста корней горчицы белой. Результаты исследования влияния концентраций нефти на рост растений семян горчицы белой на 7 день эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1- Результаты экспериментов по воздействию нефти и бензина на семена *Sinapis alba*

Концентрация нефти, г/л	Длина проростков, см	Эффект торможения, %	Концентрация бензина, г/л	Длина корней, см	Величина эффекта торможения, %	Внешний вид проросших семян
0,1	5,8±0,5	13	0,001	6,1 ±0,4	-	
0,25	5,0±0,3	26	0,01	5,9 ±0,7	2	
0,5	4,2±0,4	37	0,1	5,7 ±0,5	5	
1,0	3,5±0,6	48	1	5,5 ±0,6	8	
2,0	3±0,3	55	10	5,3 ±0,4	12	
контроль	6,7±0,3	-	контроль	6 ±0,5	-	

В результате проведенных экспериментов на семенах *Sinapis alba* установлено, что нефть является более токсичной по сравнению с бензином. Состав нефти отличается более сложным составом, в ее состав входят алканы, циклоалканы, арены и другие, в основном, органические соединения. Состав бензина более простой – содержит алканы, циклоалканы и непредельные углеводороды. В нефти содержатся более токсичные вещества по сравнению с бензином, поэтому токсичный эффект воздействия нефти больший. При концентрации нефти равной 1 г/л эффект торможения равен 48-50%, при такой же концентрации бензина эффект угнетения составляет всего

лишь 8-10 %. Концентрация нефти, равная 0,25 г/л, оказывает эффект торможения 26 %, что больше, чем 20 %. В соответствии с методикой [7] является пороговой величиной токсического действия. Ключевыми факторами негативного воздействия нефтяного загрязнения на биологические объекты кроме токсичности углеводородов нефти на биоту являются изменения физико-химических характеристик окружающей среды. Влияние нефтяного загрязнения на физико-химические свойства прежде всего почвы связано с образованием оболочки из углеводородов на гидрофобных поверхностях, что приводит к значительному повышению их гидрофобности и к ухудшению абиотических свойств для всех живых организмов. Далее, предполагается расширить экспериментальные исследования и изучить более подробно влияние концентрации нефти на рост других растений в более широком диапазоне изменения исследуемого токсиканта.

### **Библиографический список**

1. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв) / Г.В. Добровольский, Е. Д. Никитин. – М.: Наука, 1990. – 261 с.
2. Рыжих А.Ю., Гончарова Е.Н. Очистка воды от загрязнения нефтепродуктами / Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования. – Белгород, 2022. – С. 277–281.
3. [https://journal.sovcombank.ru/investitsii/strani--lideri-po-dobiche-i-zapasam-nefti-spisok-kakoe-mestozanimaetrossiya?ysclid=m8o7zexw35458080716#h\\_8463328911851741686450308](https://journal.sovcombank.ru/investitsii/strani--lideri-po-dobiche-i-zapasam-nefti-spisok-kakoe-mestozanimaetrossiya?ysclid=m8o7zexw35458080716#h_8463328911851741686450308) ( дата обращения: 15.04.2025).
4. Ступин, Д. Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 432 с.
5. Жанбуршин, Е.Т. «Проблемы загрязнения окружающей среды нефтегазовой отраслью Республики Казахстан» // Нефть и газ – 2005. – № 2 – С. 84–92.
6. Середина, В. П. Загрязнение почв: учебное пособие. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. – 346 с.
7. МР 2.1.7.2297–07 «Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности». – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 15 с.

## ИНОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ВОСТАНОВЛЕНИИ ЭКОСИСТЕМ

*Применение современных биотехнологий, включая фиторемедиацию и микробное восстановление, в сочетании с технологическими инновациями (дрон-лесовосстановление, 3D-печать рифов, ИИ-мониторинг) позволяют эффективно восстанавливать нарушенные экосистемы при минимальных затратах.*

*Ключевые слова: экосистемы, климат, деградация, антропогенные факторы, океан, природные бедствия, технологии восстановления, биоремедиация, фиторемедиация, искусственный интеллект.*

Основной проблемой современного мира является обостряющийся кризис деградации экосистем: частичное или полное исчезновение лесов, загрязнение водных объектов, сокращение биоразнообразия и изменение климата. Все это оказывает прямое воздействие на устойчивость природных систем.

Вместе с постоянно увеличивающимся воздействием на экосистемы, активно развиваются и технологии по их восстановлению. От биотехнологий, очищающих почву с помощью микроорганизмов, до дронов, высаживающих тысячи деревьев в труднодоступных регионах, – новые подходы демонстрируют впечатляющий потенциал. Применение технологий искусственного интеллекта позволяет прогнозировать изменения экосистем, а развитие проектов в области циркулярной экономики способствуют наиболее рациональному использованию природных ресурсов [1].

Механизм деградации экосистем является сложным процессом, включающим в себя многие факторы. Зачастую наибольшее влияние оказывают антропогенные факторы и естественные природные процессы. Подробный анализ и принятие соответствующих мер имеет ключевое значение в решении проблемы деградации природных экосистем.

Антропогенное воздействие проявляется в различных формах. Основная проблема воздействия деятельности человека на окружающую среду представлена загрязнением почв, водоемов и



атмосферы продуктами жизнедеятельности. Промышленные выбросы, пластиковые отходы и химические стоки приводят к систематическому отравлению экосистем.

Наглядным примером антропогенного воздействия служит обнаружение частиц микропластика в удаленных экосистемах Арктики.

Развитие предприятий агропромышленного комплекса также способно оказывать негативное влияние на экосистемы за счет использования пестицидов и удобрений, вызывающих эвтрофикацию водоемов и постепенное снижение плодородия почв [2].

Рост урбанизации и сокращение лесных массивов в результате вырубки губительно сказывается на экосистемах всей планеты. Ежегодно мир теряет около 10 миллионов гектаров лесных насаждений, что не только нарушает углеродный баланс планеты, но и приводит к необратимой утрате естественных местообитаний различных видов.

Расширение городов и инфраструктурных объектов деформирует природные ландшафты, создавая непреодолимые барьеры для миграции животных.

С увеличением концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосферном воздухе, усиливается и подкисление океана. Океан поглощает около 30%  $\text{CO}_2$ , образовавшегося в результате антропогенного воздействия.

В результате взаимодействия с водой чего появляется угольная кислота ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), которая может изменить химический состав морской воды, что представляет серьезную угрозу для морских обитателей.

Чрезмерная эксплуатация наносит невосполнимый ущерб для природных экосистем. Интенсивный вылов рыбы, полное уничтожение некоторых видов животных в результате браконьерства и неэффективное водопользование истощают экосистемы быстрее, чем те способны к естественному восстановлению.

Вклад в деградацию экосистем вносят и естественные природные факторы. С увеличением нестабильности климата, увеличивается и число экстремальных погодных явлений – засух, наводнений и масштабных пожаров.

Еще одним примером природных бедствий являются извержения вулканов, цунами и ураганы.

Они способны мгновенно разрушить или нанести значительный ущерб локальным экосистемам. В 2022 году в южной части тихого океана в месте Тонга произошло извержение вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай, которое вызвало масштабное загрязнение воды и воздуха пеплом [3].

В связи с этим можно сделать вывод о необходимости активного восстановления природных экосистем. Применение технологий использовавшихся ранее становится малоэффективными в виду их медленного восстановления экосистем.

Разработка и внедрение новых технологий позволит значительно уменьшить временные показатели процессов восстановления, за счет применения регенерации через биоремедиацию и искусственное восстановление, а также на предотвращение дальнейших потерь с помощью современных технологий мониторинга и экологического проектирования.

На данный момент применение передовых разработок в области решения экологических проблем, может кардинально изменить представление о традиционных методах восстановления природных систем. Такие направления современной науки, как биотехнология и биоинженерия позволяют достичь наиболее эффективного восстановления экосистем. Перспективным направлением в области восстановления экосистем считается применение генетически модифицированных организмов для фиторемедиации.

Первоочередной целью является разработка микроорганизмов, которые будут способны разлагать нефтепродукты и другие токсичные соединения в загрязненных почвах и водоемах [4].

Так же значимых результатов удалось достичь с применением современных технологий. Применение системы дронов позволяет высаживать в день до 100 000 семян деревьев в труднодоступных районах [5]. Технологии 3D-печати находят свое применение в восстановлении прибрежных экосистем. С их помощью восстанавливают естественную структуру рифов, которые защищают береговую линию от эрозии [6].

Применение цифровых технологий дало мощный импульс для развития экологического мониторинга.

Спутниковое наблюдение в сочетании с алгоритмами искусственного интеллекта позволяют в реальном времени отслеживать изменения экосистем и прогнозировать экологические угрозы. Применение вычислительных технологий значительно ускоряет процесс обработки огромных массивов данных и позволяет более рационально распределять ресурсы с максимальной эффективностью [7]. Замкнутые экосистемы и новые материалы представляют особое направление инноваций. Создание материалов, которые подвержены

процессам биодegradации с течением времени может значительно снижать антропогенное воздействие на экосистемы.

Принципы циркулярной экономики находят воплощение в проектах полного цикла, где отходы одной системы становятся ресурсом для другой. Особого внимания заслуживают проекты по восстановлению мангровых зарослей с использованием специальных биодegradируемых конструкций [8].

Эти технологии не просто дополняют традиционные методы – они создают принципиально новые возможности для масштабного восстановления поврежденных экосистем. Их комплексное применение позволяет решать экологические проблемы системно, обеспечивая устойчивый результат и создавая основу для гармоничного сосуществования человека и природы.

### **Библиографический список**

1. Программа ООН по окружающей среде. Практическое руководство по восстановлению экосистем. – Найроби, 2021. – 120 с.
2. Лал Р., Восстановление почв и экосистем // Современные проблемы экологии / под ред. И.И. Иванова. – СПб.: Наука, 2020. – С. 45-62.
3. Алексеев В.А., Природные катастрофы и экосистемы / В.А. Алексеев. – М.: Наука, 2019. – 342 с.
4. Кузнецов А.В., Биотехнологические методы восстановления нарушенных экосистем: дис. д-ра биол. наук. – М.: МГУ, 2022. – 300 с.
5. Пат. 123456 РФ, МПК A01G 23/00. Способ восстановления лесов с использованием беспилотных летательных аппаратов / И.И. Петров, А.А. Сидоров. – № 2020123456; заявл. 12.01.2020; опубл. 20.05.2021, Бюл. № 15.
6. Проект "Очистка океана": ежегодный отчет о восстановлении морских экосистем [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://theoceancleanup.com/reports> (дата обращения: 15.06.2024).
7. Козодеров В.В., Дистанционный мониторинг экосистем: методы и технологии / В.В. Козодеров, А.С. Шевченко. – М.: Научный мир, 2021. – 287 с.
8. Smith J.R., Vertical Greenery Systems: From Nature to Cities / J.R. Smith, M.K. Brown. – London: Routledge, 2021. – 189 p.

## ФИТОРЕМЕДИАЦИОННАЯ ОЧИСТКА ПОЧВЫ ОТ ХРОМА (III) С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСТЕНИЯ СОИ И ВНЕШНИХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

*Изучено влияние содержания хрома (III) и внешних физических полей (ВФП - УФ и ИК) на процессы роста и развития сои (Glycine max) сорт Самер 2 и фиторемедиацию ими почвы. Установлено, что с увеличением концентрации  $Cr^{3+}$  в почве, сильнее проявляется его токсическое действие на растение сои. Эффективность (Э) очистки почв и адсорбционная емкость (А<sub>и</sub>) ионов  $Cr^{3+}$ , составили, соответственно, 93–98 % и 80–126 мкг/кг сухой фитомассы после обработки семян УФ- излучением,  $74 \div 91$  мкг/кг после ИК-облучения. Эти показатели увеличивались с ростом концентрации металла, благодаря тому, что хром является микроэлементом, необходимым для роста и развития растений, и его концентрация в фитомассе контролируется.*

*Ключевые слова: фиторемедиация, растение соя, ион хрома (III), концентрация металла в почве, эффективность очистки, адсорбционная емкость, УФ и ИК- излучения.*

Саратовская область входит в десятку крупнейших агропромышленных регионов России, где развита добывающая и перерабатывающая отрасли производства. Одними из основных загрязнителей биосферных комплексов почвогрунтов в районах расположения ряда промышленных предприятий (ОАО «Электроисточник», ПАО «Завод автономных источников тока (ЗАИТ)», ОАО «НИИ химических источников тока», ПАО «Саратовский НПЗ», ООО «Метеор термотехника Энгельс» и др.) являются тяжелые металлы (ТМ) и нефтепродукты (НП). Степень загрязнения тяжелыми металлами (свинец, кадмий, кобальт, никель и др.) на территории отдельных предприятий достигает 20-40 ПДК.

Почва является основной средой, в которую попадают тяжёлые металлы, нефть и другие поллютанты, в том числе из атмосферы и водной среды. Из почвы тяжёлые металлы усваиваются растениями. В фиторемедиационных технологиях, особенно в процессах очистки биосферных комплексов от ионов тяжелых металлов огромную роль

играет растительная клетка, которая выступает в качестве биоэлектрохимического сенсора-реактора, распознающего и извлекающего катионы металлов из почв, сточных и промывных вод. На эти процессы оказывают воздействие внешние физические поля (ВФП: постоянные магнитные (ПМП), электрические ультрафиолетовое (УФ), инфракрасное (ИК) и их комбинированное сочетание), которые создают дополнительные электрические токи в биообъектах, и могут изменять течение процессов роста и развития организмов [1], оказывая как стимулирующее, так и тормозящее влияние.

Применение ВФП для обработки семян растений является прогрессивным способом их подготовки к посеву, позволяющим не только вывести семена из состояния покоя, но и активизировать работу разнообразных биологических катализаторов - ферментов, обеспечивающих быстрый рост и развитие растений [2].

Целью работы явилось исследование роста и развития растений сои в процессе очистки почв от ионов хрома (III) методом фиторемедиации при воздействии на семена фиторемедиантов УФ- и ИК-излучениями. Соя (*Glycine max*) сорт Самар 2 - высокопродуктивная культура районирована в Саратовской области.

Загрязняющими веществами служили модельные растворы сульфата хрома  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ , содержали 1, 5 и 10 ПДК (ПДК общесанитарный для  $\text{Cr}^{3+}$  - 6 мг/кг почвы) катионов хрома (III). Брали подвижную форму металла в почве [3].

В качестве источника УФ-излучения выступала бактерицидная лампа, марки СБПе 3х30 Вт, с длиной волны  $\lambda=257$  нм; источником ИК-излучения служила синяя лампа «Минина» с  $\lambda=780-1400$  нм. Обработку семян проводили в течение 6 часов.

Проведенные исследования по влиянию концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  на высоту растений и развитие листовых пластин сои (табл. 1), рис. 1 показали, что по истечении 14 - 21 суток у растений не проявлялись значительные признаки угнетения роста и отмирания листьев. На 28 день эти процессы начали проявляться, и они усилились с увеличением концентрации токсиканта.

Таблица 1 - Влияние концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  и ВФП на рост и развитие сои

Соя. Высота растения, мм. ( $\text{Cr}^{3+}$ ) УФ/ИК					Соя. Длина листа, мм. ( $\text{Cr}^{3+}$ )УФ/ИК				Соя. Ширина листа, мм. ( $\text{Cr}^{3+}$ )УФ/ИК			
Д ни	К*	1 ПДК	5 ПДК	10 ПД К	К *	1 ПД К	5 ПД К	10 ПД К	К *	1 ПД К	5 ПД К	10 ПД К
7	80	$\frac{30}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{10}{0}$	0	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	0	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
14	22 0	$\frac{50}{0}$	$\frac{32}{10}$ $\frac{0}{0}$	$\frac{33}{60}$	3 0	$\frac{10}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	2 5	$\frac{10}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
21	28 0	$\frac{184}{110}$	$\frac{12}{0}$ $\frac{0}{27}$ $\frac{0}{0}$	$\frac{80}{160}$	4 0	$\frac{20}{0}$	$\frac{10}{30}$	$\frac{0}{15}$	3 0	$\frac{20}{0}$	$\frac{0}{28}$	$\frac{0}{16}$
28	29 0	$\frac{210}{140}$	$\frac{17}{2}$ $\frac{0}{27}$ $\frac{0}{0}$	$\frac{100}{180}$	3 5	$\frac{25}{0}$	$\frac{20}{25}$	$\frac{0}{20}$	2 5	$\frac{23}{0}$	$\frac{15}{22}$	$\frac{0}{20}$

Примечание: К\*-контроль без ВФВ и ТМ.

Известно, что присутствие хрома оказывает положительное действие на рост и развитие растений [4]. Небольшие концентрации хрома стимулируют активность каталазы и протеолиз, он также повышает содержание хлорофилла и продуктивность фотосинтеза в листьях [5] стимулируют образование клубеньков бобовых растений. Это обусловлено строением атома хрома, его близостью по положению в периодической системе элементов к марганцу и молибдену, физиологическая активность которых общеизвестна [6].

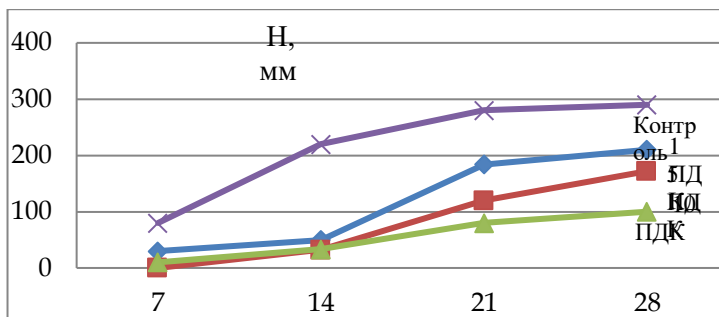


Рис. 1. Влияние ионов  $\text{Cr}^{3+}$  различной концентрации и УФ-облучения семян ( $\tau_{\text{обл.}} = 6 \text{ ч.}$ ) на изменение высоты растений сои во времени

Химические свойства дают основание предполагать, что хром, находясь в организмах, не является индифферентным металлом, а играет важную роль в их жизнедеятельности. Он относится к металлам с переменной валентностью, которые особенно активны в процессах комплексообразования [3].

Через 28 дней после внесения  $\text{Cr}^{3+}$  в почву растения сои были извлечены из почвы, высушены и взвешены. Отделяли корневую часть растений, так как по ранее проведенным гистохимическим исследованиям, накопление металлов происходило в основном в корнях растений-исключателей, к которым относится соя [7].

Для оценки влияния концентрации ионов хрома, и его сочетанного воздействия с ВФП (УФ и ИК) на процессы фиторемедиации почвы проводили определение остаточных концентраций ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в почве по ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы почвы общие требования к отбору проб». Готовили почвенные вытяжки и анализировали содержание в них остаточных концентраций металла фотометрическим методом.

Результаты по величинам эффективности ( $\mathcal{E}_{\text{оч.}}$ , %) очистки почв от ионов хрома растениями – сои, семена которой были обработаны УФ и ИК-излучениями представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2 - Влияние концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  без и при воздействиях УФ и ИК-облучений на эффективность (Э, %) очистки почвы соей (после 28 дней)

Концентрация $\text{Cr}^{3+}$	1 ПДК	5 ПДК	10 ПДК
УФ	69,2	93,5	95,7
ИК	72,6	94,1	98,2

Установлено, что лучшую эффективность очистки почв от ионов хрома растения сои показали при концентрации 10 ПДК (рис. 2).

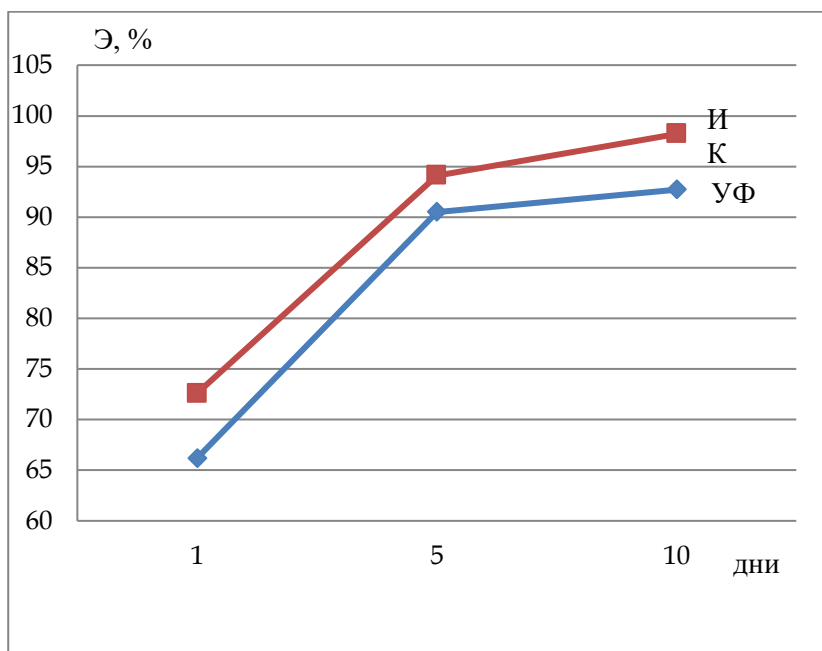


Рис. 2. Зависимость эффективности очистки почвы от концентрации ионов  $\text{Cr}^{3+}$  соей без и при воздействиях УФ и ИК-облучений (после 28 дней)



Адсорбционную емкость растения ( $A_i$ , табл. 3) устанавливали по количеству поглощенного металла после сушки и мокрого озelenения фитомассы.

Рассчитанные величины адсорбционной емкости для сои (мкг/кг абсолютно сухого веса растений) для ИК показали максимальное значение при 5 ПДК  $\text{Cr}^{3+}$ , а при УФ-облучении наиболее высокая  $A_i$  достигнута при 10 ПДК.

Таблица 3 - Адсорбционная емкость сои (28 дней) по хрому при воздействии УФ и ИК- излучений в течение 6 ч.

Концентрация $\text{Cr}^{3+}$	1 ПДК	5 ПДК	10 ПДК
УФ	80,7	98,5	125,3
ИК	74,1	99,8	86,4

Известно, что хром (III) поглощается корневыми системами в виде анионных комплексов, которые выявлены в тканях растений и соке ксилемы авторами [8] при оптимальном значении pH равном 5,4–6,1, что наблюдается в нашем случае.

В больших количествах, по сравнению с другими органами, хром накапливается в корнях растений [9], при этом преобладающая его часть содержится в растворимой форме в вакуолях, значительное количество хрома передвигается в листья и стебли.

В корнях растений образуются комплексы, которые частично иммобилизованы с донор-лигандами [10].

### Библиографический список

1. Ольшанская Л.Н., Титorenко О.В., Халиева А.С. Влияние постоянного магнитного поля и ультрафиолетового излучения на процессы роста высших наземных растений и фиторемедиацию ими почв от тяжелых металлов и нефтепродуктов: монография.- Саратов: СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2015. – 124 с.
2. Алтухов И.В., Федотов В.А., Очиров В.Д. Изменение основных качественных показателей семян пшеницы после воздействия различными облучателями.- Иркутск: Вестник ИргСХА. – 2010. – Вып. 40 – С. 107-115.

3. Добровольский О.К. Биологическое действие микроэлементов в связи с их положением в периодической системе Д.И. Менделеева // Биогеохимия растений. – Улан-Уде, 1969. – С. 29–38.

4. Фендюр Л.М. Биологическая оценка декоративных однолетних растений в условиях электрометаллургического завода и фитоиндикация загрязнения среды железом и хромом: автореф. дис. на соискание научной степени канд. биол. наук: спец. 03.00.01 Ботаника. – Ялта: 1996. – 24 с.

5. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почве и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.

6. Ольшанская Л.Н., Халиева А.С., Титоренко О.В. Локализация тяжелых металлов (Pb, Ni) в тканях и органах фасоли и сои в процессе их извлечения из почвы без воздействия и при действии магнитного поля и Уф –облучения на семена растений // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2015, Т. 58, выпуск 6. – С. 89 – 94.

7. ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» - М.: Изд-во стандартов, - 2006.- 8 с. <http://www.opengost.ru>.

8. Tiffin L.O. The form and distribution of metals in plants: an overview // Proc. Hanford Life Symp. V.S. Department of Energy, Symposium Series, Washington, D.C. – 1977. – P. 315–319.

9. Wallace A., Soufi S.M., Cha J.W., Romney E.M. Some effects of chromium toxicity on bush bean plants grown in soil // Plant and soil. – 1976. – 44, N 2. – P. 421–473.

10. Giovanni Micera. Chromium adsorption by plant roots and formation of long-lived Cr(VI) species: an ecological hazard // J. Inorg. Biochem. – 1988. – Vol. 34, № 3. – P.157–166.

## **ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ**

*В статье рассматривается подход к оценке состояния водоёмов с учётом гидрохимических показателей и экологических факторов, влияющих на загрязнение воды. Обсуждается недостаточность традиционных методик для адекватной оценки экологических рисков и необходимость внедрения регионально-специфических критериев. Предлагается использование нейросетевых моделей, учитывающих влияние климатических изменений, антропогенной нагрузки и взаимодействие различных загрязнителей. Представлен список рекомендуемых к включению в набор данных.*

*Ключевые слова: экологический мониторинг, загрязнение водных объектов, гидрохимические показатели, окружающая среда, машинное обучение, нейронные сети, температурные колебания, донные отложения.*

При анализе состояния водоёмов и разработке системы их экологической оценки важно учитывать, как стандартные гидрохимические показатели, так и более сложные критерии, интегрирующие пространственную неоднородность и сезонную изменчивость водных экосистем. Целью работы является поиск набора данных для оценки комплексного загрязнения водных объектов, основанных не только на анализе гидрохимических и экологических показателей, но и других параметрах.

Традиционные методики мониторинга, основанные на предельно допустимых концентрациях (ПДК) загрязняющих веществ, имеют ряд ограничений, связанных с недостаточным учётом локальных гидрологических условий и биогеохимических процессов. В частности, использование единого норматива ПДК для всех водоёмов не позволяет адекватно отражать специфику формирования гидрохимического фона конкретных объектов и приводит к несоответствию между установленными пределами и реальными экологическими рисками [1]. Для комплексной оценки качества водных ресурсов важно учитывать сезонные колебания температуры, так как они напрямую связаны с

изменениями в степени загрязнения воды [2-4]. В международной программе «Глобальная система мониторинга окружающей среды» (ГСМОС/Вода) указана необходимость включения в комплексные исследования водных объектов данных по донным отложениям, представляющих собой долговременный депонирующий резервуар загрязняющих веществ.

Это вызвано тем, что осевшие в донных отложениях углеводороды сохраняются длительное время и могут вступать в сложные химико-биологические процессы, приводящие к образованию вторичных, зачастую более токсичных соединений [5-6].

Одним из наиболее чувствительных показателей загрязнения является концентрация углеводородов в липидных фракциях фитопланктона, которая может быть использована для оценки воздействия нефтяных загрязнителей на экосистему [7].

Наличие в водоемах ТМ, пестицидов и нефтепродуктов, влияет на экосистемы не только парциально, в зависимости от их концентрации, но и комплексно, с учетом других факторов окружающей среды [8]. Высокие уровни биогенных веществ, наряду с загрязнением воды ТМ, приводят к снижению качества воды, что ограничивает возможности восстановления экосистем [9]. Показано, что использование региональных допустимых концентраций (РДК) вместо ПДК позволяет более точно отражать гидрохимическое состояние водных объектов и сместить приоритеты в управлении водными ресурсами от унифицированного подхода к адаптивному и научно обоснованному [10].

Процессы самоочищения водоёма могут замедляться вследствие увеличения нагрузки со стороны поверхностного стока, содержащего органические и биогенные вещества. Изменения структуры природопользования в бассейне водохранилища, сопровождаются рядом изменений в гидрохимических показателях [11].

Изменение концентрации загрязняющих веществ (нитраты, фосфаты и органические соединения) и уровня воды влияет на биологическое разнообразие и экосистемные функции водоема [12]. Для анализа зависимости между различными факторами широко применяются статистические методы. В частности, корреляции между осадками и стоками рек достаточно выражены, что подтверждено использованием коэффициента корреляции и анализа через графические и аналитические методы [13].

Регрессионный анализ также помогает оценить величину воздействия изменения температуры и количества осадков на водный поток рек, а также выявить основные факторы, влияющие на гидрологические процессы в бассейне рек.

В исследовании сточных вод очистных сооружений применялись полиномиальные модели различной степени, что позволило описать изменения концентраций загрязняющих веществ во времени.

Полученные регрессионные зависимости позволяют прогнозировать концентрации загрязнителей, что особенно важно при планировании мероприятий по очистке воды и управлению водными ресурсами [14].

Данный метод имеет ограничения: высокая степень полиномов может приводить к переобучению моделей, снижению их интерпретируемости и устойчивости к выбросам данных.

В связи с этим перспективным направлением является применение более сложных нейросетевых моделей, способных учитывать нелинейные зависимости и взаимодействие нескольких факторов одновременно. Важнейшей задачей является выбор архитектуры нейронной сети, способной адекватно учитывать сезонную изменчивость, пространственные особенности и антропогенную нагрузку.

Особое внимание уделяется вопросам интерпретируемости модели, поскольку при решении экологических задач важно не только получить точный прогноз, но и выявить ключевые факторы, определяющие уровень загрязнения водоема [15-18].

Прогнозы, полученные с помощью нейросетевых методов, позволят учитывать сезонные колебания температуры, а также предсказывать долгосрочные изменения, связанные с глобальным потеплением, что может быть использовано для адаптации стандартов качества воды в условиях изменения климата [17].

Данные численного моделирования демонстрируют важность комплексного контроля, включающего как первичные загрязнители, так и вторичные продукты их реакций, что особенно критично в условиях антропогенного воздействия и сезонных колебаний температур [18].

При формировании набора данных для дальнейшего исследования темы с применением искусственных нейронных сетей, рекомендуется принимать во внимание следующие переменные: температура воды, содержание растворенного кислорода, pH воды, мутность воды, концентрация веществ, температура воды, объем стока, осадки, данные

о донных отложениях (состав и химическая активность), РДК, данные о времени и месте замеров.

При формировании набора данных рекомендуется также и учитывать данные об антропогенной нагрузке, информацию о трансформации ландшафтной структуры водосборных территорий. Апробация и внедрение таких моделей будет способствовать улучшению систем мониторинга водных ресурсов, повышению качества оценки экологического состояния водных объектов на урбанизированных территориях.

### **Библиографический список**

1. Беспалова, К. В. Регулирование воздействия источников химического загрязнения на водные объекты с учетом их природных особенностей : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 03.02.08 – Экология (химия) / Беспалова Ксения Владимировна. – Тольятти, 2017. – 24 с.

2. Волков, Д. А. Экологическое состояние подмосковных водохранилищ в условиях изменения структуры природопользования (на примере водохранилищ системы канала имени Москвы) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук – Геоэкология / Волков Дмитрий Андреевич. – Москва, 2013. – 24 с.

3. Хомидов, А. Ш. Геоэкологическая оценка формирования химического состава поверхностных вод и снегов бассейна трансграничной реки Пяндж : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 1.6.21 – Геоэкология / Хомидов Анвар Шеринович. – Санкт-Петербург, 2023. – 24 с.

4. Проблема термального загрязнения / О. А. Логвина, Н. Я. Бубнова, А. А. Горячева [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – № 2(06). – С. 73–79. – EDN PSHXD.

5. Темердашев, З. А. Методическое обеспечение мониторинга нефтяного загрязнения донных отложений / З. А. Темердашев, Л. Ф. Павленко, Т. Л. Клименко, Я. С. Ермакова, Б. Д. Елецкий // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2016. – № 11. – С. 43–46.

6. Темердашев, З. А. О некоторых методических аспектах оценки нефтяного загрязнения водных объектов с учетом деградации нефтепродуктов во времени / З. А. Темердашев, Л. Ф. Павленко, И. Г. Корпакова, Я. С. Ермакова, В. С. Экилик // Аналитика и контроль. – 2016. – Т. 20. – № 3. – С. 225–235.

7. Ермакова, Я. С. Оценка нефтяного загрязнения водной экосистемы Азовского моря с учетом процессов его трансформации и биогенного фона : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 03.02.08 – Экология (химические науки) / Ермакова Яна Станиславовна. – Краснодар, 2019. – 24 с.

8. Тунакова, Ю. А. Методология оценки территориального экологического риска в урбозкосистеме (на примере г. Казани) / Ю. А. Тунакова, С. В. Новикова, А. Р. Шагидуллин, В. С. Валиев // Трансформация экосистем под

воздействием природных и антропогенных факторов : материалы международной научной конференции. – 2019. – С. 263–267.

9. Селезнев, В. А. Экологические критерии нормирования сброса загрязняющих веществ в водные объекты / В. А. Селезнев, К. В. Беспалова // Вестник Волжского университета имени В. Н. Татищева. – 2015. – № 1(23). – С. 130–139.

10. Беспалова, К. В. Критерии нормирования антропогенной нагрузки с учетом природных особенностей водных объектов / К. В. Беспалова // Материалы V Международной конференции молодых ученых. Водные ресурсы: изучение и управление (5–8 сентября 2016 г.) / отв. ред. Д. А. Субетто, Н. Н. Филатов, Т. Н. Регеранд, Л. А. Беличева. – Т. 1. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2016. – С. 209–216.

11. Волков, Д. А. Влияние природопользования на качество вод Клязьминского водохранилища / Д. А. Волков, Е. И. Голубева // Экология урбанизированных территорий. – 2012. – № 3. – С. 40–46.

12. Боскачёв, Р. В. Анализ изменчивости гидрологических характеристик на устьевом участке реки Преголи (юго-восточная Балтика) / Р. В. Боскачёв, Б. В. Чубаренко // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 69. – С. 644.

13. Таранцева, К. Р. Моделирование состава сточных вод, поступающих на очистные сооружения / К. Р. Таранцева, А. О. Мызников, О. А. Логвина, М. А. Марынова // Известия ПГУ им. В. Г. Белинского. – 2011. – № 26.

14. Таранцева, К. Р. Применение искусственных нейронных сетей для оценки экологического состояния водоёмов урбанизированных территорий / К. Р. Таранцева, Д. Н. Патрикеев // Современные информационные технологии. – 2024. – № 40(40). – С. 6–10. – EDN CWVCOA.

15. Кремлева, Э. Ш. Модели и методы интеллектуальной обработки данных для систем поддержки принятия решений (на примере систем экологической безопасности) / Э. Ш. Кремлева. – Казань, 2021.

16. Rajesh, M. Impact of climate change on river water temperature and dissolved oxygen: Indian riverine thermal regimes / M. Rajesh, S. Rehana // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12. – P. 9222.

17. Issakhov, A. Numerical modeling of water pollution by products of chemical reactions from the activities of industrial facilities at variable and constant temperatures of the environment / A. Issakhov, A. Alimbek, A. Abylkassymova // Journal of Contaminant Hydrology. – 2023. – Vol. 252. – P. 104116.

## **ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫБРОСОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА**

*Достоверность модели расчета выбросов загрязнителей автотранспортными средствами может быть повышена за счет использования коэффициентов пересчета, учитывающих закономерности изменения потока автотранспортных средств. Показана динамика изменения выбросов монооксида углерода от автотранспорта.*

*Ключевые слова: автотранспорт, загрязнение, выбросы, атмосфера, модель, коэффициенты пересчета, достоверность, транспортный поток, мониторинг, интенсивность движения.*

Автомобильный транспорт является одним из наиболее существенных источников загрязнения атмосферного воздуха на территориях городов. Учет выбросов от автомобильного транспорта представляет собой достаточно сложную и трудоёмкую задачу вследствие значительной неравномерности распределения потоков автотранспортных средств как в пространстве, так и во времени [1]. Проведение экспериментальной оценки уровня загрязнённости приземного слоя атмосферного воздуха может дать информацию актуальную только для текущего момента времени, но при изменениях плотности автотранспортного потока или соотношения составляющих его типов транспортных средств поступление выбросов ЗВ может кардинально поменяться, и информация перестанет быть достоверной. Также отбор и лабораторные исследования проб атмосферного воздуха сопряжены со значительными затратами труда и финансовых средств. Таким образом наиболее эффективным инструментом для количественной оценки уровней загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха в зонах влияния автомагистралей является использование компьютерного моделирования. Применение технологий компьютерного моделирования позволяет легко выявить наиболее загрязнённые участки улично-дорожной сети, особенности



распространения компонентов выбросов, закономерности их переноса в пространстве. Эта информация является основой для оперативного принятия мер по оптимизации дорожного движения на городских территориях [2]. Для повышения достоверности оценки загрязненности атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта и улучшения точности прогнозирования распространения и переноса загрязнителей разрабатывается модель загрязнения атмосферы передвижными источниками выбросов. Основу модели составляют уравнения, характеризующие эмиссию загрязнителей. Первое базовое уравнение модели имеет вид:

$$q = 2,06 \times 10^4 \times m \times \left( \left( \sum_i G_{ik} \times N_{ik} \times K_{ik} \right) + \left( \sum_i G_{id} \times N_{id} \times K_{id} \right) \right) \times L$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий дорожные и автотранспортные условия, в зависимости от средней скорости транспортного потока;

$G_{ik}$  – средний эксплуатационный расход топлива для данного типа (марки) инжекторных автомобилей с бензиновым двигателем;

$N_{ik}$  – расчетная перспективная интенсивность движения каждого выделенного типа инжекторных автомобилей с бензиновым двигателем;

$K_{ik}$  – коэффициенты, принимаемые для данного компонента загрязнения для инжекторных автомобилей с бензиновым двигателем;

$G_{id}$  – средний эксплуатационный расход топлива для данного типа (марки) дизельных автомобилей;

$N_{id}$  – расчетная перспективная интенсивность движения каждого выделенного типа дизельных автомобилей;

$K_{id}$  – коэффициенты, принимаемые для данного компонента загрязнения для дизельных автомобилей;

$L$  – расчетная длина участка для которого рассчитывается выброс

Второе базовое уравнение имеет вид:

$$q = \frac{L}{3600} \times \sum_k M_{kl}^n \times G_k \times r_{v_k}$$

где  $M_{kl}^n$  – пробеговой выброс

$G_k$  – фактическая наибольшая интенсивность движения

$r_{v_k}$  – поправочный коэффициент, учитывающий скорость движения.

Первое уравнение представляет собой преобразованный вариант расчетной зависимости, взятой из [3]. Второе уравнение представляет собой преобразованный вариант расчетной зависимости, взятой из [4]. Данная модель представляет собой результат суммирования значений выбросов, вычисленных по двум уравнениям. Перед каждым из этих уравнений находятся коэффициенты, эмпирически подобранные с учетом того условия, чтобы их сумма была равна единице. Среднее отклонение модельных данных, от данных мониторинга составило 4,74%.

В оба уравнения модели входит и оказывает наибольшее влияние на результат интенсивность движения автомобилей. При изменении интенсивности движения загрязненность воздуха будет изменяться пропорционально. Ведение постоянного мониторинга интенсивности движения в большом количестве контрольных точек крайне затруднительно и требует наличия дорогостоящего оборудования для учета потока транспортных средств и систем обработки данных. Доступным и эффективным решением в данном случае может стать использование коэффициентов пересчета интенсивности потока автотранспорта приведенных в [5]. Они получены на основе многолетних исследований закономерностей изменения транспортных потоков и имеют высокую достоверность. Динамика изменения секундных выбросов CO для различных месяцев, полученная с использованием коэффициентов пересчета приведена на рисунке 1.

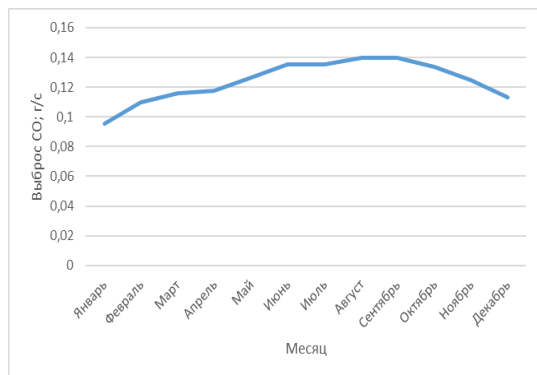


Рис. 1. Динамика изменения секундных выбросов CO для различных месяцев, полученная с использованием коэффициентов пересчета

Динамика изменения секундных выбросов СО для различных дней недели, полученная с использованием коэффициентов пересчета приведена на рисунке 2.

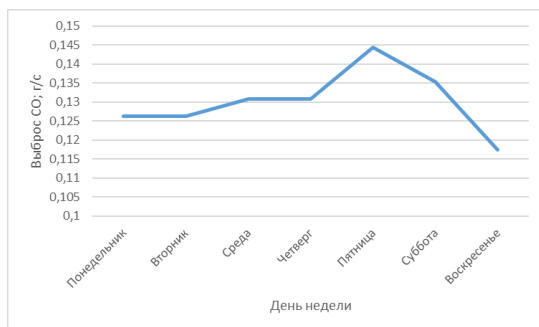


Рис. 2. Динамика изменения секундных выбросов СО для различных дней недели, полученная с использованием коэффициентов пересчета

Динамика изменения секундных выбросов СО для различных часов суток, полученная с использованием коэффициентов пересчета приведена на рисунке 3.

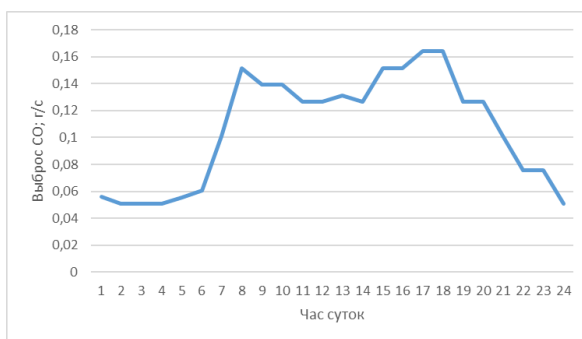


Рис. 3. Динамика изменения секундных выбросов СО для различных часов суток, полученная с использованием коэффициентов пересчета

На основании регулярно проводимых замеров в условиях конкретного населенного пункта переводные коэффициенты могут быть скорректированы с учетом особенностей динамики транспортного потока для данного населенного пункта, что еще более повысит точность получаемых результатов по выбросам загрязнителей в атмосферный воздух и позволит получить еще более достоверную картину распространения выбросов автотранспортных средств в городской среде.

### **Библиографический список**

1. Куракина Н. И., Мышко Р. А. Модуль расчета массовых выбросов загрязняющих веществ, производимых потоками автотранспорта // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2022. Т. 25, № 6. С. 90–100. doi: 10.32603/1993-8985-2022-25-6-90-1002.
2. Ябров Д.А. Применение транспортного моделирования для определения выбросов автотранспорта / Д.А. Ябров // Вестник науки. – 2024. – №11, Т. 3. – С. 1458-1462
3. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. - М., 1995. – 124 с.
4. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения городов. - СПб.: НИИ Атмосфера, 1999. – 16 с.
5. ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – М.: Росавтодор, 2012. – 148 с.

Чертес К.Л., д.т.н., профессор,  
Тупицына О.В., д.т.н., профессор,  
Пыстин В.Н., к.т.н., доцент,  
Шушанян Г.А., аспирант,  
Сеянко А.П., магистрант  
(ФГБОУ ВО «Самарский Государственный  
Технический Университет» г. Самара, Россия)

## **ФИЛЬТРАЦИОННО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ГЕОСРЕДЕ**

*Шламовое тело, как источник загрязнения, отличается от окружающей его геосреды набором параметров, наиболее важными из которых выступают пористость, коэффициент проницаемости и коэффициент фильтрации. Изучение параметров и особенностей фильтрации загрязнений в природно-техногенных системах «шламовое тело – породы зоны аэрации – область разгрузки подземных вод» - с отличающимися от окружающего ее грунта параметрами – пористостью, необходимо для выбора и назначения направлений ликвидации накопителей.*

*Ключевые слова: Шламонакопитель, загрязнения, подземные воды, геосреда, коэффициент проницаемости, коэффициент вязкости, теория фильтрации, коэффициент расширения, прогнозная область, моделирование.*

Со временем выведенные из эксплуатации шламонакопители превратились в объекты накопленного экологического вреда (ОНЭВ).

Загрязнения из шламовых тел выносятся потоками подземных вод в вертикальном и горизонтальном направлениях. В большинстве случаев, условно чистые подземные воды выше накопителя по потоку, проходят через шламовые тела.

По расположению к областям разгрузки загрязнений в настоящей работе выделяется три типа накопителей [1]:

- террасно-склоновый тип: в любой период паводково-меженного режима загрязненные подземные воды поступают в водоисточник;
- пойменный: в межень загрязненные воды направлены в сторону водоисточника, а в паводок – от водоисточника к выемке, затопливая её и обводняя шламовое тело;
- водораздельный: в зависимости от расположения к нескольким водоисточникам направление движения потоков и, соответственно, загрязнений, постоянно меняется.

Фрагменты отходов, расположенных в выемках накопителей, а также инженерно-геологические элементы загрязненных грунтов в зоне влияния шламовых тел, по коэффициенту проницаемости дифференцированы на легко-; средне-; и труднофильтруемые, а по коэффициенту динамической вязкости жидкой фазы на ньютоновские, дилатантные и бингамовские [2].

Кроме того, применительно к возможности управляемого снижения вязкости загрязнений, все шламовые отходы дифференцированы на тиксотропные и реопексные [3].

Диапазоны значений фильтрационно-реологических параметров данных отходов регламентируют целесообразность применения активных методов инженерной защиты и ликвидации загрязнений, таких, например, как высоконапорная реагентная промывка [4].

Хорошо известно, что движение грунтовых вод в основном происходит в горизонтальном направлении. Поэтому моделирование в настоящей работе основано на известном в теории фильтрации положении о двумерной задаче о горизонтальной фильтрации жидкости через цилиндрическую в объеме (и круглую в горизонтальном сечении) область загрязнения радиусом  $R$  [5]. В рамках гидравлического приближения  $\vec{u} = -C \text{grad} h$ , где  $h(x,y)$  - расстояние от регионального водоупорного слоя до поверхности депрессии в данной точке  $(x,y)$ ,  $\vec{u} = \vec{u}(x,y)$  - горизонтальная скорость фильтрации,  $C(x,y) = k(x,y) \rho g / \mu$  - коэффициент фильтрации. Зависимость коэффициента фильтрации  $C(x,y)$  от координат  $(x,y)$  связана с различием коэффициентов проницаемости  $K_{гс}$  (коэффициент проницаемости окружающего область загрязнения грунта) и  $K_{шл}$  (коэффициент проницаемости области загрязнения).

Для отыскания поля скоростей жидкости  $\vec{u}(x,y)$  обычно используется закон сохранения массы  $\text{div}(\vec{u}) = 0$ . Введя обозначение  $\vec{v} = \vec{u}/C$  и заметив, что  $\text{rot}(\vec{v}) = \text{rot}(-\text{grad}(h)) = 0$ , нетрудно получить полную замкнутую систему уравнений:

$$\begin{cases} \text{div}(\vec{u}) = 0, \\ \text{rot}(\vec{v}) = 0, \\ \vec{u} = C\vec{v}, \end{cases} \quad (1)$$

полностью совпадающую с хорошо известной полной системой уравнений электростатики диэлектриков:

$$\begin{cases} \operatorname{div}(\vec{D}) = 0, \\ \operatorname{rot}(\vec{E}) = 0, \\ \vec{D} = \varepsilon \vec{E} \end{cases} \quad (2)$$

с точностью до замены,  $\vec{D} \rightarrow \vec{u}$ ,  $\vec{E} \rightarrow \vec{v}$ ,  $\varepsilon \rightarrow C$ . Совпадают и граничные условия на границе сред с разными свойствами – «электростатическое» условие  $E_{\tau 1} = E_{\tau 2}$  заменяется на условие  $v_{\tau 1} = v_{\tau 2}$  (являющееся следствием безвихревого характера течения жидкости), а условие  $D_{n1} = D_{n2}$  – на условие  $u_{n1} = u_{n2}$  (являющееся следствием закона сохранения массы).

Это обстоятельство (являющееся одним из следствий хорошо известной аналогии между электростатикой и теорией просачивания [6]) позволяет при решении данной задачи теории просачивания воспользоваться математическими результатами решения классической электростатической задачи о диэлектрическом цилиндре в однородном внешнем поле [7].

Пусть  $C_e$  – коэффициент фильтрации загрязненной геологической среды,  $C_i$  – коэффициент фильтрации накопителя осадков сточных вод,  $k_e$  – проницаемость геосреды,  $k_i$  – проницаемость накопителя,  $\vec{U}_0$  – вектор расхода грунтовых вод вдали от зоны загрязнения, который направлен вдоль оси  $Ox$  прямоугольной декартовой системы координат (с вертикальной областью  $Oz$  и горизонтальными осями  $Ox$  и  $Oy$ ) [8].

В зависимости от проницаемости и фильтрационных свойств накопителя и окружающей его геологической среды существует несколько вариантов прохождения грунтовых вод в системе «накопитель-геосреда».

Здесь особое внимание стоит уделить коэффициенту расширения ( $\Gamma$ ), учитывающему фильтрационные свойства накопителя и геосреды, где на его основе можно создать теоретическую область загрязнения в результате прохождения грунтовых вод через шламовое тело [8].

В случае цилиндрической геометрии накопителя вектор расхода грунтовых во всей области одинаков и равен [8]:

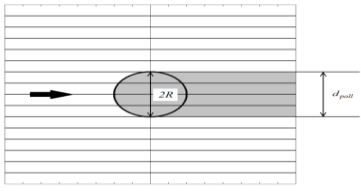
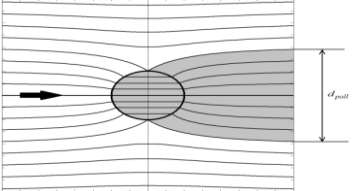

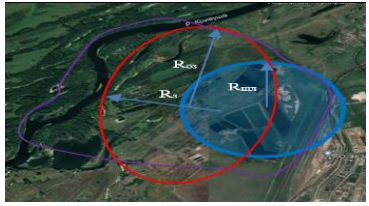
$$\vec{U}_i = \Gamma \times \vec{U}_0, \quad (3)$$

То есть коэффициент расширения  $0 \leq \Gamma \leq 2$  показывает, во сколько раз диаметр канала загрязненных грунтовых вод за зоной загрязнителя больше диаметра самого шламового тела [8]:

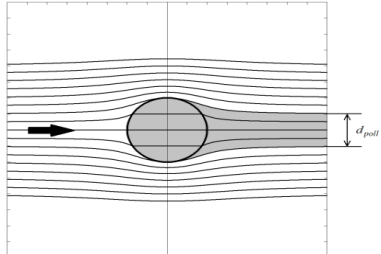
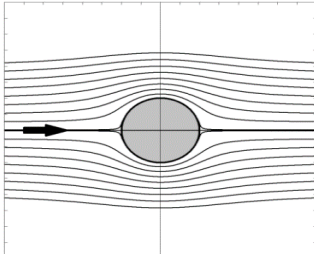
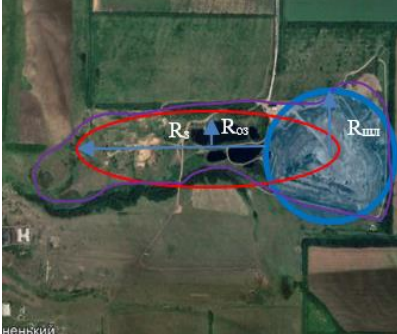

$$\Gamma = \frac{d_{poll}}{2 \times R}. \quad (4)$$

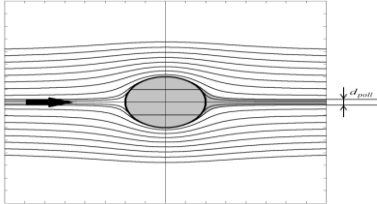
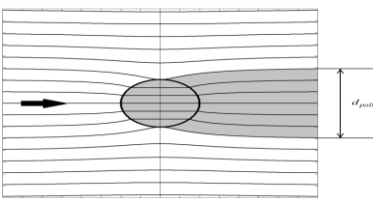

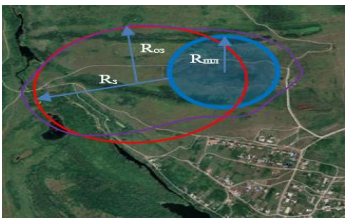
Максимальное значение данного коэффициента ( $\Gamma=2$ ) достигается, когда проницаемость шламового тела значительно выше проницаемости окружающей геологической среды, в обратном случае наблюдается минимум  $\Gamma=0$ .

Таблица 1 - Геометрическая интерпретация моделей распространения загрязнений для различных типов шламонакопителей

	
<p>А) Случай <math>K_{шл}=K_{гс}</math>. (Шламонакопитель, Чапаевск, Самарская обл.) Фильтрация жидкости через область загрязнения радиусом <math>R</math>. Диаметр канала загрязнения <math>d_{poll}</math> совпадает с диаметром зоны загрязнения (<math>\Gamma=1</math>).</p>	<p>Б) Случай <math>K_{шл} \gg K_{гс}</math>. (Группа шламонакопителей Новокуйбышевской градопромышленной агломерации) Диаметр канала загрязнения <math>d_{poll}</math> совпадает с удвоенным диаметром зоны загрязнения (<math>\Gamma=2</math>).</p>
	
<p>Конфигурации прогнозной (<i>рез-т моделирования</i>) и фактической (по данным изысканий) областей загрязнения геосреды от шламонакопителя г. Чапаевска с основными геометрическими параметрами.  <math>R_z - 150 \text{ м}</math>; <math>R_{оз} - 210 \text{ м}</math>;  Площадь <math>S_a - 0,123 \text{ км}^2</math>; Площадь <math>S_{\phi} - 0,287 \text{ км}^2</math>. Сходимость <math>(S_a/S_{\phi} \times 100) = 42,86 \%</math></p>	<p>Конфигурации прогнозной (<i>рез-т моделирования</i>) и фактической (по данным изысканий) областей загрязнения геосреды от шламонакопителей Новокуйбышевской градопромышленной агломерации с основными геометрическими параметрами.  <math>R_z - 650 \text{ м}</math>; <math>R_{оз} - 1300 \text{ м}</math>;  Площадь <math>S_a - 3,591 \text{ км}^2</math>; Площадь <math>S_{\phi} 6,82 - \text{км}^2</math>. Сходимость <math>(S_a/S_{\phi} \times 100) = 52,65 \%</math></p>



	
<p>В) Случай <math>K_{шл}=0,5 K_{ге.}</math> (Шламовый фрагмент обводненных, разложившихся отходов Полигона ТКО «Преображенка» г. Самары) Диаметр канала загрязнения <math>d_{poll}</math> равен половине диаметра загрязненной зоны (<math>\Gamma=0,5</math>).</p>	<p>Г) Случай <math>K_{шл} \ll K_{ге.}</math>, (Накопитель шламов Сегежского ЦБК). Диаметр канала загрязнения <math>d_{poll}</math> равен нулю. Единственная линия тока, пересекающая область загрязнения – осевая. Вся загрязненная жидкость сосредоточена в области загрязнения (<math>\Gamma=0</math>)</p>
	
<p>Конфигурации прогнозной (<i>рез-т моделирования</i>) и фактической (по данным изысканий) областей загрязнения геосреды шламовым фрагментом обводненных, разложившихся отходов Полигона ТКО «Преображенка» г. Самары. <math>R_з - 1200</math> м; <math>R_{оз} - 160</math> м; Площадь <math>S_a - 0,507</math> км<sup>2</sup>; Площадь <math>S_{\phi} - 0,764</math> км<sup>2</sup>. Сходимость <math>(S_a/S_{\phi} \times 100) = 66,36</math> %</p>	<p>Конфигурации прогнозной (<i>рез-т моделирования</i>) и фактической (по данным изысканий) областей загрязнения геосреды от Иловые площадки КОС г. Чапаевска с основными геометрическими параметрами. <math>R_з - 1100</math> м; <math>R_{оз} - 400</math> м. Площадь <math>S_a - 0,885</math> км<sup>2</sup>; Площадь <math>S_{\phi} - 1,145</math> км<sup>2</sup>. Сходимость <math>(S_a/S_{\phi} \times 100) = 77,29</math> %</p>

	
<p>Д) Случай <math>K_{\text{шл}} = K_{\text{гс}}/20</math>. Проницаемость зоны загрязнения существенно меньше проницаемости окружающего грунта. Диаметр канала загрязнения <math>d_{\text{poll}}</math> равен 2/21 диаметра загрязненной зоны (<math>\Gamma = 2/21</math>).</p>	<p>Е) Случай <math>K_{\text{шл}} = 3 K_{\text{гс}}</math>, (Накопители спиртовой барды, с. Рождествено, Самарская обл). Диаметр канала загрязнения <math>d_{\text{poll}}</math> равен 1,5 диаметра загрязненной зоны (<math>\Gamma = 3/2</math>)</p>
	
<p>Конфигурации прогнозной (<i>рез-т моделирования</i>) и фактической (по данным изысканий) областей загрязнения геосреды от буферного пруда АО «Куйбышевский НПЗ» с основными геометрическими параметрами.  <math>R_z - 1100 \text{ м}</math>; <math>R_{oz} - 320 \text{ м}</math>;  Площадь <math>S_a - 1,225 \text{ км}^2</math>; Площадь <math>S_{\phi} 1,712 \text{ км}^2</math>.  Сходимость <math>(S_a/S_{\phi} \times 100) = 71,55 \%</math></p>	<p>Конфигурации прогнозной (<i>рез-т моделирования</i>) и фактической (по данным изысканий) областей загрязнения геосреды от Накопителей спиртовой барды, с. Рождествено, Самарская обл.  с основными геометрическими параметрами.  <math>R_z - 650 \text{ м}</math>; <math>R_{oz} - 420 \text{ м}</math>;  Площадь <math>S_a - 0,570 \text{ км}^2</math>; Площадь <math>S_{\phi} - 0,815 \text{ км}^2</math>.  Сходимость <math>(S_a/S_{\phi} \times 100) = 69,94 \%</math></p>
<p>Примечание: Направление фильтрации жидкости показано стрелкой, линии тока – сплошными линиями, загрязненная жидкость показана серым цветом.  <math>S_a</math> – площадь прогнозируемой области загрязнения геосреды, <math>\text{км}^2</math>, <math>S_{\phi}</math> – площадь фактической области загрязнения после проведения изысканий, <math>\text{км}^2</math>.</p>	

Моделирование позволило с учетом особенностей каждой отдельной ПТС или её выделенных фрагментов (геометрии, проницаемости, вязкости) обосновать целесообразность применения высоконапорной промывки и выполнить её аппаратно-технологическое оформление. Так же предлагаемая модель послужила теоретической основой проведения исследований по ликвидации

загрязнений шламонакопителей с использованием метода высоконапорной промывки.

### Библиографический список

1. Чертес К.Л., Петренко Е.Н., Пыстин В.Н., Шерстобитов Д.Н., Тупицына О.В. Особенности залежей углеводородов как природно-техногенных систем // В сборнике: Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: Фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология. Материалы Международной научной конференции. Белгород, 2022. С. 369-373.
2. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения / Пер. с англ. – Спб.: Профессия. – 2007. – 560 с.
3. Чертес, К. Л. Показатели вязкости шламов, применительно к технологии высоконапорной очистки геосреды от загрязнений / К. Л. Чертес, А. П. Сеянко // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: Сборник докладов Всероссийской научной конференции, Белгород, 23–27 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 209-214.
4. Прогнозирование и ликвидация загрязнений в экосистемах, сформированных выведенными из эксплуатации шламонакопителями / К. Л. Чертес, А. А. Букин, Н. С. Бухман [и др.] // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 7. – С. 1089-1103. – DOI 10.22227/1997-0935.2023.7.1089-1103.
5. Леонтьев Н.Е. Основы теории фильтрации. — М.: Изд-во ЦПИ при механико-математическом факультете МГУ, 2009. — 88 с.
6. Маскет М. Течение однофазных жидкостей в пористой среде. Пер. с англ. М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. 640 с.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — Издание 4-е, стереотипное. — М.: Физматлит, 2005. — 656 с. — («Теоретическая физика», том VIII).
8. . Бетяев С. К Локальной теории в гидродинамике. Уравнение Навье - Стокса: задачи, математические модели, решения // Труды ЦАГИ. – 2010. - № 2687. – С. 1-80.
9. С. К. Бетяев. Локальные теории в гидродинамике. Уравнение Навье - Стокса: задачи, математические модели, решения // Труды ЦАГИ. – 2010. - № 2687. – С. 1-80.

## СЕКЦИЯ 2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В СФЕРЕ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 66.067.8.081.3

Аешин Н.Н., студент,  
Сомин В.А., д-р техн. наук, зав. каф  
(Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПАНЦИРЯ МОЛЛЮСКА ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ КОБАЛЬТА

*В работе приводятся результаты исследований по определению кинетической сорбционной ёмкости панцирей моллюска *Helix pomatia* по отношению к ионам кобальта. Результаты показали, что равновесие при сорбции наступает примерно через 30 минут после начала проведения процесса, при этом максимальное значение сорбционной ёмкости составляет 0,18 мг/г.*

*Ключевые слова: сорбция металлов, кинетика сорбции, панцирь моллюска *Helix pomatia*, кобальт.*

Загрязнение водных ресурсов соединениями тяжелых металлов является одной из наиболее важных проблем, поскольку они токсичны, проявляют способность к биоаккумуляции и обладают мутагенным эффектом. Попадая в окружающую среду, они приводят к значительным негативным последствиям для экосистем и здоровья человека [1].

Тяжелые металлы, такие как никель, хром, железо, кадмий, кобальт и другие, попадают в окружающую среду в составе сточных вод предприятий, связанных с металлургической промышленностью, сельским хозяйством, добычей полезных ископаемых. В этой связи требуется очистка стоков до нормативов, при которых допускается их сброс в водоемы или повторное использование воды в технологическом процессе.

Для извлечения соединений металлов из водных растворов часто используют процесс адсорбции на различных материалах, в качестве которых может использоваться как природное сырье, так и синтезированные композиции [2].

Панцири моллюсков являются природным материалом, который образуется в процессе их жизнедеятельности. Представляет интерес

определение возможности использования данного материала для удаления металлов из воды. Для этого нами была определена сорбционная способность панцирей моллюсков вида *Helix pomatia* по отношению к ионам кобальта из водных растворов. Использовались нативные панцири, предварительно очищенные от органических компонентов путем трехкратного кипячения в воде.

Анализ ионов кобальта осуществляется с использованием фотоколориметра при длине волны 520 нм по предварительно построенному калибровочному графику, представленному на рисунке 1 [3].

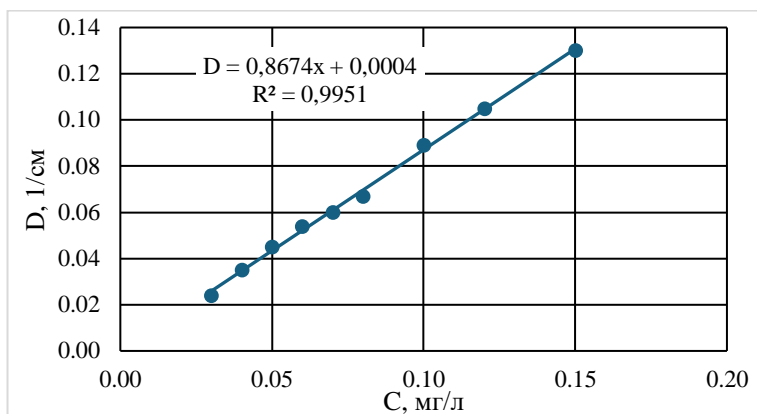


Рис. 1. Зависимость оптической плотности раствора (D) от концентрации кобальта (C) в нем

Для определения кинетики сорбции кобальта нативным панцирем моллюска *Helix pomatia* был приготовлен раствор с концентрацией ионов кобальта 0,2 мг/л объемом 0,5 л, который помещался в коническую колбу. После этого в раствор добавлялось 3 г измельченных панцирей фракцией от 3 до 5 мм и производилось активное перемешивание. Через определенные промежутки времени отбирались пробы раствора на анализ по ранее полученному калибровочному графику. [4,5].

Данные о кинетической сорбционной емкости кобальта панцирем моллюска *Helix pomatia* приведены на рисунке 2.

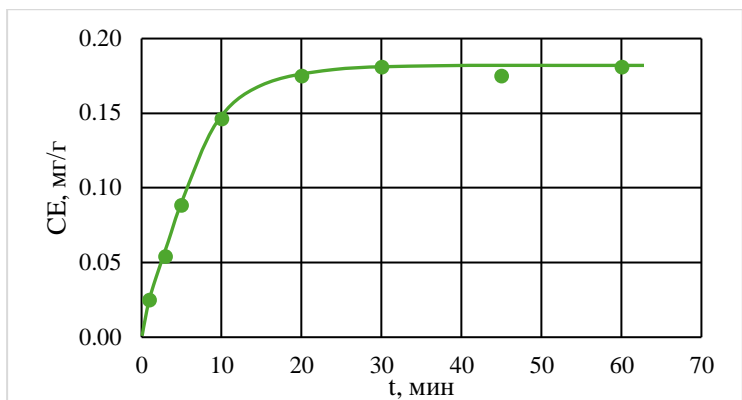


Рис. 2. Зависимость сорбционной ёмкости кобальта (СЕ) панцирем *Helix pomatia* от времени (t)

Результаты проведенного исследования показывают, что равновесие при сорбции наступает примерно через 30 минут после начала проведения процесса, при этом максимальное значение сорбционной емкости составляет 0,18 мг/г.

### Библиографический список

1. Лурье Ю.Ю. Фотометрический метод с нитрозо-R-солью / Аналитическая химия промышленных сточных вод/ М., 1984. С. 119-120.
2. Коробков В.А. Внедрение природных сорбентов в практику профилактической энтеросорбции токсических металлов/В.А. Коробков //Нетрадиционные объекты морского промысла и перспективы их использования: Тез. докл. науч. – практ. конф., 17 – 18 апреля 1997г. – Мурманск, 1997. – С. 69–74.
3. Тунакова Ю.А. Использование модельных растворов для оценки сорбционной емкости биополимерных энтеросорбентов/ Ю.А. Тунакова, Р.А. Файзуллина, Ю.А. Шмакова// Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. - № 5. - С.57-62.
4. Hood M.A. И Abstr. First Intern. Conf. Chitin/Chitosan. Boston: 1977. P. 44-45.
5. Muzzarelli R.A.A. Chitin. Oxford: Pergamon Press, 1977. - 309 p.

Балахонов А.В., аспирант,  
Гафаров Р.Р., аспирант,  
Токач Ю.Е., канд. техн. наук, доц.,  
Рубанов Ю.К., канд. техн. наук, доц.  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия)

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ БИОЦИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА**

*Получение биогибридного композиционного материала, состоящего из магнитного носителя с иммобилизованными микроорганизмами, обеспечивающего целенаправленный трансфер к донным отложениям за счет высокой объемной массы и интенсификацию процессов биodeградации органических отложений в условиях минимальных концентраций кислорода в водной среде или в нефтезагрязненных грунтах при воздействии магнитного поля носителя.*

*Ключевые слова:* бикоррозия, биодеструкторы, электросталеплавильный шлак, грибы *Aspergillus niger*.

Проблема биоповреждений охватывает широкий круг научных и практических задач, связанных с защитой сырья, материалов и товаров от повреждения бактериями, грибами, насекомыми, грызунами, как в условиях длительного хранения, так и при производстве, транспортировке и эксплуатации. Строительные материалы могут ухудшать экологическую ситуацию в зданиях и сооружениях не только при выделении токсичных и радиоактивных веществ, но и способствуя росту микроорганизмов и других представителей биоты.

Биоповреждениям подвержены практически все материалы, в том числе цементные растворы и бетоны, композиционные материалы на других связующих, древесина и т.д., которые эксплуатируются в условиях, благоприятных для размножения микроорганизмов [1]. Бактерии и мицелиальные грибы постоянно и повсеместно обитают в среде пребывания человека, используя органические и неорганические соединения как питательный субстрат.

Одним из наиболее эффективных и длительно действующих способов защиты строительных материалов и конструкций от поражений микроорганизмами является применение биоцидных препаратов.

Биоцидность, как свойство строительных материалов, позволяет с одной стороны обеспечивать режим стерильности, например, в помещениях медицинского назначения, а также на предприятиях пищевой, фармацевтической и других отраслей промышленности, с другой стороны - предотвращать процессы биоповреждения зданий и сооружений, чаще всего небезопасными для людей микроорганизмами.

Кроме защиты от биологического обрастания, современные покрытия должны обеспечивать защиту от коррозии, иметь долгий срок службы и невысокую стоимость, быть химически стабильными, хорошо совместимыми с укрываемым материалом и безопасны для окружающей среды [2].

Особую актуальность приобретает создание новых материалов, устойчивых к биокоррозионным процессам, что позволит не только увеличивать безаварийный срок службы зданий и сооружений, находящихся под воздействием биологических деструкторов, но и обеспечить безопасность среды обитания людей.

Объектом исследований служил электросталеплавильный шлак при выплавке стали в электродуговых сталеплавильных печах на Оскольском электрометаллургическом комбинате (ОАО ОЭМК), г. Старый Оскол, Белгородской области; грибы *Aspergillus niger*.

Металлургические шлаки это продукт плавления флюсующих пород (обычно известняков или извести), облегчающий плавку металлов и извлекающих из них вредные примеси. Кристаллические шлаки содержат в себе силикаты кальция в виде различных модификаций (белит, ранкинит, псевдоволластонит, мелилит), железосодержащие минералы и также могут быть в свободном состоянии оксиды и гидроксиды кальция и магния. Это может зависеть от химического состава и условий охлаждения. Содержание белитовой фазы в шлаках колеблется в пределах от 30 до 60%, что делает их весьма перспективным сырьем для производства строительных материалов.

Исследуемый шлак относится к группе самораспадающихся основных металлургических шлаков. Химический состав шлака представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав шлака

CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
45,0	10,8	6,2	24,8	7,9	3,3	2,0	8,3 сверх 100 %



Электросталеплавильные шлаки в отличие от доменных шлаков применяются достаточно редко. Недостаточные объемы их использования обусловлены, главным образом, содержанием оксидов металлов до 10 – 15 % и наличием силикатного распада. Степень гидравлической активности шлака может быть в некоторой мере охарактеризована модулем основности и модулем активности. *Модуль основности* шлака  $M_o$  представляет собой отношение содержащихся в нем основных окислов (%) к сумме кислотных окислов. Модуль основности 1,7–2,0.

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{45 + 10,8}{24,8 + 6,2} = 1,8$$

Исследование показало, что шлак (по модулю основности) относится к основным ( $> 1$ , но  $< 2$ ).

Шлаки характеризуются высокоразвитой поверхностью и наличием большого количества микротрещин, пор и активных центров, обуславливающих сорбционные свойства шлаков (рис. 1). Одной из перспективных возможностей рационального применения накопившихся шлаков является их использование для очистки сточных вод.

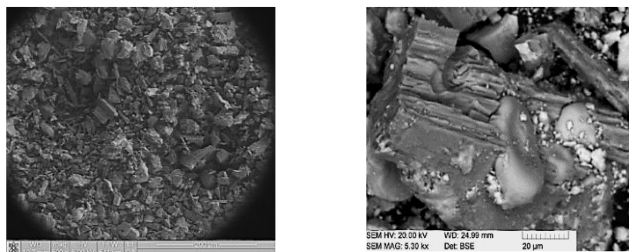


Рис. 1. Электронные микрофотографии электросталеплавильного шлака

Кроме исследований химического состава проводилось определение некоторых физико-химических свойств шлака: содержание магнитной фракции (магнитная сепарация постоянным магнитом по ГОСТ 18866), насыпная плотность и плотность частиц пикнометрическим методом,

pH водной вытяжки и др. Гранулометрический состав шлака (табл. 2) определялся при помощи ситового, седиментационного и микроскопического методов анализа [3].

Таблица 2 – Гранулометрический состав (ситовой анализ) шлака

Размер фракции, мм	Содержание, %
1,25	38,6
1,25-2	13,5
2-5	17,4
5-10	16,6
10-20	9,9
20-40	4,0

Полученные экспериментальным путем физико-химические характеристики исходного шлака представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Физико - химические характеристики шлака

Параметры	Размерность	Значение
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	2700
Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	2030
Водопоглощение	%	7,8
Влажность	%	18
pH водной вытяжки	-	12,58
Оценка негативного воздействия шлаков на окружающую среду (класс опасности).	1 – чрезвычайно опасные, 2 – высоко-опасные, 3 – умеренно опасные, 4 – малоопасные, 5 – практически не опасные.	4

Биостойкость покрытий определяли следующим методом. Сначала обеспечивали приготовление пленкообразующего раствора путем обработки раствором азотной кислоты отхода производства в виде пыли газоочистки сталеплавильных печей, или электросталеплавильного шлака, или гальванического шлама с последующей нейтрализацией раствором аммония до pH=4-6. Полученный раствор отделяли от осадка и использовали для покрытия твердых неорганических изделий методом пульверизации. Изделия с покрытием подвергали сушке при температуре 20-30 °С в течение 1 часа. После сушки изделия подвергали термической обработке при температуре 650-700 °С для образования

оксидов металлов на поверхности изделия. Химический состав покрытия определяли с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра ARL 9900.

Полученные результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Химический состав покрытий

Основа покрытия	Содержание оксидов, масс. %									
	Ca O	MgO	Al <sub>2</sub> O 3	Si O <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O 3	TiO <sub>2</sub>	Zn O	Cu O
Стале- плавильны й шлак	63, 6	12,5	5,0	2,2	13,2	0,9	0,13	0,1	0 , 1	0 , 0

Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9. 913-90. Метод основан на проведении эксперимента в искусственно создаваемых условиях, имитирующих воздействие климатических факторов в атмосфере [4]. Для проведения эксперимента в лабораторный реактор загружали 20 г электрометаллургического шлака и добавляли 20 г азотной кислоты с постоянным перемешиванием. Суспензию выдерживали 1 час, после чего производили нейтрализацию суспензии аммиачным раствором до pH=5. После отстаивания раствор отделяли от осадка и использовали для нанесения покрытия на стальные детали и на облицовочную керамическую плитку. Образцы изделий высушивали при температуре 20°C и помещали в муфельную печь. Нагрев печи осуществляли до температуры 650°C, (температура термического разложения нитрата кальция). После остывания образцы изделий помещали в чашки Петри с питательной средой Чапека и высевали грибы рода *Aspergillus niger* (продуцент лимонной кислоты). Результаты по биоцидности полученных покрытий иллюстрируются на рисунке 2, на котором показана биостойкость покрытия на основе производственного отхода – шлака сталеплавильного, по сравнению с контрольным образцом без покрытия (рис. 3).

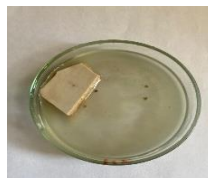


Рис. 2. Образцы с покрытием на основе сталеплавильного шлака

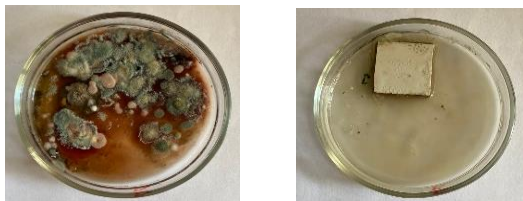


Рис. 3. Образцы без покрытия

Из полученных результатов следует, что покрытия на основе сталеплавильного шлака обладает высокой биоцидностью, в связи с максимальным содержанием оксидов кальция и магния, обладающими высокими биоцидными свойствами. Таким образом, покрытия, полученные на основе отходов производства, обеспечивают защиту от воз действия микроводорослей и коррозии металлических деталей во влажной среде.

*Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.*

### **Библиографический список**

1. Старцев С. А. Биоповреждение строительных конструкций как фактор, снижающий долговечность зданий и сооружений / С.А. Старцев // Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве. – С-П, 2007, – С. 20–24.
2. Биоповреждения в строительстве / Ф.М. Иванов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1984. – 320 с.
3. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1971. – 456 с.
4. Пат. РФ № 2792543 Способ получения бактерицидного композиционного покрытия на металлической детали.. Рубанов Ю.К., Токач Ю.Е. 2023г.

Галимова А.Р., канд. хим. наук,

Акчурина А.Р., магистрант

(Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия)

## ТАРЕЛЬЧАТЫЙ АБСОРБЕР ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ОКСИДА УГЛЕРОДА

*Представлена конструкция тарельчатого абсорбера для очистки газовых выбросов от оксида углерода, в котором в качестве абсорбента для поглощения СО применяется медно-аммиачные растворы.*

*Ключевые слова: тарельчатый абсорбер, медно-аммиачный абсорбент, оксид углерода, газовый выброс, декарбонизация.*

Снижение выбросов оксидов углерода и других парниковых газов рассматривается как центральное направление в противодействии негативным изменениям климата. В связи с этим была разработана политика декарбонизации, которая подразумевает снижение выбросов углекислого газа (на единицу ВВП, если речь об экономике, или на единицу вырабатываемой энергии, если речь об энергетической системе) [1]. В связи с данной политикой и на основании анализа данных передового отечественного и зарубежного опыта в области экологической безопасности [2-4] для очистки газовых выбросов от оксида углерода, предложена конструкция тарельчатого абсорбера для очистки газовых выбросов (рисунок 1), который содержит вертикальный цилиндрический корпус 1, крышку 2, днище 3 и опоры 10, на которых стоит абсорбер.

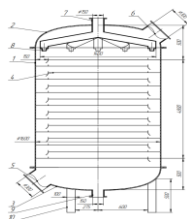


Рис. 1. Конструкция тарельчатого абсорбера

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – днище; 4 – тарелки ситчатые; 5 – патрубок подачи газа; 6 – патрубок отвода газа; 7 – патрубок подачи абсорбента; 8 – форсунки распылительные; 9 – патрубок отвода абсорбента; 10 – опоры.

После сжигания топлива загрязненный воздух подается в дымосос, оттуда в холодильник, охлаждается до температуры 55 °С. Охлажденный газ на абсорбцию подается в нижнюю часть колонны абсорбента в патрубок 5, а жидкий абсорбент подается в верхнюю часть колонны в патрубок 7 и распыляется по его сечению с помощью распылительных форсунок 8. Далее абсорбент стекает вниз, минуя ситчатые тарелки 4.

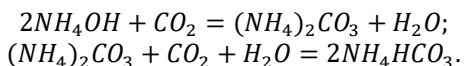
Газовая смесь, содержащая загрязняющее вещество, проходит через перфорацию в тарелках и контактирует с абсорбентом, который поглощает данный компонент.

В колонне осуществляется противоточное взаимодействие газа и жидкости. Очищенный газ выходит через патрубок 6 из колонны и подается в производство. Отработанный абсорбент, стекая в нижнюю часть корпуса абсорбера, выходит из патрубка 9 и направляется на десорбцию. В качестве абсорбента для поглощения СО применяют медно-аммиачные растворы (МАР).

В процессе абсорбции СО под высоким давлением поглощается в противоточном абсорбере раствором комплексного медно-аммиачного соединения. В абсорбере протекают следующие реакции:



В следствии того, что раствор является слабощелочным, то поглощение оксида углерода происходит одновременно с поглощением диоксида углерода по следующим схемам:



Отработанный абсорбент выходит из нижней части колонны абсорбера, и насосом направляется на регенерацию в десорбер после предварительного подогрева до 100 °С в теплообменнике-рекуператоре. Нагретый раствор подается в десорбер, где из него десорбируется поглощенный компонент путем испарения в результате нагревания поглотителя паром. Регенерацию МАР проводят путем снижения давления и нагревания раствора.

При давлении 0,1 МПа и нагревании раствора до 100 °С происходит разложение медно-аммиачного комплекса и выделение СО.

Регенированный абсорбент охлаждается в холодильнике до 35 °С, и поступает обратно в абсорбер.

Сочетая абсорбцию с десорбцией, можно многократно использовать почти без потерь жидкий поглотитель (абсорбент) в замкнутом контуре аппаратов: абсорбер-десорбер-абсорбер, выделяя поглощенный компонент в чистом виде.

Таким образом, на основе передового и отечественного опыта в области экологической безопасности была выбрана абсорбционная очистка газовых выбросов предприятия ТЭС от оксида углерода.

При правильном подборе сорбентов абсорбционная очистка способна демонстрировать до 99% эффективности при очистке газовых выбросов. Для реализации абсорбционной предложен тарельчатый абсорбер с ситчатыми тарелками, с медно-аммиачным абсорбентом.

Абсорбционная очистка газов является одним из эффективных методов очистки отходящих газов, из-за возможности регенерации реагентов, высокой степени очистки газов и широкого спектра применения.

### **Библиографический список**

1. Сухарев О.С. Экономический рост и политика декарбонизации // Проблемы рыночной экономики. – 2022. – №1. – С. 43-57.
2. Пат. 2653829 Российская федерация, МПК В 01 D 53/18. Абсорбер / О.С. Кочетов; заявитель и патентообладатель Московская обл., г. Фрязино. – 2017132962; заявл. 21.09.2017; опубл. 14.05.2018 Бюл. №14.
3. Пат. 2622072 Российская федерация, МПК В С 22 В 15/00. Способ утилизации отработанного медно-аммиачного раствора / Ю.П. Перелыгин, С.Ю. Киреев, Т.В. Зуева, О.В. Зорькина; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет». – 2016100752; заявл. 11.01.2016; опубл. 09.06.2017 Бюл. №14.
4. Makshoof Athar, Mahboob Ali , Misbahul Ain Khan Gaseous and particulate emissions from thermal power plants operating on different technologies // Environmental Monitoring and Assessment, 2009. P. 625–639.

## РАЗРАБОТКА ГИДРОЦИКЛОНА С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЦЕНТРАБЕЖНОЙ СИЛЫ

*Рассматривается конструктивная схема гидроциклона с винтовым закрученным каналом, позволяющая регулировать проходные сечения канала при изменении расхода очищаемой воды. Приводятся теоретические соотношения для выбора конструктивных параметров устройства.*

*Ключевые слова: центробежная очистка, фактор разделения, виды течения, регулирование.*

Очистка загрязненных промышленных сточных вод от загрязняющих веществ является важной экологической задачей.

Решение этой задачи осуществляется в разработке систем очистки, состоящей из нескольких этапов и методов очистки (механические, физико-химические, химические, биологические и др.). В любой системе очистки на первых этапах наиболее широкое применение находит очистка от взвешенных веществ в поле действия центробежных сил. Используются напорные гидроциклоны с тангенсальным подводом исходной воды, которые могут применяться как один из этапов системы очистки, так и в виде самостоятельного устройства в некоторых технологических процессах для оборотного водоснабжения (например, строительной индустрии). В работе [1] приведены характеристики различных гидроциклонов, определяющим показателем которых является производительность  $G[m^3/4]$ , в зависимости от которой выбирается типоразмер, с диаметром  $D_c$  корпуса [мм]. Привязка размера гидроциклона  $D_c$  к производительности очистки  $G$  определяется двумя факторами, действующими взаимно противоположно. С одной стороны, если для конкретного типа размера гидроциклона  $D_c$  поступает вода больше запланированной производительности, то это будет выгодно с точки зрения эффективности очистки, т.к. центробежная сила возрастает, исходя соотношения [1]

$$F_{цс} = \frac{m_{ц} * v^2}{r} \quad (1)$$



где  $F_{\text{цс}}$  - центробежная сила,  $m_{\text{ч}}$  - масса частицы взвешенного вещества,  $v$  - скорость потока в циклоне,  $r = D/2$  - радиус вращения потока.

При фиксированном значении  $g$  с увеличением скорости потока  $v$  эффективность сепарации загрязняющих веществ возрастает в степени  $v^2$ . Однако, при возрастании скорости потока, существенно возрастают потери полного давления внутри аппарата (путевые потери), определяемые по формуле Дарси [2]

$$\Delta P = \frac{\lambda * l * \rho * v^2}{2 * D} \quad (2)$$

где  $\Delta P$  - потери напора,  $D$  - диаметр,  $\lambda$  - коэффициент потерь,  $l$  - длина тракта,  $\rho$  - плотность жидкости.

При больших скоростях течения в аппарате будет турбулентным коэффициентом потерь определяться по формуле Жене́ро [3]

$$\lambda = 0,16 / Re^{0,16} \quad (3)$$

$$Re = \frac{\rho * v * d}{\mu} \quad (4)$$

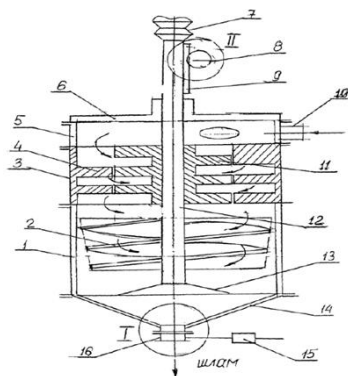
где  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости.

Критерий Ренольда характеризует режим течения жидкости, и при больших числах ( $Re > 2300$ ) поток является турбулентным, при котором действует квадратичный закон сопротивления:

$$\Delta P \sim v^2 \quad (5)$$

Исходя из этого, использование конкретного гидроциклона при расходах, больше проектного, приводит к значительным энергетическим и экономическим затратам. Если использовать гидроциклон при расходах, меньше проектных значений, то по соотношению [1] центробежная сила будет меньше, и эффективность очистки будет существенно снижаться. В реальных условиях производства объем загрязненных сточных вод, исходя из технологических задач, может изменяться в определенных пределах, поэтому разработка регулируемого гидроциклона представляется актуальной. Важно отметить, что необходимо регулировать величину центробежной силы  $F_{\text{цс}}$ , а не скорость поступления воды в аппарат. Скорость воды во входном тангенциальном патрубке можно регулировать, просто дросселировать вентилем на воде. В этом случае будут изменяться местные потери на внезапные расширения, а скорость в соотношении [1] будет меньше номинального значения. Кроме того, большим недостатком существующих гидроциклонов, является

отсутствие регулирования площади сливного патрубка в зависимости от исходной концентрации взвешенных веществ в очищаемой воде. При малых концентрациях загрязнителя, через сливной патрубок будет сливаться много чистой воды. При больших концентрациях через нижний патрубок будет сливаться не вся загрязненная фракция, а часть ее будет оставаться в воде и качество очистки будет снижено. Для решения этой задачи и рационального регулирования процесса очистки в гидроциклоне при различных расходах очищаемой воды, разработан винтовой гидроциклон. Устройство представляет собой цилиндроконический, в верхней части которого расположен винтовой канал. Над винтовым каналом имеется напорная камера с патрубком тангенциального подвода исходной воды. Внутри корпуса находится подвижный поршень, расположенный коаксиально корпусу, на котором выполнены винтовые каналы расположенные в зоне винтовых каналов корпуса. Каналы на поршне с тем же шагом и направлением, что и на корпусе образующие единый винтовой канал. Винтовой поршень расположен на вертикальной полый отводной трубе, которая имеет механизм перемещения по вертикали в виде реечной или червяной передачи (рис. 1).



1 - корпус, 2 - винтовой шнек, 3 - корпус винтовых каналов, 4 - винтовые каналы, 5 - напорная камера, 6 - крышка, 7 - гибкий элемент(сифон), 8 -зубчатое колесо, 9 - зубчатая рейка, 10 - патрубок подвода загрязненной воды, 11 - винтовой поршень, 12 - патрубок отвода чистой воды, 13 - отражатель, 14 - днище, 15 - гидроцилиндр регулирования проходного сечения патрубка отвода шлама, 16 -патрубок отвода шлама,

Рис.1 - Винтовой гидроциклон[4]

На отводной трубе, ниже винтового поршня расположен винтовой шнек, совпадающий с направлением винтового канала поршня. Винтовой шнек выполнен с переменным наружным диаметром витков, с убыванием от верхнего витка к нижнему. На нижнем срезе отводной трубы расположен отражатель.

Корпус гидроциклона в нижней части имеет коническое днище, в центре которого расположен патрубок отвода шлама. Диаметр проходного сечения патрубка отвода регулируется упругой манжетой, в полости которой находится жидкая среда (масло). Изменяя давление в полости манжеты от гидроцилиндра можно регулировать диаметр проходного сечения, в зависимости от исходной концентрации загрязняющих веществ в очищаемой воде.

До начала эксплуатации конкретного винтового гидроциклона, необходимо опытным путем определить гидравлические характеристики установки при различных расходах и начальных концентрациях загрязнителей в воде. По опытным данным строится номограмма (рис 2).

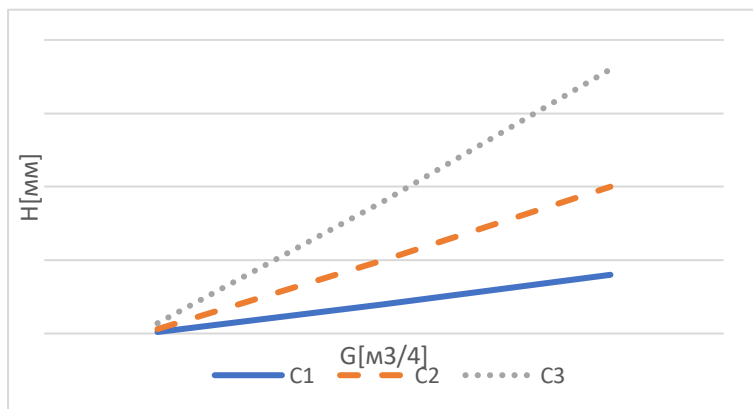


Рис.2. Зависимость положения регулируемого поршня от исходных данных очищаемой воды

Здесь  $H$  - положение регулируемого поршня по предварительно проградуированной шкале, в диапазоне проектных

значений, при различных исходных концентрациях загрязнителей С1, С2, С3. Одновременно с установлением положения винтового поршня Н<sub>1</sub>, используя гидроцилиндр, устанавливают необходимое гидравлическое давление внутри манжеты патрубка отвода шлама, таким образом, чтобы объем удаляемого шлама составлял 3%-5% от исходного расхода очищаемой воды. После исходной настройки аппарата приступают к процессу очистки. Исходная загрязненная вода поступает в напорную камеру через тангенциальный патрубок, закручивается и закрученный поток воды поступает в винтовое пространство, образованное каналами корпуса и поршня. Протекая по винтовому тракту жидкость приобретает необходимое вращение, обеспечивая  $F_{\text{цс}}$  по формуле (1). Закрученный поток истекает из винтового канала и попадает в пространство корпуса, где движется между лопастями винтового шнека, сохраняя вращательное движение. Именно между лопастями шнека происходит сепарация взвешенных веществ и воды. Взвешенные компоненты отбрасываются к стенке корпуса и сгущаясь, сползают вниз. Толщина слоя пристеночного шлама увеличивается, однако уменьшение наружных диаметров витков шнека не нарушает целостности пристеночного шлама. Далее, шлам через отрегулированную манжету, удаляется из аппарата, а очищенная вода, по центральному отводному патрубку поступает в следующую ступень очистки, или, при оборотной системе, возвращается в повторный технологический цех

Таким образом, разработанное устройство центробежной очистки позволяет использовать аппарат для широкого диапазона расходов очищаемой воды, обеспечивая необходимое качество очистки.

### **Библиографический список**

1. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник. Т.2., Издательство Н. Бочкаревой 2003. 884с.
2. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Учебник. Под ред. В. Г. Айнштейна. М; Логос; Высшая школа, 2003. Кн 1912 с.
3. Чефанов В. М. Расчет гидравлических систем. Учебн. пособие. Казань, «Экоцентр», 2009, 72с.
4. Регулируемый гидроциклон. Мингазетлинов И.Х и др. Патент на изобретение №2761550. Бюл. №34 от 09.12.2021.

## **ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ МЕТРОНИДАЗОЛА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УФ- ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DEGUSSA P25**

*Работа посвящена исследованию фотокаталитической деструкции водного раствора метронидазола с использованием Degussa P25. Экспериментально было установлено, что совместное воздействие катализатора и УФ-излучения позволяет получать эффективность удаления метронидазола до 90%.*

*Ключевые слова: метронидазол, фотолиз, катализатор, УФ-излучение, эффективность, активные фармацевтические субстанции, импульсная ксеноновая лампа.*

Загрязнение водных ресурсов фармацевтическими препаратами становится все более серьезной экологической проблемой. Метронидазол обладает широким спектром действия: инфекции, вызванные простейшими, анаэробными грамотрицательными и грамположительными бактериями. Применяется для лечения органов дыхания, ЖКТ, ЦНС, костей, суставов, кожи и мягких тканей. Также используется в ветеринарии [1-2]. Из-за широкого применения препарата и нарушений правил его утилизации возникает экологическая проблема накопления метронидазола в воде и почве. Есть исследования, доказывающие канцерогенное и мутагенное воздействие метронидазола в случае его накопления в организме, поэтому необходимо удалять соединение из промышленных и бытовых сточных вод до их попадания в окружающую среду. Для очистки вод от активных фармацевтических субстанций (АФС) не эффективно использовать традиционные методы очистки. Наиболее действенными являются высокоинтенсивные окислительные процессы (Advanced oxidation process, AOPs).

Это высокоэффективные методы, в которых используются гидроксильные радикалы, являющиеся сильнейшим окислителем, для удаления органических загрязняющих веществ из сточных вод. Одним из таких методов является окисление с использованием УФ-излучения, эффективность которого можно увеличить с помощью добавления катализатора [3-4].

Целью данной работы являлось оценка эффективности метода фотокатализа в присутствии Degussa P25 для удаления метронидазола из воды.

В работе источником УФ-излучения являлась импульсная ксеноновая лампа (ИКЛ) установки производителя ООО «Научно-Производственное Предприятие «Мелитта» (Россия)», подробное описание которой изложено в [5]. Лампа представляет собой прозрачную колбу, внутрь которой запаяны электроды, а пространство заполнено инертным газом – ксеноном. Лампа производит серию последовательных коротких вспышек с частотой несколько герц. Отличительными чертами являются отсутствие необходимости в прогреве и широкий спектр излучения [6].

В качестве фотокатализатора использовали импортный Degussa P25 ( $\text{TiO}_2$ ), для которого главными преимуществами являются химическая и термическая стабильность, низкая токсичность и хорошие фотокаталитические свойства при комнатной температуре.

Объектом исследования являлся водный раствор препарата метронидазола (2-(2-метил-5-нитро-1Н-имидазол-1-ил)этанол –  $\text{C}_6\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_3$ ). Приготовление рабочего раствора метронидазола проходило в несколько этапов: измельчение и растирании таблетки препарата, растворении его в воде с использованием ультразвуковой ванны в течение 15 минут. Исходная концентрация метронидазола во всех опытах была 10 мг/л.

Фотокаталитическое исследование включало два эксперимента. Для первого эксперимента в стакан для проведения фотолиза помещали 100 мл водного раствора метронидазола с заданной концентрацией и помещали под источник УФ – излучения, далее облучали при непрерывном перемешивании в течение 30 мин. Для второго эксперимента – в стакан добавляли 0,02 грамма катализатора Degussa P25 и также отправляли на фотолиз длительностью 30 мин.

Для двух экспериментов отбирали пробы по истечению 5, 10, 15, 20 и 30 мин. В случае фотокаталитического процесса отобранные пробы направляли в центрифугу на 10 мин при 300 оборотах для отделения катализатора. Эффективность фотодеструкции метронидазола оценивалась путем прямого измерения оптической плотности при длине волны 322 нм.

На рис. 1 приведены результаты двух экспериментов фотодеструкции раствора метронидазола. Как видно применение фотокатализатора Degussa P25 существенно повышает эффективность

разложения метронидазола в водном растворе и достигает 88%. Катализатор при поглощении кванта света генерирует свободные носители отрицательных зарядов – электроны и электронные «дырки», которые вступают в окислительно-восстановительные реакции с кислородом и парами воды. В процессе этих реакций образуются сильные окислители ( $O^{\bullet -}$  и  $OH^{\bullet}$ -радикал), которые взаимодействуют с органическим веществом, разрушая его [7].

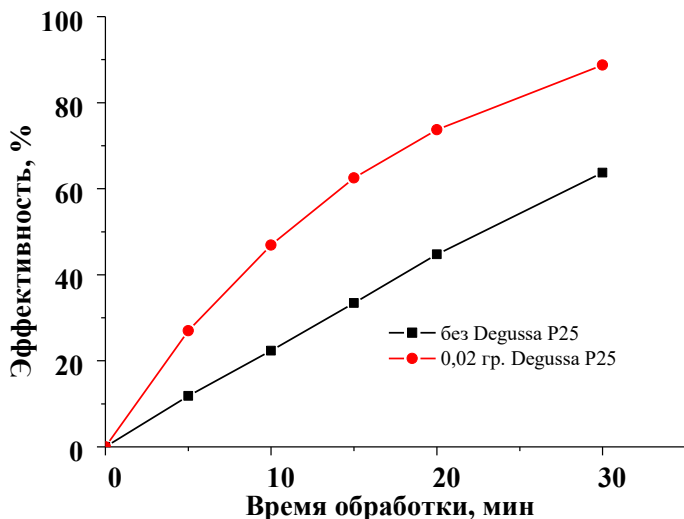


Рис.1. Эффективность фотодеструкции метронидазола в отсутствии и с добавкой катализатора Degussa P25.

Механизм фотокаталитического разложения метронидазола предполагает участие активных окислительных частиц, образующихся на поверхности Degussa P25 под воздействием УФ-излучения. Эти радикалы атакуют молекулу, приводя к ее постепенному разложению на более простые и вероятно менее токсичные продукты.

Также на основании экспериментальных данных рассчитаны константы скорости фотоокисления двух экспериментов. Оценено, что при введении катализатора в систему скорость процесса деструкции метронидазола в 2,2 раза выше, чем при чистом фотолизе.

Использование Degussa P25 в качестве катализатора, в сочетании с УФ-излучением, представляет собой потенциально эффективный и экологически чистый метод удаления АФС из водных растворов, что определяет значимость проводимого исследования. Однако дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния других типов катализаторов (аналогов импортному Degussa P25) на эффективность процесса фотоокисления органических соединений.

### Библиографический список

1. Краснюк И.И. Метронидазол – 60 лет применения / И.И. Краснюк, С.Р. Нарышкин, А.В. Беляцкая, В.В. Тарасов, О.И. Степанова, И.И. Краснюк, В.В. Грих, Л.В. Овсянникова, Е.В. Мазяркин, А.Н. Воробьёв // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2020. – № 1. – С. 82-90.
2. Машковский М. Д. Лекарственные средства. 16-е изд., перераб., испр. и доп. – М.: Новая Волна. – 2016. – С. 904-905.
3. Negin Entezami, Mehrdad Farhadian, Nila Davari. Removal of metronidazole antibiotic pharmaceutical from aqueous solution using TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/GO photocatalyst: Experimental study on the effects of mineral salts // Advances in Environmental Technology, Vol. 5 (1), 2019, P. 55-65.
4. Bustillo-Lecompte C. Advanced Oxidation Processes Applications, Trends, and Prospects: London, 2020, P. 170.
5. Шлыкова А.Ю., Дубровина В.Н., Кулебякина А.И., Иванцова Н.А. Кинетика деструкции метиленового синего под воздействием импульсной ксеноновой лампы // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2024. – Вып. 3. – С. 136-145.
6. Киреев С.Г., Шашковский С.Г., Тумашевич К.А., Абакумов А.В. Метод вычисления энергоэффективности газоразрядных импульсных ламп // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2020. – Т. 1. – № 1. – С. 45–51.
7. Савинов Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – № 11. – С. 52-54.



Дмитриева Ю.А., аспирант,  
Михнев В.И., аспирант,  
Кикалишвили Е.Н., аспирант,  
Токач Ю.Е., канд. тех. наук, доц.  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД В СФЕРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*На сегодняшний день особое внимание со стороны государства уделяется экологической безопасности, в последние несколько лет отмечается рост использования мембранных технологий, необходимых для очистки сточных вод и газов. Данный метод набирает все большую популярность, позволяя снизить затраты на эксплуатацию очистных сооружений, а также снизить негативное влияние на окружающую среду.*

*Ключевые слова: мембранные технологии, окружающая среда, инновации, экологическая безопасность, качество воды, очистные сооружения, нанофильтрация, мембранные процессы, ультрафильтрация, мембрана, микроорганизмы.*

В текущих условиях, а также с учетом нынешней экологической среды, мембранные технологии представляют собой одну из самых передовых и прогрессивных областей, позволяющих решать актуальные экологические проблемы, с наименьшими затратами. В условиях глобальных, экологических кризисов, а также с учетом последних событий, особое внимание следует уделять очистке водоемов, озер, что обусловлено ограниченными запасами пресной воды и, как следствие, изменениями в климате, ухудшение качества воздуха, в связи с чем использование мембранных технологий является особо актуальным [4].

Мембранные технологии представляют собой инновационный метод в сфере экологической безопасности, позволяющий отфильтровать воду через мембраны с нанопорами для очистки от мельчайших частиц и токсичных веществ. Мембранные технологии подразделяются на несколько видов, в зависимости от их применения и конкретной ситуации (рис.1). Однако, необходимо учитывать, что выбор той или иной технологии должен сопровождаться комплексной оценкой текущей среды и обуславливаться конечными результатами,

иначе положительный эффект от применения такого метода не только снижается, но и может привести к серьезным убыткам и некачественной очистке сточных вод и газов [2].

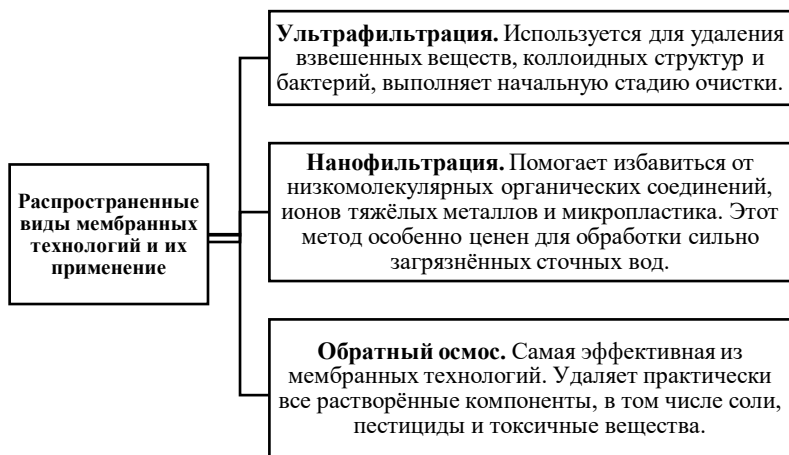


Рис.1. Распространенные виды мембранных технологий и их применение (сост. автором с исп. источника [1,5])

Мембранные технологии, как инновационный метод, имеют ряд преимуществ, позволяя не только удалить мельчайшие примеси, микроорганизмы и вредные вещества в воде, но и снизить энергозатраты на единицу очищенной воды, что связано с процессом оптимизации современных мембран [6].

Важным преимуществом данной технологии является отсутствие использования химических реагентов, делая процесс очистки экологически безопасным, также позволяя повторно использовать очищенную воду, что снижает негативное влияние на окружающую среду.

Использование мембранных технологий позволяет не только утилизировать расходы, но и способствует разработке более устойчивых производственных процессов [3]. Сегодня многие эксперты, экологи спорят насчет отнесения мембранных технологий к

инновационным методам, руководствуясь тем, что данные технологии, хоть и получили широкое распространение пару лет назад, но существовали задолго до этого и использовались в узкопрофильной промышленности, а также использование мембранных технологий может быть заменено другими, более традиционными способами. Тем не менее, мы не согласны с данным утверждением. Мембранные технологии – это универсальная технология, которая активно используется в различных отраслях и сферах, адаптируясь под текущие тенденции и обстоятельства. Кроме этого, данное направление продолжает активно развиваться, позволяя открывать новые сферы и возможности.

Преимущества мембранных технологий, в аспекте их влияния на экологическую безопасность, представлены на рис. 2.



Рис. 2. Преимущества мембранных технологий в аспекте влияния на окружающую среду [2,3])

Таким образом, резюмируя написанное выше, следует сделать вывод, что мембранные технологии, хоть и существуют длительный период, относятся к инновационным методам, что связано с их высокой гибкостью, адаптивностью и универсальностью. Использование данной технологии позволяет обеспечить технологическую эффективность производственных процессов, а также благоприятно влияет на экологическую среду, что является важным фактором.

### **Библиографический список**

1. Дмитриева Ю.А. Мембранные технологии в системе очистки воды: типы и особенности использования / Ю.А. Дмитриева, Ю.Е. Токач // Fundamental science innovation and technology. – 2024. – № 1. – С. 202-208.
2. Каталевский А.Д. Мембраны в биотехнологии: современное состояние и перспективы / А.Д. Каталевский, Н.Н. Смирнов, К.В. Смирнов // Известия ВУЗов. Химия и химическая технологий. – 2025. – № 1. – С. 6-24.
3. Мембранный биореактор - будущее очистки сточных вод [Электронный ресурс] URL: <https://www.ecmo.ru/mediacategories/obzory-110/membrannyu-bioreaktor-budushchee-ochistki-stochnyh-vod> (дата обращения: 18.05.2025).
4. Применение мембранных технологий в водоподготовке [Электронный ресурс] URL: <https://jwtech.ru/articles/poleznoe/primenenie-membrannykh-tekhnologiy-v-vodopodgotovke/> (дата обращения: 18.05.2025).
5. (дата обращения: 18.05.2025).
6. Трескунова А.С. Инновационные подходы к очистке сточных вод: применение современных технологий для защиты окружающей среды / А.С. Трескунова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – № 12-2. (99). – С. 39-44.
7. Туснин А.Р. Мембранные конструкции: опыт применения и перспективы развития / А.Р. Туснин, М.В. Постарнак // Вестник МГСУ. – 2023. – № 3. – С. 401-415.

## **ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН РАСТЕНИЙ ХИТОЗАНОМ: ВЛИЯНИЕ НА ВСХОЖЕСТЬ И УРОЖАЙНОСТЬ**

*В данной статье рассмотрены методы повышения всхожести семян с помощью биостимуляторов, классификация и механизмы действия. Особое внимание уделено влиянию предпосевной обработке хитозаном для усиления устойчивости растений к стрессовым климатическим условиям.*

*Ключевые слова: хитин, хитозан, удобрение, биостимулятор, биоудобрение, экология, предобработка, всход, семена, земляника.*

Сельское хозяйство — одна из системообразующих отраслей экономики любой страны. Экономика России не исключение, агропромышленный комплекс является одной из самых важных отраслей народного хозяйства. Оно направлено на обеспечение всего населения продовольствием, помимо этого на получение сырья для ряда отраслей промышленности. Роль сельского хозяйства в экономике страны или региона показывает её структуру и уровень развития. Отмечено, что спрос на товары народного потребления почти на 75% покрывается за счет сельскохозяйственной отрасли.

Преимуществом развития сельского хозяйства является то, что в качестве главного средства производства выступает земля. По сравнению с другими средствами производства земля не изнашивается, а при правильном использовании улучшает свои качественные параметры. Исходя из этого, повышение уровня урожайности является важной задачей сельскохозяйственной отрасли.

В настоящее время существует огромное количество различных химических удобрений и средств защиты, которые искусственно синтезируют в лабораториях. Они используются для получения наиболее устойчивых и безвредных образцов. Для борьбы с вредителями и заболеваниями растений для полноценного роста необходимы дополнительные микроэлементы и стимуляторы роста. Повсеместное использование средств защиты и стимуляции роста химической природы наносят весомый ущерб на экологию окружающей среды, негативно влияя на плодородие и качество почв, а также на здоровье населения. В результате неправильно подобранных доз и концентраций, искусственно синтезируемых веществ, появляется

опасность, как для человека, так и для экологии. По этой причине выявление высокоэффективных и безопасных биоудобрений и биостимуляторов роста представляется приоритетной задачей современной сельскохозяйственной науки и практики.

Правильная подготовка семян к посадке выступает начальным и ключевым этапом культивирования сельскохозяйственных растений, непосредственно определяющим успех последующих этапов возделывания и обеспечивающим получение качественного и высокого урожая. Семена, подвергшиеся грамотной обработке, обладают повышенной способностью к полноценному росту и развитию, демонстрируют улучшенную адаптацию к неблагоприятным внешним условиям, снижают риск поражения вредителями и возбудителями заболеваний, способствуют повышению иммунных свойств растений и оптимизируют сроки формирования корневой системы и надземной части.

Стимуляторы роста растений – это химические вещества, которые способны усиливать или напротив замедлять (ингибировать) процессы питания и развития растений. За счет них происходит разрастание корневой и наземной части растения. Стимуляторы роста комплексно влияют на физиологические и биохимические процессы, протекающие в органах растения. Применение стимуляторов способствует увеличению урожайности, оказывает влияние на иммунную систему растения. Главной их функцией выделяется невосприимчивость растений на патогенны, вирусы и насекомых. Существует множество искусственных средств для увеличения роста, но именно природные стимуляторы роста не оказывают пагубного воздействия на качество почв. Среди перспективных соединений особо выделяется хитозан — натуральный полисахарид, характеризующийся многогранностью позитивного воздействия на растительные организмы. Выявление высокоэффективных биоудобрений и биостимулирующих агентов приобретает особую актуальность в рамках современных научно-исследовательских работ в сфере агропроизводства. В настоящее время достаточно широкое применение в различных областях сельского хозяйства, в пищевой, косметической, текстильной и биомедицинской промышленности находит хитозан — продукт деацетилирования природного полимера хитина.

Хитин представляет собой природный полисахарид, содержащий азотистые группы. Является одним из наиболее распространенных биополимеров в природе, уступающий лишь целлюлозе. Хитин

является основным компонентом экзоскелета членистоногих, панциря насекомых, клеточных стенок грибов и некоторых бактерий.

Хитин — линейный азотсодержащий полисахарид, химически представляющий собой, поли- $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-N-ацетил-D-глюкозамин. По распространенности в биосфере этот биополимер занимает второе место после целлюлозы, выполняя важные структурные функции в живых организмах. В природе хитин входит в состав экзоскелетов членистоногих (ракообразных, насекомых, паукообразных), клеточных стенок грибов (*Lentinus edodes*, *Aspergillus niger*) и некоторых бактерий, обеспечивая механическую прочность и защиту от внешних факторов. Кристаллическая структура хитина существует в нескольких аллотропных модификациях, наиболее распространенной из которых является  $\alpha$ -форма с антипараллельной ориентацией полимерных цепей.

Основными источниками промышленного получения хитина служат отходы переработки морских беспозвоночных, в частности панцири крабов (*Brachyura*), креветок (*Caridea*) и омаров (*Nephropidae*), содержащие 15-40% хитина от сухой массы. Значительные количества этого полимера содержатся также в кутикуле насекомых (10-60%) и клеточных стенках грибов, особенно базидиомицетов (5-20%) и зигомицетов (до 35%). В последние годы возрастает интерес к использованию альтернативных источников, таких как крыль (*Euphausiacea*) и массовые виды насекомых (*Tenebrio molitor*, *Acrididae*), что связано с необходимостью диверсификации сырьевой базы.

Промышленное получение хитина представляет собой многостадийный процесс, начинающийся с подготовки сырья - измельчения панцирных отходов до фракции 0.5-5 мм и их обезжиривания органическими растворителями. Ключевыми этапами выделения хитина являются деминерализация, проводимая 1-2 М растворами соляной кислоты при комнатной температуре в течение 2-4 часов, и депротеинизация с использованием 1-2 М гидроксида натрия при 60-80°C на протяжении 2-6 часов. Эти процессы позволяют удалить соответственно до 95% минеральных компонентов (преимущественно карбоната кальция) и 85-95% белковых соединений. Завершающая стадия включает окислительное обесцвечивание (пероксидом водорода или перманганатом калия), ультразвуковую очистку и лиофильную сушку, что обеспечивает получение продукта с высокой степенью чистоты.

Современные тенденции в технологии получения хитина направлены на оптимизацию существующих методов с целью снижения энергозатрат и минимизации экологического воздействия. Перспективными направлениями являются разработка ферментативных способов депротеинизации, использование ионных жидкостей для экстракции, а также внедрение методов биорефайнинга, позволяющих комплексно перерабатывать сырье с получением хитина, белков и минеральных компонентов. Особое внимание уделяется стандартизации качества конечного продукта, что имеет решающее значение для его применения в фармацевтике и медицине. Развитие технологий получения хитина из альтернативных источников, в частности грибов и насекомых, открывает новые возможности для создания устойчивых производственных цепочек, не зависящих от традиционных морских ресурсов. Одним из наиболее перспективным в использовании препаратом является производный хитина — хитозан. Хитин и хитозан являются производными друг друга.

Хитозан является N-деацетилированным производным хитина линейный полимер, природный полисахарид, состоящий из двух субъединиц, таких как D-глюкозамин и N- ацетил-D-глюкозамин, связанных между собой глюкозидными связями.

Хитозан — вещество, подобно целлюлозе, считается экологически безопасным препаратом. Исследования изучения показали, что хитозан является биобактерицидом и биовируцидом, а значит повышает стрессоустойчивость растений и помогает им сохранять свой жизненный потенциал. В Российской Федерации основными источниками хитинсодержащего сырья выступают камчатский краб, краб-стригун, углохвостая креветка и антарктический криль. Существенным резервом сырья являются запасы пресноводного рачка-бокоплава гаммаруса. Дополнительными источниками могут служить гладиус (скелетная пластинка) кальмаров и сепион каракатицы. Согласно оценкам, общий объем производства хитина в Мировом океане составляет порядка 2,3 млрд тонн в год, что теоретически позволяет получать 150–200 тыс. тонн хитина ежегодно. Промышленное производство хитина и хитозана налажено в таких странах, как Япония, США, Италия, Норвегия, Польша, Индия, Китай и Таиланд. В России совокупный объем выпуска данных соединений достигает 80 тыс. тонн в год.

Основной метод получения хитозана заключается в реакции отщепления ацетильной группы от структурной единицы хитина (N-



ацетил-D-глюкозамина). Параллельно с деацетилизацией происходит разрыв гликозидных связей, что приводит к снижению молекулярной массы, изменению надмолекулярной структуры и степени кристалличности.

Процесс деацетилирования проводится с использованием гидроксида натрия (NaOH) в широком диапазоне концентраций (от 35 до 50%), температур (от 20 до 140°C) и времени обработки (от 0,5 до 10 суток). Также применяются ферментативные методы, например, с использованием хитиндезацетилазы, выделенной из *Absidia coerulea*.

В случае ракообразных хитиновый матрикс формирует сложный композит с высокоминерализованным карбонатом кальция (до 40-60% сухой массы) и структурными белками (20-40%), тогда как хитин насекомых характеризуется меньшей степенью минерализации (5-20%) при сопоставимом содержании белкового компонента.

Ключевое технологическое отличие заключается в специфике предварительной обработки сырья. Для панцирей ракообразных обязательной является интенсивная стадия деминерализации с использованием концентрированных кислот (1-2 М HCl), что связано с необходимостью растворения значительных количеств неорганических компонентов. В случае хитина насекомых этап деминерализации часто может быть сокращен или даже исключен благодаря исходно низкому содержанию минеральных веществ. Однако хитин насекомых требует более тщательной депигментации и удаления липидных компонентов, содержание которых может достигать 15-25% в кутикуле некоторых видов.

Процесс деацетилирования также демонстрирует различия в оптимальных параметрах для двух типов сырья. Хитин ракообразных, обладающий более упорядоченной кристаллической структурой (преимущественно  $\alpha$ -форма), требует более жестких условий деацетилирования (40-50% NaOH, 100-120°C, 4-6 часов) по сравнению с хитином насекомых, который часто содержит смесь  $\alpha$ - и  $\beta$ -форм с менее плотной упаковкой макромолекул. Это позволяет проводить деацетилирование хитина насекомых в более мягких условиях (30-40% NaOH, 80-100°C, 3-5 часов) с получением хитозана сопоставимого качества.

Важным аспектом является различие в молекулярно-массовом распределении конечного продукта. Хитозан из ракообразных традиционно имеет более высокую среднюю молекулярную массу (300-1000 кДа), тогда как полученный из насекомых часто характеризуется

меньшей молекулярной массой (100-500 кДа), что связано с особенностями исходной структуры хитина и условиями обработки. Кроме того, хитин насекомых может содержать большее количество белковых примесей, требующих дополнительных стадий очистки.

С химической точки зрения, полученные из разных источников хитозаны могут различаться по степени деацетилирования, распределению ацетилированных звеньев вдоль полимерной цепи и наличию специфических примесей (например, меланинов в случае хитина насекомых). Эти факторы оказывают существенное влияние на растворимость, реакционную способность и функциональные свойства конечного продукта, что необходимо учитывать при выборе сырья для конкретных применений. Современные исследования направлены на оптимизацию процессов получения хитозана из альтернативных источников, в частности насекомых, с целью снижения энергоемкости производства и расширения сырьевой базы. Таким образом, хитозан представляет собой полидисперсный по молекулярной массе полимер D-глюкозамина, содержащий 5–15% ацетамидных групп, а также до 1% групп, связанных с аминокислотами и пептидами. Молекулярная масса хитозана варьируется в зависимости от исходного сырья и метода его переработки.

По физическим характеристикам хитозан представляет собой чешуйчатый или порошкообразный продукт от белого до кремового оттенка, иногда с желтоватым, сероватым или розоватым оттенком, не имеющий выраженного запаха. Хитозан, главным образом добываемый из экзоскелетов ракообразных, широко применяется в аграрной практике для повышения адаптивных способностей растений в условиях экстремального климата и прочих стрессовых условий. Данный природный полимер характеризуется целым комплексом специфических физико-химических характеристик, обуславливающих его высокую ценность в качестве компонента, используемого для защиты и активизации роста растений. Методы получения хитозана включают химическое воздействие щелочей, ферментативные процессы и экстракционные технологии. Основные этапы промышленного синтеза включают очистку сырья от примесей, обработку щелочными растворами и последующую промывку продукта. Разработка альтернативных источников хитина расширяет возможности масштабирования производства и снижает себестоимость препаратов. Наиболее важными преимуществами хитозана выступают его доступность, значительная ресурсообеспеченность, полная

биоразлагаемость по окончании периода эксплуатации, превосходная биосовместимость с растениями, а также высокие сорбционные способности, позволяющие эффективно фиксировать и обезвреживать вредоносные соединения в почве и водных ресурсах.

Хитозан представляет собой биологически активное соединение, обладающее выраженными бактерицидными и вируцидными свойствами, что способствует эффективной защите сельскохозяйственных культур от патогенных микроорганизмов. Неоптимальные агротехнические условия выращивания растений выступают одним из ключевых факторов, оказывающих негативное воздействие на их физиологические, биохимические и молекулярные характеристики. В связи с этим хитозан и его производные находят применение не только в качестве защитных средств, но и как стимуляторы иммунной системы растений, повышающие их устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Использование хитозана в сельском хозяйстве является перспективным направлением благодаря ряду преимуществ: доступность и возобновляемость сырья, биоразлагаемость и биосовместимость, высокие сорбционные свойства, обеспечивающие эффективное взаимодействие с биологическими системами.

Таким образом, хитозан представляет собой экологически безопасный и многофункциональный препарат, применение которого способствует повышению продуктивности и устойчивости растений в современных агротехнологиях. Эффективность воздействия хитозана на растения определяется его характеристиками, такими как молекулярная масса, наличие примесей, степень замещения и другие параметры. Согласно литературным данным, эффективность хитозана возрастает при снижении его молекулярной массы, тем выше эффективность.

Исследование влияния хитозана на процесс прорастания семян земляники направлено на выявление оптимальных концентраций препарата, способствующих повышению всхожести и устойчивости молодых растений к неблагоприятным факторам среды. Получение объективных научных данных позволит рекомендовать использование хитозана в качестве экологически безопасного стимулятора роста для выращивания земляники. В данной работе для предпосевной предобработки использовались семена земляники сорта «Александрина». В исследовании использовался хитозан, полученный в результате обработки высокомолекулярного хитозана ферментом «Целлюлюкс А» и представляют собой низкомолекулярные фракции

хитозана. В ходе исследований изучалось влияние различных концентраций низкомолекулярного хитозана на всхожесть и развитие растений, а также скорость созревания плодов земляники. Образцы брали в различных концентрациях водного раствора хитозана. На рисунках 1, 2,3 и 4 запечатлены результаты исследования.

Предпосевная обработка семян земляники представляет собой погружение посевного материала в растворы хитозана различной концентрации. Посадка обработанных семян осуществилась 26 декабря 2024 года. Семена каждой концентрации выдерживались в растворах в течение часа, после этого высаживались в подготовленные ящики с грунтом с шагом в 5 сантиметров, представленные на рисунке 1.

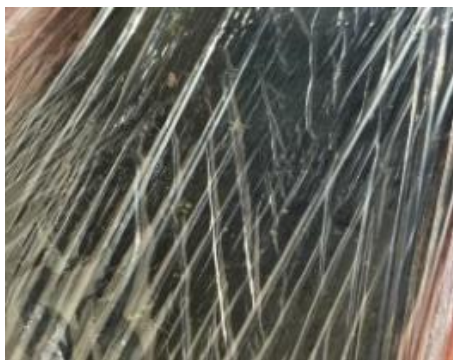


Рис. 1. Высадка семян земляники в грунт

Поддерживались регулярные поливы растений, обеспечивающие оптимальное увлажнение почвы, а также строго контролировалась температурная среда в диапазоне от  $+18^{\circ}\text{C}$  до  $+20^{\circ}\text{C}$ , что создавало благоприятные условия для роста и развития семян. Спустя две недели эксперимента, на 15-е сутки, наблюдалось появление первых всходов, что свидетельствует о высокой жизнеспособности исследуемого материала и эффективности предложенных агротехнических приемов.



Рис. 2. Первые всходы ростков

На сороковые сутки культивирования были зафиксированы ростки земляники с развитием третьего листа, что соответствует стандартной фазе активного органогенеза, свидетельствующей о благополучном прохождении начальных этапов вегетационного цикла. Этот этап является важным показателем успешности проведенного исследования и готовности растений к последующему переходу на следующую стадию формирования вегетативной массы.



Рис. 3. Ростки с третьим листом

После трёхмесячного периода адаптации в грунте растения значительно увеличили свою вегетативную массу, сформировав развитую листовую поверхность, что свидетельствует о полноценном прохождении фазы интенсивного роста и успешной адаптации корневой системы к новым условиям произрастания.



Рис.4. Промежуточный результат

На пятом месяце эксперимента ростки всех концентраций были перенесены из лабораторных условий в открытый грунт, где продолжилось наблюдение за их развитием. Уже к моменту высадки отдельные экземпляры продемонстрировали начальную фазу бутонизации, что стало свидетельством успешного прохождения этапов укоренения и накопления биомассы, необходимых для перехода к репродуктивной стадии жизненного цикла.



Рис.5. Высадка в грунт

Семена земляники обрабатывались водными растворами хитозана при содержании добавок 0,2%; 0,4%; 0,6%; 0,8%; 1,0 % в сравнении с контрольной пробой с содержанием раствора 0%. Были проведены сравнение образцов по ряду показателей: проращивание (при нормальных

условиях на 3 сутки) и всхожесть семян в грунте. На 12 день появились первые ростки. Как видно из представленных данных, предобработка семян растворами хитозана с во всех используемых концентрациях увеличивает всхожесть и прорастание семян на 11–20 %. Данные исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Влияние предпосевной предобработки семян растворами хитозана

Концентрация хитозана, %	Всего посажено, шт.	Кол-во ростков всхода, шт. (на 10.01.24)	Кол-во ростков с третьим листом, шт. (на 06.02.24)	Кол-во ростков с четвертым листом, шт. (на 01.04.24)	Кол-во ростков с пятым листом, шт. (на 01.04.24)	Кол-во ростков с цветением, шт. (на 04.06.24)	Кол-во ростков, высаженных в грунт, шт.
Контрольный образец (вода)	20	7	6	6	6	-	5
0,2	20	12	10	11	11	-	12
0,4	20	15	11	13	12	1	15
0,6	20	11	15	16	16	-	11
0,8	20	12	11	11	11	-	11
1,0	20	17	17	17	16	-	17

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о благоприятном воздействии растворов хитозана на ключевые агрономические характеристики земляники. Предобработка семян различными концентрациями хитозана привела к увеличению процента всхожести и скорости прорастания семян на уровне от 5% до 11%, что представляет собой статистически достоверный прирост по сравнению с контролем, представленным раствором с нулевым содержанием хитозана. Кроме того, исследование выявило значительное влияние предварительной обработки семян хитозаном на динамику накопления зеленой массы молодых растений земляники. Данный показатель отражает комплексный характер действия хитозана, способствующего интенсификации физиологических процессов, связанных с ростом надземной части растений. Механизм наблюдаемого эффекта предположительно заключается в способности хитозана улучшать структуру клеточной стенки, повышать активность ферментов и стимулировать деление клеток меристемы. Это создает благоприятные условия для ускоренного развития корневой системы и вегетативных органов, обеспечивая оптимальный баланс между потребностью в

питательных веществах и возможностями почвенных ресурсов. Важно отметить, что положительный эффект проявлялся независимо от конкретных концентраций применяемых растворов хитозана, что свидетельствует о высокой толерантности культуры земляники к варьированию дозирования препарата. Тем не менее, дальнейшее детальное изучение зависимости урожайности и качественных характеристик плодов от величины используемой дозы хитозана позволит установить наиболее эффективные режимы обработки семян и определить оптимальные стратегии внедрения данной технологии в практическое растениеводство.

### Библиографический список

1. Гильман А.Б. Модифицирование сверхвысокомолекулярного полиэтилена в низкотемпературной плазме (обзор) / А.Б. Гильман, М.С. Пискарев, А.А. Кузнецов, А.Н. Озерин // Химия высоких энергий. – 2017. – Т. 51. № 2. – С. 147-156.
2. Галимова Р.З., Шайхиев И.Г., Свергузова С.В. Обработка результатов исследования процессов адсорбции с использованием программного обеспечения Microsoft Excel: практикум: уч. пособие. – Казань – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 60 с.
3. Технологии возделывания гороха в Воронежской области / В.И. Трусов [и др.]. Каменная степь, 2019. 28 с.  
Котляр М.Н. Методы выделения и модификация хитин-глюканового комплекса из биомасс *Aspergillus niger*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2001. 19 с.
4. Зими́на Ю.А. Применение биопрепаратов на основе хитозана в сельском хозяйстве // Природные системы и ресурсы. 2018. Т. 8, № 3. С. 20–27.
5. Способ получения низкомолекулярного хитозана для противолучевых препаратов: пат. 2188829 Рос. Федерация № 2000131566/04; заявл. 18.12.2000; опубл. 10.09.2002, Бюл. № 25.
6. Современные технологии изучения и сохранения генетических ресурсов. Часть I. Биологические свойства семян и устойчивость растений к стресс-факторам: учеб.-метод. пособие / Н.А. Боме [и др.]. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2017. 48 с.



## УТИЛИЗАЦИЯ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО КОНЦЕНТРАТА ТЭС

*Современные методы водоподготовки осуществляются мембранными методами. Однако, одним из проблем мембранных технологий, является наличие высокоминерализованных сточных вод. Предлагается рассмотреть утилизацию обратноосмотического концентрата методом заведения нефтяных пластов при добыче.*

*Ключевые слова: обратноосмотический концентрат, утилизация сточных вод, заводнение, нефтяной пласт, высокоминерализованные воды, нефтедобыча, мембранные технологии.*

Современное развитие тепловой энергетики требует использования значительного количества различных ресурсов, включая водные. Вода служит теплоносителем, а также применяется для приготовления, охлаждения и разбавления.

Создание высокоэффективных схем получения обессоленной воды с минимальным воздействием на окружающую среду стало возможным благодаря применению мембранных методов.

Данная технология не требует использования больших количеств реагентов, что делает ее внедрение наиболее привлекательным.

Наиболее широко на ТЭС применяют технологию обратного осмоса [1].

При подготовке воды обратным осмосом на ТЭС, образуется большое количество высокоминерализованных сточных вод.

В настоящее время утилизация обратноосмотического концентрата осуществляется сбросом в: систему гидрозолоудаление, канализационные сети города, поверхностные воды, что создает серьезную проблему и создает негативное воздействие на окружающую среду.

Предлагается применять обратноосмотический концентрат в нефтяных месторождениях утилизация обратноосмотического концентрата методом заводнения нефтяных пластов, а также при закачке в пласт минерализованных вод для увеличения нефтеотдачи пластов [2].

Использовался ООК со следующим химическим составом:  $\text{Na}^+$  – 111,12 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{Cl}^-$  – 81,39 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{SO}_4^{2-}$  – 334,57 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{Ca}^{2+}$  – 272,01 мг/дм<sup>3</sup>. По данному химическому составу видно, что концентрация по ряду показателей превышает нормы ПДК загрязняющих веществ в водоемы рыбохозяйственного назначения.

Применение обратноосмотического концентрата для повышения нефтеотдачи в современной нефтедобыче способствует увеличению величины конечной нефтеотдачи [3].

На примере Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения, расположенного в Иркутской области рассмотрен метод закачки обратноосмотического концентрата (ООК) в пласты при добыче нефти.

Весь Ярактинский горизонт рассматривается как залежь с единым водонефтяным и газонефтяным контактами.

Продуктивные пласты сложены песчаниками.

Коллектор поровый, трещинно-поровый.

Пористость – 7-13%, проницаемость – 0,07-0,6 мкм.

Эффективная толщина 2,4-6,9 м. Пластовое давление 24,9 МПа,  $t = 37^\circ\text{C}$  [4].

По своим физико-химическим свойствам нефть относится к типу малосернистых (до 0,25%), малосмолистых (до 5%), низкопарафинистых, с повышенным содержанием бензиновых (до 25%) и керосиновых (до 30%) фракций нефти.

Плотность пластовой нефти 0,723 г/см<sup>3</sup>, вязкость пластовой нефти 1,06 мПа\*с, давление насыщения 22,63 МПа, объёмный коэффициент 1,26 [5].

В работах [6,7] проводились исследования проницаемости керна Ярактинского месторождения Иркутской области скважины №243.

Установлено, что оптимальная проницаемость пласта оказывает вода с минерализацией до 30 г/ дм<sup>3</sup> при минерализации воды 40 г/дм<sup>3</sup> дальнейшего роста проницаемости не наблюдается (табл.1).

Таблица 1 - Влияние вод различной минерализации на проницаемость пластов

Минерализация, г/л	Проницаемость, $10^{-12}$ , м <sup>2</sup>	Прирост проницаемости
0-15	1,2-1,321	0-10,1
20-25	1,41-1,511	17,7-25,9
30-40	1,62-1,64	35-37

Как видно из таблицы 1 закачка минерализованных сточных вод может быть экологически более предпочтительной альтернативой использованию воды, что позволит сократить использование пресной воды. Наблюдается увеличение проницаемости нефтяных коллекторов при использовании высокоминерализованной воды, увеличение нефтеотдачи пластов.

### **Библиографический список**

1. Козадерова О.А., Ким К.Б., Нифталиев С.и. Мембранные процессы: учебное пособие. Воронеж. го. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2019. – 71 с.
2. Кязимов Ф.К. Исследование процесса вытеснения нефти различными минерализованными водами // Вектор ГеоНаук, 2019, №2(3), С.25-29.
3. С.К. Дузбаев, О.М. Мирсаатов, С.А. Утегалиев, А.Ш. Газизов, А.А. Газизов Повышение нефтеотдачи пластов с высокоминерализованными пластовыми водами // Науки о земле, 2005, №11 С. 197-209.
4. Конторович, А. Э. Геология нефти и газа Сибирской платформы: учебник / А. Э. Конторович, В. С. Сурков, А. А. Трофимук. – Москва: Недра, 1981 – 552 с.
5. Коновальцева Е. С. Нефтегазовая геология: учебник / Е. С. Коновальцева. – Москва: Недра, 2010 – 360 с.
6. Ленченкова Л.Е., Кабиров М.М., Персиянцев М.Н. Повышение нефтеотдачи неоднородных пластов. Учебное пособие. Уфа, изд-во УГНТУ, 1998 – 255 с.
7. МаксUTOва Р.А. Технология и техника для повышения производительности скважин и нефтеотдачи пластов – М.:«ВНИИнефть», 1991 – 191 с.

Раздобарин А.Е., аспирант,  
Везенцев А.И., д-р техн. наук, проф.  
(Белгородский государственный национальный исследовательский  
университет, Россия, Белгород)

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРБОНИЗАЦИИ СТЕКЛОТАРЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА**

*В последние годы наблюдается значительный рост производства пластиковых изделий, среди которых полиэтилентерефталат (ПЭТ) занимает одно из ведущих мест благодаря своей универсальности и широкому применению. ПЭТ активно используется для изготовления тары благодаря своей безопасности – в естественно-бытовых условиях он не выделяет токсичных, мутагенных, тератогенных и канцерогенных веществ, способных поступать в пищевые продукты. В данной работе исследованы продукты термического разложения ПЭТ-тары в условиях дефицита кислорода с целью получения адсорбционно-активного материала. Установлена адсорбционная эффективность полученного карбонизата и сделан вывод о возможности его применения для очистки технологических и сточных вод от загрязнителей в виде катионов  $Fe^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$  и метиленового голубого.*

*Ключевые слова: полиэтилентерефталат, моделирование, пиролиз, карбонизат, адсорбент, катионы тяжёлых металлов, метиленовый голубой, очистка воды, утилизация, экология*

В мире с каждым годом наблюдается рост производства пластмассовых изделий. Среди пластмасс наиболее быстро развивающимися и широко используемым является полиэтилентерефталат (ПЭТ). На данный момент ПЭТ широко применяется при изготовлении тары для хранения жидкостей или вещей[1]. В настоящее время в России спрос на полимерную тару растет в среднем на 4-7% в год[2]. Полиэтилентерефталат является безвредным с точки зрения эксплуатации, так как он при естественных условиях не выделяет токсичных, мутагенных, тератогенных и канцерогенных веществ, которые имеют способность внедряться в пищевые продукты во время хранения[3]. Помимо применения ПЭТ в качестве тары, его используют в качестве связующего вещества в производстве композиционных материалов[4]. Согласно научной статье[5] синтез ПЭТ проводят загружая этиленгликоль (ЭГ) и диметилтерефталат (ДМТ) совместно с катализатором ацетатом марганца в реактор,

который обогревается водяным паром. Варьируя температурой и соотношением ЭГ:ДМТ, можно влиять на качество полимера, а также оптимизировать процесс[6]. Главная задача на стадии поликонденсации – получение полимера определённой вязкости, что определяет основные качественные характеристики полимера[7]. При получении и переработке ПЭТ макромолекулы формируют аморфные или частично кристаллические образования[8]. Определение температуры разложения материалов на основе ПЭТ имеет высокую практическую значимость для экологии и промышленности, способствуя созданию карбонизата с эксплуатационными характеристиками, которые используются в частности в адсорбционных процессах.

Объектом исследования являлась тара на основе ПЭТ. Для определения физико-химических процессов, протекающих при карбонизации ПЭТ использовали лабораторную муфельную печь марки “UMEGA”. Нагрев экспериментальных образцов проводили со скоростью 5°C в минуту.

В пределах температур от 20°C до 90°C с материалом на основе ПЭТ не происходило никаких изменений. При достижении температуры 90°C край образца начал деформироваться. В интервале температур от 100°C до 220°C происходило продолжение деформации всего образца. Экспериментально зафиксировано появление специфического запаха материала из ПЭТ при 230°C и значительное усиление деформации при 240°C. Начало размягчения и изменение цвета (небольшое пожелтение) наблюдали при 250°C. Начиная с 270°C зафиксировано пожелтение всего образца и начало его перехода в вязко-пластичное состояние. При достижении температуры 280°C зафиксировано почернение края образца. В интервале от 290°C до 300 °C произошло полное почернение экспериментального объекта. В интервале температур 300-400 °C полиэтилентерефталат из вязко-пластичного состояния переходит в жидкое. Вязкость при этой температуре соизмерима с вязкостью глицерина при комнатной температуре. В интервале температур 400-440 °C произошло возгорание расплава ПЭТ. Устранив контакт расплава ПЭТ с окислительно-воздушной средой за счёт применения крышки тигля, осуществлён пиролиз полиэтилентерефталата с получением карбонизата. Пиролиз ПЭТ происходил в интервале температур 440-500 °C. Полученный продукт пиролиза представлял собой частицы чёрного цвета со специфическим запахом. С целью определения фазового состава продуктов пиролиза провели

рентгенофазовый анализ (SmartLab Rigaku, Япония), результаты которого представлены таблице.

Таблица 1 - Фазовый состав продуктов пиролиза  
полиэтилентерефталата

Название фазы	Формула	Межплоскостное расстояние, Å
Аморфный углерод	C	Гало в области 4,119-3,438
Графит	C	5,485
		3,369
		3,03
		2,73
		2,484

Методом рентгенофазового анализа установлена карбонизация ПЭТ. Показано, что продукты пиролиза представлены такими фазами, как аморфный углерод и графит.

На основании анализа продуктов пиролиза полиэтилентерефталата Гудингс[9] предложил следующий механизм его термической деструкции. Согласно источнику при пиролизе ПЭТ выделяются следующие газообразные вещества: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, формальдегид, этилен и метан. Жидкими веществами при пиролизе выявлены 2-метилдиоксолан и бензол.

С целью улучшения адсорбционных характеристик продукты пиролиза измельчены фарфоровым пестиком в фарфоровой ступке. Адсорбционную эффективность, полученного карбонизата ПЭТ определили по отношению к катионам Fe<sup>3+</sup>, Ni<sup>2+</sup> и метиленовому голубому спектрофотометрическим методом (спектрофотометр Specord 50 PLUS, Analytik Jena AG, Германия). Гранулометрический состав измельченного карбонизата определен методом лазерного анализа (анализатор Analysette 22 NanoTec). Основываясь на данных лазерного анализа установлен средний размер частиц 78,17 мкм и удельная площадь поверхности – 0,2085 см<sup>2</sup>/г. На изображении приведены изотермы адсорбции продуктов пиролиза ПЭТ.

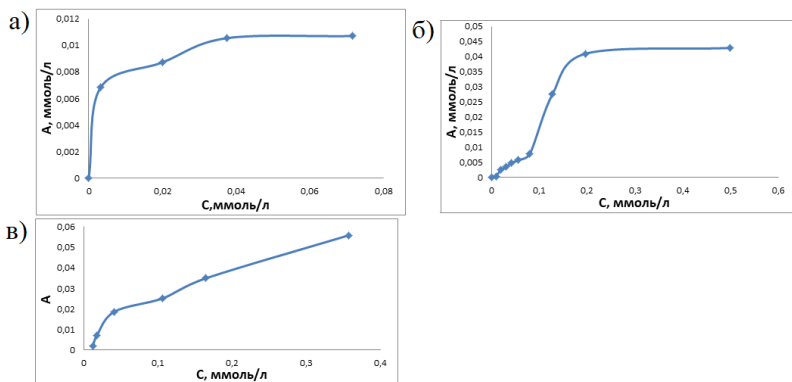


Рис.1. Изотермы адсорбции:

а)  $\text{Fe}^{3+}$ , б)  $\text{Ni}^{2+}$ , в) Метиленовый голубой, где А – предельная адсорбция, а С – концентрация раствора

При анализе построенных изотерм выявлено, что для их описания модель Фрейндлиха даёт лучшие показатели коэффициента корреляции, для изотерм адсорбции  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  - 0,99, метиленового голубого – 0,98. Основываясь на данных полученных при анализе изотерм, установлена адсорбционная ёмкость экспериментального адсорбента по отношению к катионам  $\text{Fe}^{3+}$  - 1,68 ммоль/г, катионам  $\text{Ni}^{2+}$  - 0,033 ммоль/г и метиленового голубого - 0,265 мкмоль/г.

Выводы.

1. Установлено, что при температуре 440-500 °С материал на основе ПЭТ карбонизируется с образованием аморфной и графитоподобной фазы.

2. Предложен способ получения и использования карбонизата полиэтилентерефталата в качестве адсорбента по отношению к катионам тяжёлых металлов и органическим красителям. Адсорбционная ёмкость карбонизата ПЭТ по отношению к катионам  $\text{Fe}^{3+}$  составляет 1,68 ммоль/г,  $\text{Ni}^{2+}$  0,033 ммоль/г и метиленовому голубому 0,265 мкмоль/г.

3. Показано, что пиролиз ПЭТ тары способствует утилизации отходов, накапливающихся после эксплуатации пластиковых бутылок, что позволит решить одну из экологических проблем.

Исследование выполнено в рамках НОЦ мирового уровня “Инновационные решения в АПК” Тема № 4-19-01/160 «Разработка технологии переработки органических отходов сельского хозяйства в адсорбенты и засыпные грунты для мусорных полигонов» в 2022 г.

Авторы выражают благодарность сотрудникам центра коллективного пользования НИУ БелГУ “Технологии и материалы” за определение фазового и гранулометрического составов полученного карбонизата.

### Библиографический список

1. Джайлз Д., Брукс Д., Сабсай О.Ю. Производство упаковки из ПЭТ. / - М.: Профессия, 2006. – С.368
2. Вяткин А.В., Проблемы и перспективы международной интеграции в сфере производства пэт-бутылок // Актуальные проблемы авиации и космонавтики – Том 3 - 2019. - С.438-440.
3. Сатбаева Н.С., Богачева Т.М., Рахматуллина А.П., Яруллин Р.С. Химическая переработка отходов полиэтилентерефталата. // Вестник Казанского технологического университета. -2015. -№2. - С.195-197.
4. Онучин, Д. А. Перспективы применения вторичного ПЭТ для изготовления композитной арматуры // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований.– 2015. – № 21. – С.178-180.
5. Церковский А.А. Математическое моделирование процесса производства полиэтилентерефталата // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2015. - № 4 (48)- С.127-132
6. Жмыхов А.Н., Гальбрайт Л.С., Акулич А.В., Щербина Л.А., Сорокин Ф.А. Процессы и оборудования производства волокнистых и плёночных материалов. / - Минск: “Вышэйшая школа”, 2013. - С.592
7. Цирлин А.М. Оптимальное управление технологическими процессами // М. : Энергоатомиздат, 1986. - С.400
8. Брукс Д. Производство упаковки из ПЭТ // пер. с англ. под ред. О. Ю Сабсай. – СПб.: Профессия, 2006. – С.368
9. Конкин А.А. Термо-жаростойкие и негорючие волокна // Москва: Химия, 1978. - С.424



Святченко А.В., канд. техн. наук, доц.,

Кучеренко С.В., студент,

Разинькова С.И., магистрант

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

## **О ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ**

*В статье рассмотрена перспективность применение беспилотных летательных аппаратов в экологическом мониторинге. В современном мире для дистанционного мониторинга активно применяются датчики, сенсоры, спутники и беспилотные летательные аппараты. Их интеграция является эффективной для внедрения оперативной многоуровневой системы мониторинга. Такой подход обеспечит комплексный анализ данных с взаимной верификацией результатов, что значительно повысит достоверность и оперативность экологического контроля.*

*Ключевые слова: контроль, исследования, загрязнение, вода, почва, воздух.*

Беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) является воздушное судно, которое управляется в полете пилотом, находящимся вне борта такого судна, или выполняющее автономный полет по заданному предварительному маршруту [1]. На сегодняшний момент, несмотря на их распространенность в различных секторах экономики, нет единой официальной классификации БПЛА. В зависимости от признаков, которые важны для выполнения конкретных задач данного оборудования имеются различные классификации. Согласно Международной организации гражданской авиации [2] можно выделить три типа летательных аппаратов с двигателем, создающих подъемную силу за счет аэродинамики, например, крыльев, винтов. Это аппараты самолетного типа, винтокрылы и орнитоптеры. Первые два типа достаточно распространены и апробированы на практике, а вот орнитоптеры сегодня не имеют массового применения. Они находятся на этапе разработки и тестирования научными центрами и лабораториями. По литературным данным [3] также можно встретить классификацию по областям применения: научная и прикладная (военная и гражданская) сфера использования. Рассмотрим

гражданскую сферу использования. Современные БПЛА нашли широкое применение в гражданском секторе, охватывая разнообразные отрасли экономики и социальной сферы. Анализ данных [3] позволяет систематизировать основные направления их использования: промышленность и инфраструктура (топогеодезические исследования, инспекция высотных сооружений, мониторинг линейных объектов (нефте-/газопроводов, ЛЭП); энергетический комплекс (диагностика ЛЭП, термографический контроль энергообъектов); транспорт и логистика (доставка грузов в труднодоступные районы, инвентаризация складских комплексов); медиа и коммуникации (аэрофотосъемка; рекламные проекции в атмосфере); безопасность и чрезвычайные ситуации (поисково-спасательные операции, мониторинг чрезвычайных ситуаций в реальном времени); научные исследования (атмосферные зондирования, геомагнитные исследования); сельскохозяйственный комплекс (обработка посевов пестицидами и удобрениями, мониторинг состояния сельхозугодий, контроль передвижения скота); экологический мониторинг (анализ состояния лесных массивов, ледниковая съемка, противодействие браконьерству, определение содержания гумуса, отслеживание загрязнения природных объектов).

Для эффективной реализации системы дистанционного экологического мониторинга на базе БПЛА требуется комплексный подход к оснащению аппарата. Прежде всего, необходимо учитывать, что успешное выполнение мониторинговых задач напрямую зависит от правильно подобранного оборудования. В этой связи ключевое значение приобретает оснащение БПЛА специализированным дополнительным оборудованием, включающим:

- сенсорные системы мониторинга (многоспектральные системы видеонаблюдения с панорамным обзором, газоанализаторы для определения концентраций загрязняющих веществ, дозиметры, тепловизоры для выявления тепловых аномалий, метеокомплексы, акустические сенсоры для контроля шумового загрязнения, ультрафиолетовые сенсоры для контроля озонового слоя, для определения содержания гумуса в почвах существуют мульти- и гиперспектральные камеры);

- системы отбора проб (аэрозольные пробоотборники, оборудование-манипуляторы для забора проб воды и почвы) [4-5]

Особое внимание следует уделять вопросам обработки и хранения данных. Для обеспечения бесперебойной работы системы требуется

бортовой накопитель достаточного объема, специализированное программное обеспечение для обработки и анализа данных, надежные каналы передачи информации. Собранная информация должна оперативно передаваться в специализированную экологическую лабораторию, где будет проводиться ее углубленный анализ.



Рис. 1. Блок-схема применения БПЛА при мониторинге состояния окружающей среды

Важно отметить, что выбор конкретной конфигурации оборудования во многом зависит от поставленных исследовательских задач, особенностей наблюдаемой территории, требуемой точности измерений, продолжительности мониторинговых миссий. Возможный алгоритм использования БПЛА при экологическом мониторинге состояния окружающей среды представлен на рисунке 1.

Применение БПЛА позволит определять уровень концентрации загрязняющих веществ в воздухе, выявлять наиболее загрязнённые участки в установленном радиусе, анализировать изменения растительного покрова, исследовать состояние почв и воды, измерять уровень радиоактивного и акустического загрязнения, отслеживать накопление отходов.

Такие возможности позволяют не только обнаруживать проблемные места, но и создавать решения для их исправления.

Оперативное выявление территорий, например с повышенной концентрацией загрязнителей, может ускорить действия экологических служб и предупреждать жителей о возможных рисках [6-7].

Реализация перечисленных технических возможностей экологических комплексов БПЛА позволит создать эффективную систему экологического мониторинга, сочетающую оперативность сбора данных с высокой точностью измерений [8].

При этом следует подчеркнуть особую значимость вопроса интеграции всех компонентов в единую работоспособную систему, что требует тщательного проектирования как аппаратной части, так и программного обеспечения.

Таким образом, постоянное совершенствование технологий БПЛА и сенсорного оборудования способствует развитию новых методов экологического мониторинга.

Разработка более компактных, энергоэффективных и автономных устройств, способных работать в сложных условиях, открывает новые перспективные возможности для проведения более масштабного продолжительного экологического мониторинга, а также для автоматизации процессов сбора и анализа данных.

## Библиографический список

1. ГОСТ Р 57258-2016 Системы беспилотные авиационные. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2018.
2. Руководство по дистанционно-пилотируемым авиационным системам. Дос 10019. – ИКАО. – 2015.
3. Просвирина Н.В. Анализ и перспективы развития беспилотных летательных аппаратов // Московский экономический журнал. 2021. №10. С. 560-575.
4. Сушко К.С., Кулыгин В.В., Шматко В.Ю., Оспищев Р.Н. Опыт применения гиперспектральной камеры SpecimIQ и анализа гиперспектральных снимков для моделирования содержания гумуса в почвах ростовской области // Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки: материалы Международной молодежной научной школы. Ростов-на-Дону - Таганрог, 2022. С. 605-610.
5. Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р. Методология мониторинга качества и плодородия почв виноградных агроценозов на основе мультиспектральных космических данных // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы V Международной научно-технической конференции. 2022. С. 130-135 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-monitoringa-kachestva-i-plodorodiya-pochv-vinogradnyh-agrotsenozov-na-osnove-multispektralnyh-kosmicheskikh-dannyh> (дата обращения: 15.05.2025).
6. Второй В.Ф., Второй С.В. Перспективы экологического мониторинга сельскохозяйственных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов // АгроЭкоИнженерия. 2017. №92. С. 158-166.
7. Осанов В.А., Щурихин А.А., Кондратьев С.М., Михаленко Ю.А., Коняева О.С. Разработка автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха с использованием беспилотного летательного аппарата // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2019. Том 13. №5. С. 28-34.
8. Филимонова Ю.И. Разработка программно-аппаратного комплекса экологического мониторинга для беспилотного летательного аппарата. URL: [elar.urfu.ru/bitstream/10995/119595/1/m\\_th\\_j.i.filimonova\\_2022.pdf](http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/119595/1/m_th_j.i.filimonova_2022.pdf) (дата обращения 30.05.2025).

УДК: 504.064

<sup>1</sup>Тунакова Ю.А., д.х.н., профессор, зав.кафедрой,

<sup>1</sup>Новикова С.В. д.т.н., доцент, с.н.с.,

<sup>2,1</sup>Шагидуллина Р.А., д.х.н., доцент, с.н.с., профессор,

<sup>2,1</sup>Нурмехамитова В.А., м.н.с, аспирант,

<sup>2,1</sup>Шагидуллин А.Р., д.т.н., с.н.с., ст.преподаватель.

(1- ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, Россия;

2- Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия)

## **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРНИКОВОГО ГАЗА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**

*Приводится способ расчета концентраций диоксида углерода. В качестве входных параметров нейросетевой модели используются концентрации СО, получаемые расчетом рассеивания на основе данных инвентаризации выбросов, метеорологические условия, коэффициент трансформации, концентрации озона, гамма-фон.*

*Ключевые слова: парниковый газ, парниковый эффект, выбросы, приземные концентрации, нейронная сеть, моделирование, диоксид углерода, углекислый газ, расчет рассеивания.*

Процессы климатических изменений делают организацию наблюдений за содержанием парниковых газов крайне актуальными. Основным компонентом парниковых газов является диоксид углерода (СО<sub>2</sub>). Приземные концентрации парникового газа диоксида углерода контролируется крайне недостаточно (на территории Республики Татарстан всего на двухавтоматизированных постах наблюдений). Также отсутствуют данные инвентаризации источников выбросов, которые являются входными параметрами методик расчета приземных концентраций, в результате чего его концентрации не могут быть определены путем стандартного расчета рассеивания.

Особенно сложной является решение задачи расчета приземных концентраций парниковых газов в зонах расположения множественных источников выбросов, поэтому апробация предлагаемых подходов проводилась в зоне воздействия выбросов завода органического синтеза в г. Казани.

В процессе сжигания топлива основная масса выбрасываемых в атмосферный воздух газов приходится на диоксид углерода. Однако,

вследствие неполного окисления углерода, содержащегося в топливе, в состав образующихся газов входит и оксид углерода CO – угарный газ. В результате того, что CO выбрасывается совместно с CO<sub>2</sub>, возникает определенная взаимосвязь между концентрациями данных газов. Кроме того, углекислый газ может образовываться в результате вторичных реакций из монооксида углерода, что позволяет использовать концентрации CO в качестве исходных данных для расчета CO<sub>2</sub> [1-2].

Для этой цели значительные преимущества имеет использование нейросетевых методов, которые, согласно теореме Цыбенко, являются универсальными аппроксиматорами, и при достаточном охвате в обучающих данных всевозможных сочетаний значений предикторов, позволяют учесть трудно моделируемые скрытые зависимости между факторами и получить высокоточную адекватную модель расчета концентраций в приземном слое атмосферного воздуха [3-5]. Для получения хорошей сходимости искусственные нейронные сети обучаются на данных автоматизированных постов наблюдений за концентрациями CO<sub>2</sub>, получаемыми в непрерывном режиме с интервалом осреднения в 20 минут. В качестве одного из предикторов нейросетевой модели используется концентрация CO, полученная с использованием регламентированной программы расчета [6].

Для проведения расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе была использована программа УПРЗА «Эколог-Город», разработанная Фирмой «Интеграл», г. Санкт-Петербург (вер. 4.70). В качестве исходных данных для расчета используются параметры источников выбросов оксида углерода CO: координаты расположения, высота устья, температура и скорость выхода газовой смеси и др. Задавались основные метеопараметры, определяющие рассеивание компонентов выбросов: температура воздуха, скорость и направление ветра. Для формирования обучающего набора данных расчеты проводились с полным перебором метеоусловий с заданным шагом по скорости ветра (от 0,5 м/с до 7,5 м/с с шагом 1 м/с) и направлений (от 0 до 360° с шагом 10°). Промежуточные значения дополнены методом линейной интерполяции. Для скорости ветра ниже 0,5 м/с расчеты не проводились, т.к. в условиях штиля в соответствии с методикой расчет не осуществим. Метод интерполяции – линейная. Все значения концентраций приведены к мг/м<sup>3</sup>. Далее для проведения обучения

нейросетевой модели результаты расчета сопоставлены с данными инструментальных измерений диоксида углерода.

Апробация модели проведена на примере предприятия органического синтеза г. Казани. Рассчитанные концентрации  $\text{CO}$ , полученные с помощью УПРЗА «Эколог-Город», использовались для вычисления концентраций  $\text{CO}_2$  в качестве предиктора в разработанной современной интеллектуальной модели типа многослойный персептрон. В итоговой нейросетевой модели расчета концентрации диоксида углерода на основе значений оксида углерода для учетавторичных химических реакций в атмосфере определены три значимых предиктора:

- Значение коэффициента трансформации (КТ), который характеризует химическую активность атмосферы – способность принять заданное количество вещества и с помощью химических реакций произвести определенное количество вторичного вещества, определяемое по измеренным концентрациям оксидов азота;
- Значение концентрации озона  $\text{O}_3$ , который возникает в результате протекания фотохимических процессов, отражающее их интенсивность, измеренное.
- Значение гамма-фона, характеризующее интенсивность вторичных химических реакций в атмосфере, идущих по радикальному механизму, за счет внешнего ионизирующего излучения, измеренное. Вид нейросетевой модели для расчета концентрации диоксида углерода показан на рис.1.

При обосновании выбора предикторов для каждого предиктора была построена собственная нейросетевая модель. Доказано, что использование только одного КТ не позволяет достичь стабильного повышения точности моделирования концентрации диоксида углерода. То же относится и к использованию гамма-фона в качестве единственного отражающего вторичные химические реакции предиктора. Учет трех предикторов, отражающих интенсивность вторичных химических реакции в атмосфере, коэффициента трансформации, гамма-фона и концентрации озона дает наилучшие результаты. Более подробно результаты обоснования предикторов приведены в наших ранних публикациях [7-10]. Таким образом, в итоговой нейросетевой модели расчета  $\text{CO}_2$  есть блок расчетов по стандартной нормативной методике, а также два нейросетевых блока. Расчеты проводятся последовательно. Первой ступенью является модели расчетный блок, реализующий регламентированную методику



расчета рассеивания выбросов, используемый для расчета концентраций СО в исследуемой точке. Второй ступенью является корректирующая результаты расчета предыдущего этапа нейронная сеть. Третьей ступенью являются 3 нейронные сети, рассчитывающие непосредственно концентрацию СО<sub>2</sub>. К предикторам на этом этапе добавляются КТ, концентрация О<sub>3</sub>и гамма-фон. Схематически последовательность расчетов при помощи гибридной расчетной модели демонстрирует рис. 2.

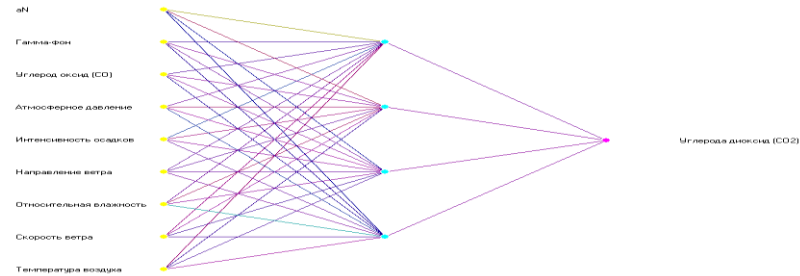


Рис.1. Нейросетевая модель

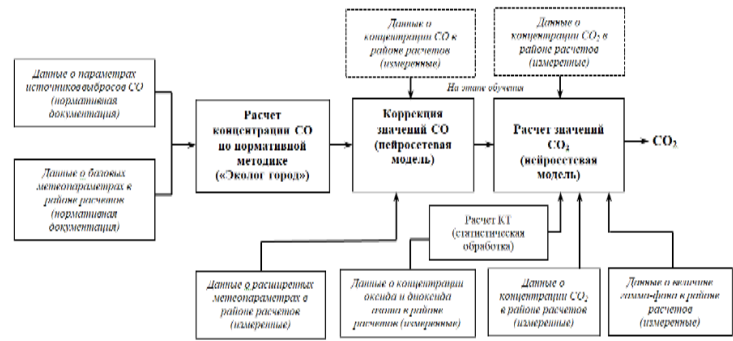


Рис. 2. Вычислительные блоки гибридной модели расчета концентрации диоксида углерода

Средняя ошибка модели на тестовых данных составила около одного процента – 0,98%. Таким образом, нами разработан алгоритм получения расчетных значений концентраций парниковых газов на основе диоксида углерода в условиях отсутствия информации о характеристиках источников его выбросов. Обученные на данных

автоматических станций контроля загрязнения воздуха г. Казани нейронные сети после соответствующего дообучения могут применяться для расчета концентраций диоксида углерода на территории других предприятий городов Республики Татарстан.

### **Библиографический список**

1. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. — 5-е изд., испр. / Н.С. Ахметов — М.: Высшая школа, 2003. — 743 с.
2. Piantadosi C.A. Biological chemistry of carbon monoxide /C.A. Piantadosi // *Antioxidants & Redox Signaling*. — 2002. — № 4. — P. 259-270.
3. Нечаев Ю.И. Нейронечеткое моделирование активных динамических систем // *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2018. № 1. С. 3-12.
4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. Финансы и статистика, Москва, 2002, 344с.
5. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей. «Вильямс», Москва, 2001.- 287с.
6. «Методического пособия по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух (дополненного и переработанного)», Санкт-Петербург, ОАО «НИИ Атмосфера», 2012 г.- 224 с.
7. Григорьева И.Г., Тунакова Ю.А., Александрова А.К., Валиев В.С., Кузнецова О.Н. Оценка коэффициента трансформации оксидов азота в приземном слое атмосферы Нижнекамского промышленного узла // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. №19. С.242-244.
8. Тунакова Ю.А, Новикова С.В., Шагидуллин А.Р., Валиев В.С. Нейросетевой алгоритм и гибридная модель для расчета концентраций парникового газа диоксида углерода // *Системы контроля окружающей среды*. 2023. Вып. 3 (53). С. 133-140.
9. Валиев В.С., Шагидуллин А.Р., Нурмехамитова В.А., Тунакова Ю.А. Оценка адекватности выбора предиктора гамма фона для моделирования рассеивания компонентов выбросов стационарных источников загрязнения на территории г. Казани/ В сборнике: *Химия и инженерная экология - XXIII. Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной сотрудничеству с союзными государствами*. Казань, 2023. С. 191-193.
10. Новикова С.В., Шагидуллин А.Р., Нурмехамитова В.А., Тунакова Ю.А. Оценка адекватности выбора предикторов нейросетевых моделей для расчета концентраций примесей на территории г. Казани/ В сборнике: *Химия и инженерная экология - XXIII. Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной сотрудничеству с союзными государствами*. Казань, 2023. С. 194-197.

Чертес К.Л., д.т.н., профессор,  
Тупицына О.В., д.т.н., профессор,  
Ермаков В.В., к.т.н. доцент,  
Пыстин В.Н., к.т.н., доцент,  
Шушанян Г.А., аспирант,  
(ФГБОУ ВО «Самарский Государственный  
Технический Университет» г. Самара, Россия)

## **ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОДОЭМУЛЬСИОННОГО СЛОЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ОТХОДОВ НЕФТЯНОГО КОМПЛЕКСА**

*В работе исследованы процессы обезвреживания загрязнений нефтяной природы в жидких отходах с использованием методов сорбции, реагентной высоконапорной флотации, окисления, а также огневой переработки. Представлен состав загрязнений в водоземulsionных слоях накопителей отходов, сформированных предприятиями добычи и переработки углеводородного сырья. Предложены технологические схемы и конструктивно-компоновочные планы сооружений обезвреживания жидких отходов шламонакопителей.*

*Ключевые слова: шламонакопитель, объект накопленного экологического вреда, водоземulsionный слой, утилизация отходов, обезвреживание отходов.*

Основным фрагментом содержимого накопителей шламовых отходов нефтяного комплекса является водоземulsionный слой (ВЭС). Он представляет собой нефтесодержащий сток с концентрацией углеводородных загрязнений в диапазоне от 0,1 до 1000 мг/л [1].

Образование водоземulsionных слоёв произошло в результате многолетнего пребывания шламов в выемке, сопровождавшегося разделением фаз: седиментацией тяжелых и флотацией легких примесей – см. рисунок 1.

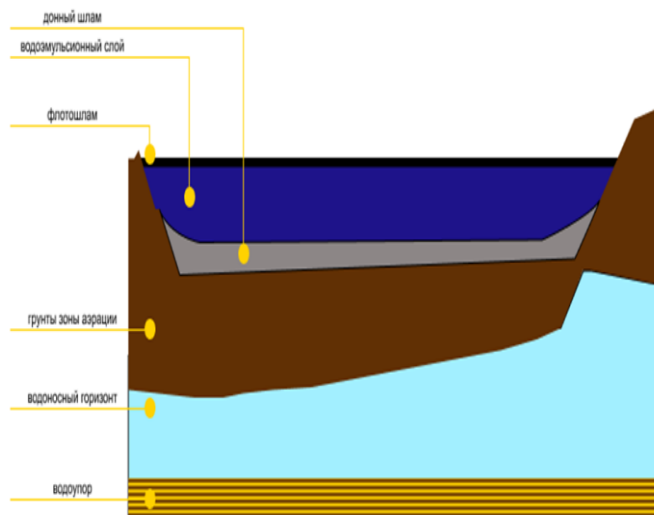


Рис. 1. Характерный разрез шламонакопителя с выделенными слоевыми фрагментами загрязнений

В таблице 1 представлены сведения по шламонакопителям нефтяного комплекса, обследованным авторами при выполнении работ по их рекультивации.

Наряду с водоземельным слоем в выемке накопителя присутствуют донный шлам и, на отдельных объектах, флотошлам – см. рисунок 1. Методы и направления их обезвреживания известны [2-4] и выходят за рамки настоящей работы.

В каждом из накопителей определен так называемый ключевой компонент, содержание которого определяет основную токсичность отходов или ценность их как вторичных ресурсов для создания технологичес

Таблица 1 - Сведения по бездействующим накопителям нефтеотходов, обследованным авторами (данные представлены по состоянию на 2025 год. Объем (ВЭС) определен из расчета доли высоты столба стока к общей глубине накопителя)

Наименование объекта	Возраст, лет	Вместимость паспортная тыс. м3	Объем ВЭС, м3	Ключевые компоненты, определяющий токсичность отходов	Эффект биохимической очистки, (избыточный активный	Эффект очистки реагентной флотацией (флокулянты Nalco 4757 и	Эффект очистки сорбцией на активированных углях+флотация/осаждения	Эффект очистки окислением бихроматом калия
<b>Нефтегазовые месторождения</b>								
Шламонакопитель в промывки оборудования	24	500,0	350,0	У/в; СПАВ	65,0±5,0	75,0±5,0	85,0±5,0	90,0±5,0
Шламонакопитель у узла первичного разделения нефти	31	200,0	170,0	У/в; флок-т	95,0±5,0	60,0±5,0	80,0±5,0	99,0±5,0
Пруд-отстойник установки обессоливания	18	120,0	110,0	У/в; сульфаты, хлориды, карбонаты	75±5,0	20,0±5,0	80,0±5,0	85,0±5,0
Аварийный амбар	38	310,0	150,0	У/в, катализатор	90±5,0	70±5,0	85±5,0	80±5,0
Шламонакопитель УКПН	45	50,0	40,0	У/в; флок-т; сульфаты	80,0±5,0	80,0±5,0	90,0±5,0	95,0±5,0
Накопитель нефтегрунтов у прифакельного хозяйства	12	20,0	5,0	У/в	99,0±5,0	85,0±5,0	90,0±5,0	99,0±5,0
Накопитель аварийного сброса	52	302,6	150,0	У/в	99,0±5,0	80,0±5,0	90,0±5,0	95,0±5,0
<b>Нефтеперерабатывающие заводы</b>								
Буферный пруд	63	3,0	2,8	У/в, катализатор	85,0±5,0	70,0±5,0	75,0±5,0	90,0±5,0
Аварийный пруд	63	12,0	11,5	У/в, катализатор	85,0±5,0	90,0±5,0	90,0±5,0	90,0±5,0
Котлованы шламов пропарки оборудования	59	80,0	65,0	У/в, СПАВ	60,0±5,0	45,0±5,0	60,0±5,0	75,0±5,0
Илошламонакопитель ЛОС физ-химочистки сточных вод	44	200,0	120,0	У/в, СПАВ, флок-т	75,0±5,0	40,0±5,0	55,0±5,0	70,0±5,0

Илошламонакопитель КОС биохимичестки сточных вод	54	60,0	35,0	У/в	99,0±5,0	80,0±5,0	90,0±5,0	95,0±5,0
Шламонакопитель промывки оборудования	28	4,0	2,0	У/в, СПАВ	80,0±5,0	70,0±5,0	80,0±5,0	85,0±5,0
<b>Нефтехимические предприятия</b>								
Шламонакопитель отходов производства синтезспирта	39	330,0	120,0	У/в, фосф.кислота ; серн.кислота, кислые полимеры	50,0±5,0	30,0±5,0	40,0±5,0	45,0±5,0
Шламонакопитель отходов производства фенолов и ацетона	37	150,0	90,0	Фенол (Фенольная смола), ацетон, изопропилбензол	45,0±5,0	25,0±5,0	35,0±5,0	40,0±5,0
Шламонакопитель отходов производства полимеров	46	5,0	2,5	Олигомеры, Стирол; бутадиен, остатки катализаторов	25,0±5,0	15,0±5,0	20,0±5,0	40,0±5,0
<b>Предприятия хранения и транспорта углеводородов</b>								
Карта хранения нефтезагрязненных грунтов	23	20,0	2,0	У/в	90,0±5,0	75,0±5,0	90,0±5,0	95,0±5,0
Нефтеамбар сырьевого парка	39	50,0	45,0	У/в	99,0±5,0	85,0±5,0	90,0±5,0	99,0±5,0
Нефтеамбар товарного парка	41	70,0	60,0	У/в, тетраэтилсв.	99,0±5,0	85,0±5,0	90,0±5,0	99,0±5,0

Из таблицы видно, что объемы водоземulsionного слоя составляет до 80% проектной вместимости накопителей. Инженерно-экологические изыскания показали, что особенно выражена слоевая структура в старых объектах накопленного экологического вреда (ОНЭВ).

Чем дольше существует ОНЭВ, тем больший объем составляет ВЭС, что связано с многолетним обводнением атмосферными осадками и подземными водами, а так же уплотнением донного шлама и периодическим выгоранием флотошлама. Водоземulsionные слои существуют в накопителях отходов всех «отраслей» нефтяного комплекса: добычи, транспорта, производства топлив и нефтехимии. При этом состав загрязнений водоземulsionных слоев различается по видам отраслей.

Чем дольше существует ОНЭВ, тем ниже концентрации углеводов в ВЭС. Однако, при этом, содержание трудноразлагаемых соединений увеличивается, что вызвано процессами биохимической и химической деструкции органики при контакте с биотическими и абиотическими факторами среды. Особенно это характерно для шламонакопителей добычи и нефтепереработки. Несколько иная картина представляется для шламонакопителей предприятий нефтехимического профиля. Объем накопителя представлен, в основном, водоземлемыми слоями с повышенным содержанием токсичных для биоты соединений, включая катализаторы, ингибиторы, органо-металлические комплексы, циклические соединения. Утилизация загрязнений водоземлемых слоев накопителей сопряжена с очисткой стока от углеводов. Здесь существует два основных подхода: очистка без извлечения ВЭС из выемки и очистка с извлечением. Методы очистки нефтесодержащих ВЭС, в принципе, известны. В основном, необходима адаптация существующих биохимических, физико-химических и, в отдельных случаях, термических методов, а так же их комбинации (сочетание и позиционирование) в технологических схемах, к специфике накопителей и составу загрязнений, в зависимости от принадлежности объекта к отрасли нефтяного кластера и возрастания/уменьшения доли сложноразлагаемых соединений. Учитывая специфику накопителей (удаленность от инженерной инфраструктуры, отсутствие близко расположенных очистных сооружений, а так же водоисточников сброса очищенных стоков), наиболее предпочтительна утилизация без извлечения ВЭС или создание «на берегу», то есть в непосредственной близости от «куста» накопителей локальных очистных сооружений (ЛОС).

Авторами проведены комплексные лабораторные и полупромышленные исследования по утилизации загрязнений водоземлемых слоев ряда накопителей Самарской области с использованием физико-химических методов очистки от углеводов. В качестве методов были использованы:

1. Биохимическая деструкция в биореакторе со свободноплавающей и иммобилизованной микрофлорой с извлечением стока из выемки;
2. Напорная реагентная флотация с последующей механической доочисткой осветленного стока с извлечением ВЭС из выемки;

3. Сорбционная очистка при контакте со смесью золошлаков ТЭЦ и активированных углей с последующим естественным осаждением загрязнений в донный шлам без извлечения стока из выемки;

4. Химическое окисление стока без извлечения из выемки, а также комбинированно, путем флотации и гравитационного соосаждения на ЛОС;

5. Термическое разложение загрязнений при огневой переработке жидких отходов с извлечением стока из выемки;

В таблице 1 представлены эффекты очистки от нефтепродуктов для водоземulsionных слоёв накопителей различной технологической принадлежности, с использованием различных методов очистки, а также их комбинации.

На рисунке 2, в качестве примера, представлены результаты очистки стока.

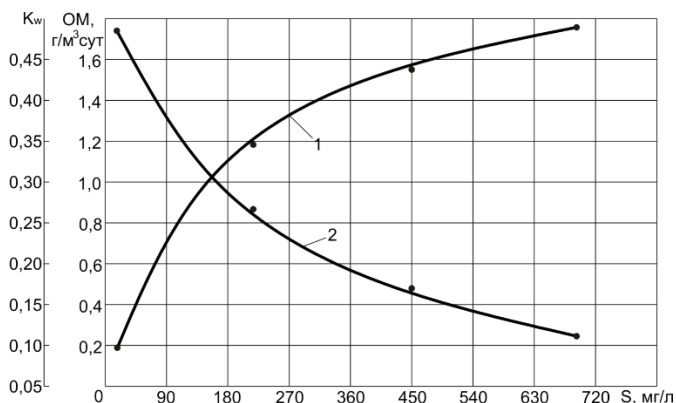


Рис. 2. Зависимость величины окислительной мощности (ОМ) и коэффициента скорости реакции  $K_w$  при очистке водоземulsionного слоя накопителя нефтехимического предприятия от общего содержания углеводородов  $S$  (мг/л) с использованием метода окисления стока перекисью водорода без извлечения из выемки, а также комбинированно, путем флотации и гравитационного соосаждения на ЛОС:

1 - ОМ; 2 -  $K_w$



Для ряда накопителей предложены технологические схемы утилизации загрязнений с использованием сочетаний и позиционирования методов предварительной механической очистки, флотации и сорбции. Пример одной из технологических схем применительно к очистке ВЭС одного из накопителей отходов нефтехимической компании (производство фенолов), представлен на рисунке 3.

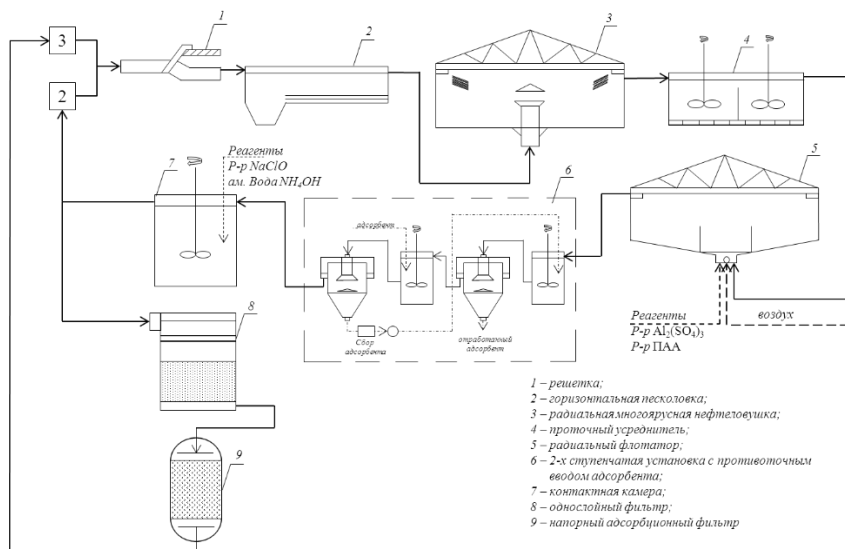


Рис. 3. Технологическая схема очистки водоземulsionного слоя накопителя

На рисунке 4 представлен конструктивно-компоновочный план сооружений комплексного обезвреживания и утилизации загрязнений от «куста» накопителей углеводородсодержащих отходов. В составе сооружений выделена зона очистки водоземulsionного слоя, запроектированная на основе сочетания различных методов воздействия на загрязнения.

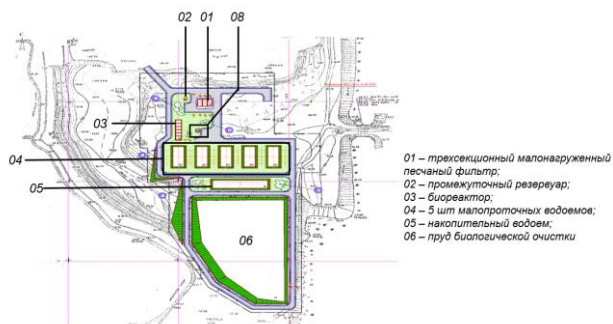


Рис. 4. Конструктивно-компоновочный план комплексного обезвреживания и утилизации загрязнений от «куста» накопителей углеводородсодержащих отходов.

Исследования по очистке водоземлюсильного слоя накопителей проводились в рамках Федерального проекта «Экология» программы «Оздоровление Волги».

### Библиографический список

1. Чертеж К.Л., Самарина О.А., Гришин Б.М., Зубер В.И., Гиляев Г.Г., Назаров М.В., Назаров В.Д. Особенности биоокисления жидких нефтесодержащих отходов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2017. № 3. С. 55-60.
2. Ермаков, В. В. Классификация нефтешламонакопителей и прогнозирование процесса биодеструкции отходов при их ликвидации [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 03.00.16 / В. В. Ермаков. – Пермь, 2010. – 132 с.
3. Зеленцов, Д. В. Интенсивная биотермическая обработка осадков нефтесодержащих сточных вод [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Д. В. Зеленцов. – Пенза, 2012. – 20 с.
4. Самарина, О. А. Совершенствование технологии обработки высококонцентрированных сточных вод накопителей нефтехимических предприятий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / О. А. Самарина. – Пермь, 2011. – 141 с
5. Быков, Д. Е. Комплексная многоуровневая система исследования и переработки промышленных отходов [Текст]: монография / Д. Е. Быков. – Самара: РИО СамГТУ, 2003. – 107 с.]

### **СЕКЦИЯ 3. ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД И ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ**

**УДК 544.723**

**<sup>1</sup>Абрамова А.С., аспирант,**

**<sup>1</sup>Атаманова О.В. д.т.н., проф.,**

**<sup>1</sup>Тихомирова Е.И., д.б.н., проф.,**

**<sup>2</sup>Кошелев А.В., к.т.н, с.н.с.**

*(1 - СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия;*

*2 - ФГУП «ГосНИИОХТ», г. Москва, Россия)*

#### **ДЕСОРБЦИЯ ИОНОВ $Fe^{2+}$ С ПОВЕРХНОСТИ ОТРАБОТАННОГО СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ВЫПОЛНЕННОГО НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕНТОНИТА**

*В статье приведены результаты лабораторного исследования десорбции ионов  $Fe^{2+}$  с поверхности отработанных сорбционных материалов, изготовленных на основе модифицированных бентонитов. Установлено, что на исследуемых сорбционных материалах эффективнее всего протекает кислотная регенерация, щелочная малоэффективна.*

*Ключевые слова: адсорбция, десорбция, кислотная регенерация, модифицированный бентонит, сорбционный материал.*

Одним из основных параметров, определяющих потенциальную пригодность сорбционного материала (СМ) для практического применения, является его способность к регенерации и десорбции ранее поглощённых загрязняющих веществ.

Для эффективного извлечения ионов тяжёлых металлов с поверхности отработанных сорбентов популярен метод химической десорбции. Этот процесс основан на воздействии на сорбционный материал различными органическими или неорганическими реагентами, которые способствуют удалению адсорбированных частиц.

Наиболее простым способом химической регенерации является воздействие кислотными или щелочными растворами, что способствует увеличению растворимости адсорбированного вещества и повышению степени его десорбции, обеспечивая частичное или полное восстановление сорбента [1, 2].

Для изучения процесса десорбции была реализована регенерация отработанного СМ после протекания на поверхности адсорбции [3].

Изучались следующие СМ на основе модифицированного бентонита:

1) бентонит, модифицированный углеродными нанотрубками (БМУНТ);

2) бентонит гидрофобизированный (БГ).

После каждого проведенного цикла адсорбции СМ выдерживали в молярном растворе соляной кислоты (1М HCl) при постоянном перемешивании в течение 45 мин. Отработанный СМ брали в соотношении 2,5:100 – масса отработанного СМ (г) к объему 1М раствора HCl (см<sup>3</sup>). Проводилось три параллельных опыта [4, 5].

Аналогично проводилась десорбция раствором 0,1М NaOH.

Еще одним важным параметром является количество циклов адсорбции-десорбции эффективных для последующего применения. В связи с этим определяли эффективность десорбции по уравнению (1):

$$\Xi = \frac{C_{\text{дес}}}{C_{\text{ад}}} * 100\%, \quad (1)$$

где  $C_{\text{дес}}$ ,  $C_{\text{ад}}$  – концентрация адсорбированного и десорбированного вещества в растворе, мг/дм<sup>3</sup>

Показатели эффективности десорбции ионов Fe<sup>2+</sup> представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность десорбции с поверхности отработанного сорбционного материала

Сорбат	Реагент	Сорбент	Эффективность, %
Fe <sup>2+</sup>	1М HCl	БМУНТ	72,4
		БГ	86,6
Fe <sup>2+</sup>	0,1М NaOH	БМУНТ	5,2
		БГ	6,3

Как видно из полученных результатов, химическая десорбция с использованием кислоты протекает эффективнее на исследуемых СМ. Это может быть связано со значением pH раствора, при значении pH<7 раствора десорбция протекает эффективнее, поскольку катионы железа

образуют в щелочной среде нерастворимые соединения, а в кислой - растворимые.

Сохранение адсорбционных свойств сорбционного материала после его восстановления является значимой практической задачей [6, 7].

Графическое представление зависимости сорбционной способности регенерированного материала при извлечении ионов  $\text{Fe}^{2+}$  из водной среды приведено на рисунке 1.

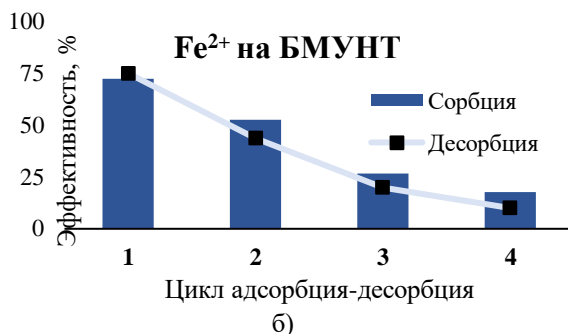
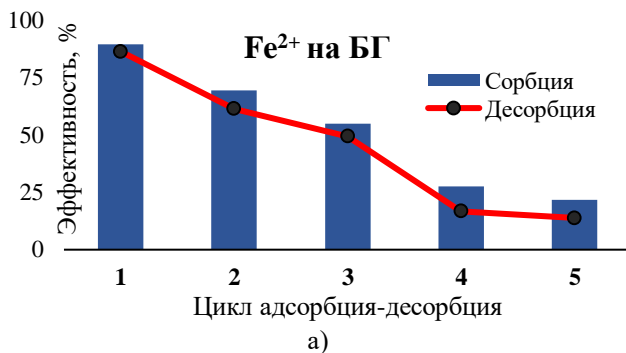


Рис. 1. Циклы адсорбции-десорбции для химической регенерации 1М раствором  $\text{HCl}$  для СМ: а) БГ; б) БМУНТ

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показывает, что эффективность удаления ионов  $\text{Fe}^{2+}$  с использованием БГ остаётся практически неизменной до третьего цикла. Однако начиная с четвёртого цикла, отмечается значительное снижение эффективности процессов адсорбции-десорбции, которое практически вдвое

уменьшает сорбционную способность. Такое «падение» ёмкости сорбента может быть связано с заполнением активных центров, а также с частичным разрушением структуры сорбционного материала под воздействием кислоты.

**Выводы:** 1. На исследуемых сорбционных материалах эффективнее всего протекает кислотная регенерация, щелочная малоэффективна. Скорее всего это связано со значением pH раствора, при значении  $\text{pH} < 7$  раствора десорбция протекает эффективнее.

2. Количество циклов эффективных для удаления ионов  $\text{Fe}^{2+}$  из водной фазы при использовании БГ больше, чем у БМУНТ.

3. «Падение» сорбционной ёмкости обоих сорбционных материалов в процессе их использования может быть связано с заполнением адсорбционных центров, а также с частичным разрушением структуры сорбентов при воздействии кислоты.

### Библиографический список

1. Барченков В.В. Основы сорбционной технологии извлечения золота и серебра из руд. – М. : Metallurgy, 1982. – 128 с.
2. Нестеров Ю.В. Иониты и ионообмен. Сорбционная технология при добыче урана и других металлов методом подземного выщелачивания. – М. : ОАО «Атомредметзолото», 2007. 480 с.
3. Svyatchenko A.V. Modification of chestnut leaf litter for application in water treatment /A.V.Svyatchenko, Z.A.Sapronova, I.G. Shaikhiev // In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Science and Technology Conference "Earth Science".– 2021. – С. 012024.
4. Силайчева М.В. Изучение циклов «сорбция-десорбция» в ходе очистки модельной воды от ионов железа (II) / М.В. Силайчева, С.В. Степанова // ScienceTime. – 2016. – №. 7 (31). – С. 236-241.
5. Тарасов А.С. Инновационные методы очистки производственных сточных вод текстильных предприятий / А.С. Тарасов // Великие реки. – 2018. – С. 144-147.
6. Истрашкина, М.В. Особенности адсорбции ароматических аминокислот на различных вариантах модифицированного бентонита / М. В. Истрашкина, О. В. Атаманова, Е. И. Тихомирова // Изв. Самарского науч. центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 2-2. – С. 381 – 384.
7. Atamanova O.V. Treatment of wastewater from textile factories using modified bentonite /Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Abramova A.S., Simonova Z.A., Koshelev A.V., Anshakova E.A. E3S Web of Conferences 555, 03001 (2024).

Абрамова А.С., аспирант,  
Атаманова О.В., д.т.н., проф.,  
Тихомирова Е.И., д.б.н., проф.  
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия)

## УСТАНОВЛЕНИЕ ВИДА АДСОРБЦИИ САФРАНИНА Т СОРБЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕНТОНИТА

*Одним из наиболее перспективных и обнадеживающих методов очистки воды является адсорбционная очистка с использованием природных дешевых глинистых материалов. По результатам лабораторного эксперимента установлено, что адсорбция красителя сафранина Т бентонитом, модифицированным углеродными нанотрубками, является хемосорбцией, в то время как, адсорбция сафранина Т бентонитом гидрофобизированным представляет собой физическую адсорбцию.*

*Ключевые слова: адсорбция, модифицированный бентонит, сафранин Т, механизм адсорбции, сорбционный материал.*

**Актуальность.** Проблема качественной очистки сточных вод производственных предприятий является одной из самых актуальных в современной промышленной экологии [1-3]. Особенно это касается предприятий таких видов индустрий, как химическая, фармацевтическая, металлургическая, текстильная, кожевенная и др. Предприятия текстильной промышленности содержат в своих сточных водах значительное количество загрязнителей, таких как ионы тяжелых металлов, красители, СПАВ и др. Традиционно для очистки таких загрязненных промышленных стоков используются локальные станции водоочистки.

Одним из наиболее перспективных методов очистки водных сред на завершающем этапе водоочистки является адсорбционная очистка с использованием разных сорбционных материалов. Особое внимание в последнее время обращают на себя природные дешевые глинистые материалы [4]. Известно [4, 5], что для очистки сточной воды от органических соединений – производных бензола, хорошо зарекомендовали себя в качестве сорбционных материалов модифицированные разными способами бентониты. Их значительная

удельная поверхность позволяет извлекать из растворов 80-95 % ароматических соединений – производных бензола.

Для использования модифицированных бентонитов в качестве сорбционных материалов при извлечении из производственных сточных вод красителей необходимо было установить вид адсорбции красителя предлагаемыми к использованию модификациями бентонита.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являлись модельные водные растворы органического красителя сафранина Т. Кроме того объектами исследования были: бентонит Саригюхского месторождения (Республика Армения), модифицированный углеродными нанотрубками (УНТ) и высокотемпературной (550 °С) термической обработкой, а также бентонит того же месторождения, обожженный при температуре 550 °С и гидрофобизированный кремнийорганическим соединением.

Для определения вида адсорбции применяется подход Дубинина-Радушкевича [6]. В соответствии с ним зависимость адсорбции от температуры имеет вид:

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \exp(-k\varepsilon^2), \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – квантовомеханический потенциал Поляни.

Величина  $\varepsilon$  определяется следующим образом [6]:

$$\varepsilon = RT \ln \left( 1 + \frac{1}{c_p} \right), \quad (2)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная ( $R=8,31$  Дж/моль·К),  $T$  – температура эксперимента,  $c_p$  – равновесная концентрация иона адсорбата в водной фазе раствора.

В логарифмической форме зависимость (1) может быть представлена так:

$$\ln \Gamma = \ln \Gamma_{\infty} - k\varepsilon^2, \quad (3)$$

где  $k$  –угловой коэффициент (3).

Используя зависимости параметра адсорбции от значения  $\varepsilon^2$  для ионов всех исследуемых тяжелых металлов, было определено значение коэффициента  $k$  в уравнении (3). Его величина применялась для расчета средней свободной энергии адсорбции  $E$ , определяющейся по уравнению [6]:

$$E = (-2k)^{-0.5}. \quad (4)$$



**Результаты исследования.** Проведены лабораторные исследования адсорбции сафранина Т на обеих модификациях бентонита для разных температур из интервала  $25 \div 40^\circ\text{C}$ . Данный температурный интервал выбран исходя из того, что в нем адсорбция происходит в наиболее оптимальном для наблюдения режиме (рис. 1).

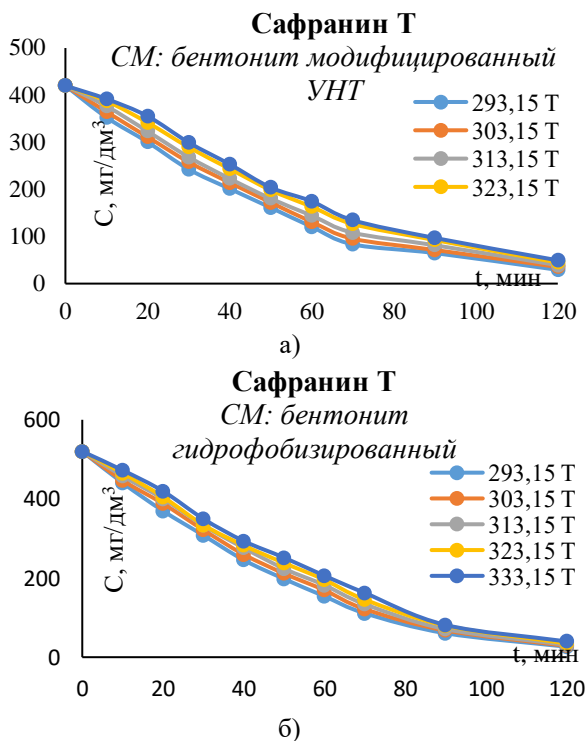


Рис. 1. Зависимости концентрации сафранина Т в водной фазе раствора от продолжительности адсорбции при разных температурах:  
а) бентонитом, модифицированным УНТ;  
б) бентонитом гидрофобизированным

Зависимости параметров адсорбции сафранина Т на исследуемых сорбционных материалах необходимые для определения энергии адсорбции приведены на рисунке 2.

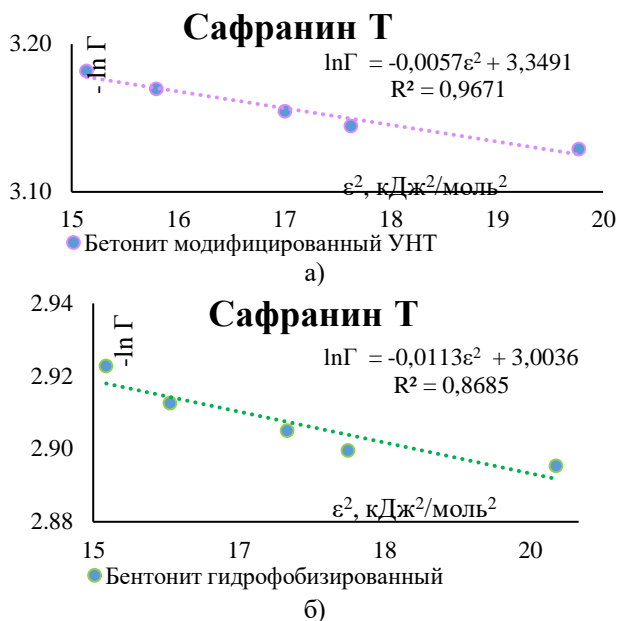


Рис. 2. Зависимость параметра адсорбции от значения  $\epsilon^2$  для адсорбции сафранина Т: а) бентонитом, модифицированным УНТ; б) бентонитом гидрофобизированным

Значения энергии адсорбции сафранина Т на исследуемых сорбционных материалах, рассчитанные по уравнению (4) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения свободной энергии адсорбции Е (кДж/моль) сафранина Т на исследуемых сорбционных материалах

Сорбционные материалы	Е, кДж/моль
Бентонит, модифицированный УНТ	9,36±0,468
Бентонит гидрофобизированный	6,65±0,332

В исследуемом температурном интервале адсорбция бентонитом гидрофобизированным сафранина Т является физической адсорбцией. Адсорбцию сафранина Т бентонитом, модифицированным УНТ, можно отнести к хемосорбции, поскольку свободная энергия адсорбции в этом случае более 8 кДж/моль [6].

**Вывод:** Можно утверждать, что адсорбция органического красителя сафранина Т бентонитом, модифицированным углеродными нанотрубками, является хемосорбцией, в то время как, адсорбция сафранина Т бентонитом гидрофобизированным представляет собой физическую адсорбцию.

*Работа выполнена в рамках реализации персонального гранта Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (У.М.Н.И.К.).*

### Библиографический список

1. Мирошниченко Н.А. Адсорбция ионов меди из модельных растворов сорбционным материалом из отхода переработки бахчевых культур / Н.А. Мирошниченко, С.В. Свергузова, Ж.А. Сапронова, И.Г. Шайхиев // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 11. – С. 117-121.

2. Svyatchenko A.V. Modification of chestnut leaf litter for application in water treatment /A.V.Svyatchenko, Z.A.Sapronova, I.G. Shaikhiev // In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Science and Technology Conference "Earth Science". – 2021. – С. 012024.

3. Святченко А.В. Целлюлозосодержащий сорбент для очистки сточных вод от нефти и ионов меди / А.В. Святченко, Ж.А. Сапронова, С.В. Свергузова, Р.Н. Ястребинский // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2021. – № 2 (303). – С. 106-119.

4. Истрашкина, М.В. Особенности адсорбции ароматических аминсоединений на различных вариантах модифицированного бентонита / М. В. Истрашкина, О. В. Атаманова, Е. И. Тихомирова // Изв. Самарского науч. центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 2-2. – С. 381 – 384.

5. Tikhomirova E. I. The use of Multicomponent Adsorption Filters in Water Purification Systems and Luminescent Control of Ecotoxicant Content / E. I. Tikhomirova, O. A. Plotnikova, O. V. Atamanova [et al.] // Theoretical and Applied Ecology. – 2019. – No. 1. – P. 73 – 81.

6. Зеленцов, В. И. Применение адсорбционных моделей для описания равновесия в системе оксидгидроксид алюминия фтор / В. И. Зеленцов, Т. Я. Дацко // Электронная обработка материалов. – 2012. – Т. 48, № 6. – С. 65-73.

## К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКОПА В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

*В статье представлены результаты исследования сорбционной активности материала СКОП в отношении ионов меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ) и цинка ( $\text{Zn}^{2+}$ ) в статических условиях (без перемешивания).*

*Ключевые слова: тяжелые металлы, сорбция, сорбент, сорбционная емкость, очистка сточных вод.*

Загрязнение водных сред тяжелыми металлами, такими как медь и цинк, представляет серьезную экологическую проблему из-за их токсичности, способности к биоаккумуляции и длительному сохранению в природных экосистемах. Медь, например, ингибирует активность ферментов у водных организмов даже при концентрациях ниже 0.01 мг/л, а цинк, несмотря на относительно низкую токсичность, накапливается в почвах, нарушая баланс микроэлементов. Сорбция — один из наиболее эффективных методов очистки, однако ее эффективность зависит от свойств сорбента, условий среды (рН, температура и др.) и гидродинамических факторов.

В последние годы возрос интерес к использованию недорогих и доступных материалов, таких как СКОП (сорбционный композит на основе органических полимеров), для очистки промышленных и бытовых стоков. Несмотря на обилие исследований, посвященных сорбции металлов в динамических условиях (с перемешиванием), данные о процессах в статическом режиме ограничены. Это особенно актуально для природных систем, где перемешивание затруднено, например, в водоемах. Целью работы стало изучение кинетики и эффективности сорбции  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  материалом СКОП в статических условиях, а также сравнительный анализ их поведения в растворах [1].

Одним из крупнотоннажных отходов целлюлозно-бумажной промышленности является СКОП-продукт, получаемый при очистке сточных вод. Данный скоп преимущественно состоит из органических компонентов, отличается высоким содержанием влаги, наличием биогенных элементов (азота, фосфора, калия) и низкой концентрацией

тяжелых металлов. В связи со сложным химическим составом он в основном подлежит захоронению на полигонах ТБО, либо на собственных очистных сооружениях крупных предприятий.

Вышеуказанный скоп из отходов целлюлозно-бумажной промышленности использовали в данной работе с целью получения сорбента для очистки сточных вод от тяжелых металлов. Навеску СКОПа массой 30 грамм предварительно выдерживали в сушильном шкафу при температуре 325 °С в течение 1 часа до достижения постоянной массы, что обеспечило удаление адсорбционной и структурной влаги перед проведением сорбционных экспериментов. После сушки масса сорбента составляла 5.0–5.2 г.

Для приготовления растворов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  использовались стандартные образцы сульфата меди ( $\text{CuSO}_4$ ) и сульфата цинка ( $\text{ZnSO}_4$ ) с концентрацией 1 г/л. Рабочие растворы готовили разбавлением исходных стандартов до 5%-ной концентрации (5.148 мг/л для  $\text{Cu}^{2+}$  и 5.166 мг/л для  $\text{Zn}^{2+}$ ) в дистиллированной воде. Объем каждого раствора составлял 100 мл.

Сорбция проводилась в конических колбах объемом 100 мл, помещенных в термостатируемую камеру при 25°C. Отбор проб осуществлялся через интервалы 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 и 240 минут. Для определения концентрации металлов использовался атомно-абсорбционный спектрометр. Для меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ) максимальная эффективность удаления составила 49.5% за 210 минут, при этом концентрация снизилась с 5.148 до 2.600 мг/л. Сорбционная емкость СКОПа достигла 0.050 мг/г. Кинетика процесса характеризовалась замедленной диффузией ионов через пограничный слой, что приводило к постепенному снижению концентрации без четкого достижения равновесия к концу эксперимента [2]. Для цинка ( $\text{Zn}^{2+}$ ) эффективность удаления за 240 минут составила 77.1% (концентрация снизилась с 5.166 до 1.181 мг/л), а удельная емкость — 0.0797 мг/г. Более высокая скорость сорбции объясняется меньшим гидратным радиусом  $\text{Zn}^{2+}$  (0.43 нм против 0.47 нм у  $\text{Cu}^{2+}$ ) и его большей подвижностью в растворе. Кинетические кривые показали, что равновесие для  $\text{Zn}^{2+}$  практически достигнуто к 180 минутам, тогда как для  $\text{Cu}^{2+}$  оно не было зафиксировано даже к 210 минутам. Различия в эффективности удаления металлов связаны с их физико-химическими свойствами. Ионы  $\text{Zn}^{2+}$  обладают меньшей энергией гидратации (–2052 кДж/моль против –2100 кДж/моль у  $\text{Cu}^{2+}$ ), что облегчает их десорбцию из гидратной оболочки и связывание с активными центрами СКОПа.

Кроме того,  $Zn^{2+}$  демонстрирует более высокую диффузионную подвижность в нейтральной среде, что ускоряет массоперенос к поверхности сорбента [3]. Для меди характерна слабая сорбционная активность, что может быть связано с: высокой энергией гидратации, затрудняющей взаимодействие с функциональными группами СКОПа; низкой пористостью материала после высокотемпературной сушки ( $325^{\circ}C$ ), что ограничивает доступ ионов к внутренним поверхностям; конкуренцией ионов  $H^{+}$  (в нейтральной среде) за активные центры сорбента; влиянием статических условий. Отсутствие перемешивания приводит к формированию диффузионного барьера вокруг частиц СКОПа, что снижает скорость массопереноса. Это особенно заметно для  $Cu^{2+}$ , чья кинетика оказалась в 1.5 раза медленнее, чем у  $Zn^{2+}$ . Практическая значимость работы заключается в том, что несмотря на низкую емкость, СКОП может быть применен для очистки и доочистки сточных вод. Результаты экспериментов подтвердили, что СКОП обладает селективностью к  $Zn^{2+}$  в статических условиях, однако его сорбционная емкость недостаточна для промышленного применения. Необходима дальнейшая модификация сорбента. Ключевыми факторами, ограничивающими эффективность, являются низкая пористость материала и диффузионные ограничения.

### **Библиографический список**

1. Сотиров М.Ф. Басов А.В. Горелов В.В. Басов В.Н. Способ модификации нефтеулавливающих сорбентов на основе натуральных органических материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2011 с. 12-13.
2. Таранцева К.Р., Красная Е.Г., Лебедев Е.Л., Коростелева А.В. Анализ техногенного воздействия промышленных предприятий г. Пензы на гидросферу // Экология и промышленность России. - 2010. № 12. С. 40-45.
3. Шыхалиев К. С. Сорбент на основе изношенных автомобильных шин для очистки поверхности воды от нефти и нефтепродуктов // Научный инновационный центр международный институт стратегических исследований. – 2018. с. 3-4.

## СПОСОБЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФТОРИД- ИОНОВ ОТХОДАМИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

*В работе была дана оценка применения крупнотоннажных отходов электросталеплавильного производства (ЭСПП) в качестве альтернативного реагента-осадителя для дефторирования сточных вод. Определены условия, при которых степень очистки составляет 67,68 %.*

*Ключевые слова: отходы металлургического производства, пыль, шлак, сточные воды, фториды*

**Введение.** Одной из главных экологических проблем металлургического производства является образование и накопление огромного количества неиспользуемых и неперерабатываемых отходов. На территории Российской Федерации ежегодно накапливаются миллиарды тонн различных техногенных отходов [1]. К сожалению, степень их вовлечения в хозяйственный оборот остается крайне низкой – менее 30% от общего объема подвергается вторичному использованию. Такие показатели рециклинга промышленных отходов не соответствуют актуальным темпам технологического развития.

Перспективным решением данной проблемы является вовлечение крупнотоннажных отходов металлургического комплекса – шлаков и пыли в различные технологические процессы [2-3].

В настоящее время наблюдается значительный рост исследований [4-7], направленных на применение отходов металлургической промышленности в качестве сорбентов и коагулянтов для очистки сточных вод. Особый интерес представляют отходы электросталеплавильного производства, содержащие оксиды кальция, железа, алюминия и других металлов, которые имеют высокий потенциал в процессах сорбции и химического осаждения загрязняющих веществ (фторидов, сульфатов).

Целью работы является оценка эффективности использования пыли и шлака электросталеплавильных печей (ЭСПП) в качестве реагента для очистки фторсодержащих сточных вод, образующихся на предприятиях по производству минеральных удобрений.

**Экспериментальная часть.** Исследование проводили на модельном растворе с содержанием фторид-ионов 64,0 мг/дм<sup>3</sup> при pH 2,5. В качестве реагентов-осадителей использовали пыль газоочистки выбросов ЭСПП и сталеплави́льный шлак. Элементный состав отходов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав пыли и шлака ЭСПП

Компонент	Содержание в пыли, %	Содержание в шлаке, %
Na <sub>(общ)</sub>	2,06	0,05
Fe <sub>(общ)</sub>	76,25	2,91
Al <sub>(общ)</sub>	5,11	31,79
Ca <sub>(общ)</sub>	5,71	44,18
Mn <sub>(общ)</sub>	9,35	0,12
Mg <sub>(общ)</sub>	0,01	20,89
Др.	1,50	0,21

Расчет количества вводимого реагента-осадителя определяли по стехиометрическому соотношению в соответствии с уравнениями реакций 1 и 2.



Определение концентрации фторид-ионов проводили с использованием ион-селективного электрода ЭЛИС-131F и вспомогательного хлорид-серебряного электрода. Контроль pH осуществлялся на иономере И-160. Время контакта составляло 5 минут. Результаты экспериментов с использованием пыли и шлака представлены в таблице 2.

Из данных, представленных в таблице 2 видно, что использование пыли газоочистки выбросов ЭСПП демонстрирует наибольшую эффективность очистки от фторид-ионов. При этом наименьшее остаточное содержание F<sup>-</sup> (22,37 мг/дм<sup>3</sup>) соответствует соотношению ΣCa(Mg)/F равному 1,4:1. Дальнейшее увеличение соотношения не приводит к повышению эффективности очистки, а лишь способствует повышению pH среды, что в свою очередь будет сопровождаться дополнительными реагентными затратами на нейтрализацию. Использование сталеплави́льного шлака в качестве реагент-осади́теля характеризуется незначительной дефторирующей способностью, о чем свидетельствуют высокие остаточные концентрации фторид-ионов (61,65 мг/дм<sup>3</sup>) и низкие значения эффективности очистки, которые не превышают 3,82 % независимо от количества внесенного реагента.



Таблица 2 – Результаты дефторирования сточной воды отходами металлургического комплекса

$\Sigma\text{Ca(Mg)/F}$	Пыль			Шлак		
	pH	[F], мг/дм <sup>3</sup>	Эфф.-ть, %	pH	[F], мг/дм <sup>3</sup>	Эфф.-ть, %
Исх.	2,5	64,0	-	2,5	64,0	-
0,5:1	7,20	40,13	42,03	2,35	61,65	3,82
0,6:1	7,27	37,12	46,37	2,38	61,65	3,82
0,7:1	7,39	35,71	48,42	2,40	61,65	3,82
0,8:1	7,40	35,71	48,42	2,43	61,65	3,82
0,9:1	7,55	37,12	46,37	2,48	61,65	3,82
1:1	7,62	37,12	46,37	2,66	61,65	3,82
1,1:1	7,76	35,71	48,42	-	-	-
1,2:1	7,75	37,12	46,37	-	-	-
1,3:1	8,74	31,77	54,11	-	-	-
1,4:1	8,62	22,37	67,68	-	-	-
1,5:1	9,21	22,37	67,68	-	-	-
2:1	9,52	30,55	55,86	-	-	-

На практике, как правило, для оптимизации процесса очистки сточных вод от фторид-ионов методом осаждения, необходимо экспериментально определить оптимальное время контакта реагента-осадителя со сточной водой, при котором будет достигаться наименьшее остаточное содержание F<sup>-</sup>. Эксперименты по определению оптимального времени контакта проводили с использованием пыли газоочистки выбросов ЭСПП при ранее определённом соотношении  $\Sigma\text{Ca(Mg)/F}$  равном 1,4:1. Время контакта варьировали от 5 до 30 минут. Результаты эксперимента представлены в таблице 3. Из данных, представленных в таблице 3, видно, что увеличение времени контакта оказывает незначительное влияние на снижение концентрации фторидов, а лишь способствует существенному повышению pH реакционной среды. Исходя из этого оптимальным временем контакта реагента-осадителя и фторсодержащей сточной воды, приняли 5 минут.

Таблица 3 – Результаты определения оптимального времени контакта

Время контакта, мин	pH фильтрата	Остаточное содержание F <sup>-</sup> , мг/л
5	8,62	22,37
10	9,75	21,72
15	9,75	21,72

20	9,83	20,14
25	9,91	19,72
30	10,11	19,61

**Заключение.** На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что использование отходов сталеплавильного производства является перспективным реагентом для очистки сточных вод с повышенным содержанием фторид-иона. Проведенные эксперименты показали, что использование пыли ЭСПП в качестве реагента-осадителя позволяет достичь более высокой эффективности удаления фторид-ионов (67,68 %) при соотношении  $\Sigma \text{Ca(Mg)/F}$  равном 1,4:1 по сравнению с применением шлака (3,82 %) при эквивалентных расходах, что делает пыль более перспективным реагентом. Таким образом, использование сталеплавильной пыли позволит не только сократить количество промышленных отходов, но и частично заменит традиционные реагенты-осадители.

### Библиографический список

1. Волынкина Е. П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России //Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2017. – №. 2 (20). – С. 43-49.
2. Кузин Е. Н., Кручинина Н. Е. Получение комплексных коагулянтов на основе крупнотоннажных отходов и продуктов крупнотоннажных отходов промышленных производств //Цветные металлы. – 2021. – №. 1. – С. 13-18.
3. 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.
4. Свергузова С. В., Сапронова Ж.А., Зубкова О.С. Пыль электросталеплавильного производства как сырье для получения коагулянта //Записки Горного института. – 2023. – №. 260. – С. 279-288.
5. Shi C. et al. Mechanism, application, influencing factors and environmental benefit assessment of steel slag in removing pollutants from water: A review //Journal of Water Process Engineering. – 2022. – Т. 47. – С. 102666.
6. 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.
7. Blanchard B. et al. Fluoride Removal from Calcium-Rich Mine Water by Steel Slag Adsorption //2020 Waste-management Education Research (WERC). – IEEE, 2020. – Т. 1. – С. 1-4.

## ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ИЗ МАНЬЧЖУРСКОГО ОРЕХА ПО МЕТИЛЕНОВОМУ СИНЕМУ

*Выявлено, что лучшие всего сорбция идет на материалах, модифицированных путем выдерживания в концентрированной фосфорной кислоте с последующим двухступенчатым пиролизом при температурах 500 °С и 900 °С.*

*Ключевые слова: эффективность сорбции красителя, метиленовый синий, маньчжурский орех, скорлупа, модификация, пиролиз.*

Загрязнение водоемов металлами представляет собой одну из ключевых экологических проблем современности, оказывая серьезное воздействие на природные экосистемы и здоровье людей. Тяжелые металлы отличаются повышенной токсичностью и способностью накапливаться в организмах, что может приводить к их мутациям или гибели.

Основными источниками загрязнения вод металлами являются промышленные предприятия, сельскохозяйственная деятельность, добыча полезных ископаемых и бытовые отходы. Сточные воды этих объектов часто содержат высокие концентрации ионов различных металлов, таких как  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ . Это требует обязательной очистки сточных вод до уровней, соответствующих нормативам для сброса в водоемы либо для оборотного водоснабжения в технологических процессах.

Для удаления соединений металлов из водных растворов применяется метод адсорбции, который основан на использовании различных материалов, как природного происхождения, так и синтетического. Скорлупа грецкого ореха, как пример природного материала, является экологически безопасной, способной адсорбировать ионы железа, показав эффективность процесса на уровне 90 % [1].

Модификация таких материалов позволяет улучшить их поглощающие свойства, например, авторы работы [2] продемонстрировали, что после химической обработки скорлупы

грецкого ореха степень извлечения металлов из воды достигает (85–99) %.

Авторы в настоящей работе изучили скорлупу маньчжурского ореха для использования в качестве сорбента при очистке воды от загрязнений. Чтобы оценить потенциал этого материала, была проведена серия экспериментов, направленных на изучение его свойств.

В исследовании использовалась измельченная скорлупа маньчжурского ореха размером фракции от двух до четырех мм: нативная (Н), модифицированная выдерживанием в концентрированной фосфорной кислоте (Ф), модифицированная выдерживанием в концентрированной фосфорной кислоте с последующим пиролизом при температуре 500 °С (ФП), модифицированная выдерживанием в концентрированной фосфорной кислоте с последующим двухступенчатым пиролизом при температурах 500 °С и 900 °С (ФПП), модифицированная выдерживанием в 37 %-ом растворе перекиси водорода (ПВ).

Одним из ключевых показателей эффективности адсорбента является наличие микропор – мельчайших полостей размером менее 2 нм. Эти поры играют важную роль в процессе адсорбции благодаря своей высокой удельной поверхности, что значительно увеличивает площадь контакта между адсорбентом и поглощаемым веществом. Микропоры обеспечивают большую активность адсорбционных процессов, особенно когда речь идет о молекулах малого размера. Именно через микропоры происходит интенсивное взаимодействие молекул с поверхностью адсорбента, что делает их присутствие критически важным для достижения высоких уровней очистки. Для определения наличия микропор на полученных материалах были проведены эксперименты по ГОСТ [3] по сорбции метиленового синего, который известен своей способностью проникать в поры различных материалов. Сорбционная активность скорлупы оценивалась путем измерения количества поглощенного красителя в условиях контакта с водой.

Результаты исследований по определению эффективности сорбентов из маньчжурского ореха на метиленовом синем представлены на рисунке 1. Наличие микропор в небольшом количестве наблюдается в нативной (Н) скорлупе, все остальные материалы показали значительно лучшие результаты. Как видно, обработка фосфорной кислотой (Ф) увеличила сорбционную емкость более чем в два раза. Практически одинаковый результат получился на материалах

ФП и ПВ, 38,1 мг/г и 38,7 мг/г соответственно. Больше всего емкость оказалось у модифицированной скорлупы путем выдерживания в концентрированной фосфорной кислоте с последующим пиролизом при температуре 900 °С (ФПП) и составила 40,2 мг/г.

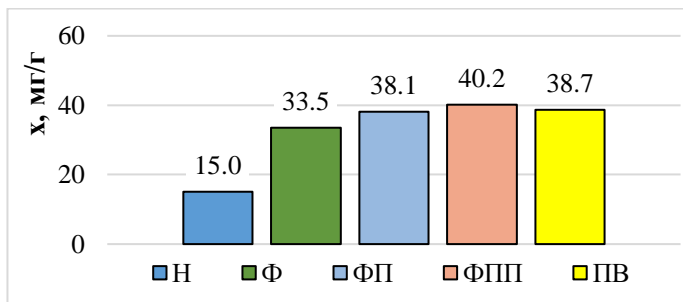


Рис. 1. Сорбционная емкость материалов на основе скорлупы маньчжурского ореха по метиленовому синему

Таким образом, материалы из маньчжурского ореха представляют ценное сырье для получения сорбентов при удалении загрязнений из воды, при этом нативный материал целесообразно модифицировать выдерживанием в концентрированной фосфорной кислоте с дальнейшим пиролизом при температуре 900 °С.

### Библиографический список

1. Позднякова К.А. Исследование процесса сорбции ионов  $\text{Fe}^{3+}$  на скорлупе орехов / Сборник материалов IV научно-практической национальной конференции с международным участием Химия - XXI век. теория, практика, образование/ Брянск, 2021. С. 86-88.
2. Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Шайхиева К.И., Сапронова Ж.А. Использование скорлупы грецкого ореха (*juglansregia*) в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из природных и сточных вод / Химия растительного сырья, №2. 2020. С. 5-18.
3. ГОСТ4453-74 «Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия».

Воронин Н.А., студент,  
Лавриненко Е.С., студент,  
Паталаха А.А., студент,  
Ускорников Я.В., студент,  
Сомин В.А., д.т.н., зав. каф.  
(АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия)

## СРАВНЕНИЕ СОРБЦИИ КРАСИТЕЛЕЙ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО И ОРАНЖЕВОГО ПАНЦИРЯМИ МОЛЛЮСКОВ *HELIX POMATIA* И *LISSACHATINA FULICA*

*В работе рассмотрен вопрос использования панцирей моллюсков Helix pomatia и Lissachatina fulica в качестве сорбционного материала для удаления из воды загрязняющих веществ, как красители.*

*Ключевые слова: метиленовый синий, метиленовый оранжевый, панцири моллюсков, Helix pomatia, Lissachatina fulica, хитин.*

Сорбция – ключевой процесс в природных и технологических системах, обеспечивающий поглощение и удержание веществ на поверхности или в объеме материалов. В контексте живых организмов этот феномен приобретает особую значимость: многие виды бактерий, грибов, растений и даже животных синтезируют биополимеры, которые активно взаимодействуют с окружающей средой, участвуя в сорбции питательных элементов, токсинов или загрязнителей.

Важным преимуществом использования таких полимеров является их возобновляемость и способностью к полному биологическому разложению под воздействием ферментов и физических факторов (ультрафиолет, температура и т.д.) [1].

Среди этих веществ особое место занимает хитин и его производные, которые благодаря своей высокой биоактивности, способности образовывать волокна и плёнки, а также сорбции различных веществ, открывают широкие перспективы для использования в различных областях, таких как медицина, биотехнология, сельское хозяйство, косметика, пищевая промышленность, текстильная промышленность и многие другие [2].

Хитозан – биополимер, получаемый из хитина, содержится в клеточных стенках грибов и ракообразных, обладающий высокой сорбционной способностью к различным загрязнителям.

Это позволяет применять его для очистки воды от тяжелых металлов, органических соединений, радионуклидов, углеводов, пестицидов, красителей [1].

Авторами исследования [2] хитозан был получен из биомассы мицелиальных грибов рода *Aspergillus*, поскольку процесс его получения из морских ракообразных является довольно трудоемким и дорогостоящим. Исследование сорбционного потенциала хитозана проводилось на красителях, используемых в пищевой промышленности. Результаты показали высокую сорбционную способность хитозана к красителю желтый «солнечный закат». Хитин содержится в значительном количестве в панцире различных моллюсков, например *Helix pomatia* и *Lissachatina fulica*. Панцири данных сухопутных моллюсков образуются как отходы пищевых производств, потому что не имеют значимой пищевой ценности и требуют отдельной утилизации после извлечения съедобного мяса. В настоящей работе была изучена способность панцирей моллюсков *Helix pomatia* и *Lissachatina fulica* к сорбции красителей (индикаторов) метиленового синего (МС) и оранжевого (МО). Определение осуществлялось по методике [3]. Первоначально были построены калибровочные графики, по которым производилось определение концентраций красителей. Далее в растворы индикаторов помещалась навеска панциря массой 0,09-0,11 г, и производилось перемешивание смеси в течение 20 минут. После этого растворы центрифугировали, отбирали пробу осветленного слоя, разбавляли дистиллированной водой и по градуировочным графикам определяли остаточную массовую концентрацию индикатора, по которой вычисляли сорбционную емкость панцирей.

Сорбция МО и МС красителей отличается из-за различий в их химической структуре, заряде, размере молекул и взаимодействии с сорбентами [4-5], различия представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение различий метиленовых красителей, синего и оранжевого

Характеристика	Краситель	
	метиленовый синий	метиленовый оранжевый
Химическая природа и заряд	катионный краситель, содержит азотистые группы, которые протонируются в водных растворах.	анионный (отрицательно заряженный) краситель, часто содержит сульфатные группы ( $\text{SO}_3^-$ ).

	Легко сорбируется на отрицательно заряженных поверхностях (например, активированный уголь, глины, оксиды металлов) за счет электростатического притяжения	Лучше сорбируется на положительно заряженных сорбентах (например, модифицированные цеолиты, гидроксиды металлов) или материалах с катионными функциональными группами
Влияние pH среды	эффективность сорбции возрастает в щелочной среде ( $\text{pH} > 7$ ), где поверхность многих сорбентов приобретает отрицательный заряд	лучше сорбируется в кислой среде ( $\text{pH} < 7$ ), где сорбенты имеют положительный заряд (например, при протонировании гидроксильных групп)
Размер молекулы	молекулярная масса 320 г/моль и объемную структуру, что может замедлять диффузию в микропоры сорбента	молекулярная масса 327 г/моль, но компактная структура, что облегчает проникновение в узкие поры
Адсорбционная ёмкость	часто демонстрирует более высокую адсорбционную ёмкость на многих сорбентах из-за сильного электростатического притяжения	ёмкость зависит от наличия специфических активных центров на сорбенте (например, катионных групп)

Эксперимент проводился на панцире обоих типов моллюсков, как нативном, так и обработанном ультразвуком (УЗ) виде, в нейтральной среде. Результаты представлены на рисунке 1.

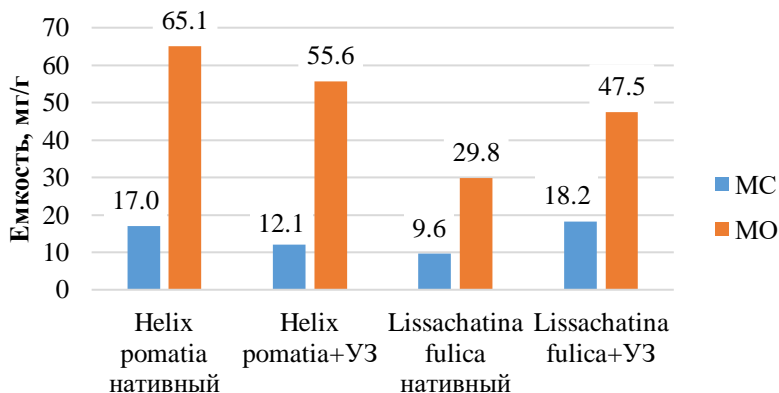


Рис. 1. Емкость панцирей по метиленовому синему и оранжевому



Согласно данным, представленным на рисунке 1, для метиленового синего максимальное значение сорбционной емкости, достигнутое в ходе эксперимента, составило 18,2 мг/г на обработанном ультразвуком панцире *Lissachatina fulica*, что в 1,9 раза больше емкости нативного материала. Модификация панцирей *Helix pomatia* нецелесообразна, поскольку она приводит к снижению сорбционной емкости в 1,4 раза.

Для метиленового оранжевого было достигнуто максимальное значение 65,1 мг/г на нативном панцире *Helix pomatia*, что в 1,2 раза меньше емкости модифицированного материала.

Модификация этих панцирей нецелесообразна, в отличие от *Lissachatina fulica*, у которых при обработке ультразвуком сорбционная емкость увеличилась в 1,6 раза. Более низкие значения сорбционной емкости по МС могут быть связаны с его крупным размером молекул, тогда как для МО быстрее достигается равновесие в аналогичных условиях, что следует из таблицы 1. Можно предположить, что метиленовый оранжевый сорбируется панцирями лучше метиленового синего за счет наличия катионных функциональных групп в составе панцирей. Этот результат свидетельствует о высоком потенциале исследуемого сырья для применения в процессах очистки воды от различных соединений.

### Библиографический список

1. Хитозан из панцирей ракообразных северных морей: получение и физико-химические свойства / В. Ю. Новиков, С. Р. Деркач, И. Н. Коновалова [и др.] // Фундаментальная гликобиология : Сборник материалов IV Всероссийской конференции / Ответственный редактор С.Г. Литвинцев. – Киров: Вятский государственный университет, 2018. – С. 136-137.
2. Павлова, О. В. Сорбционный потенциал хитозана к пищевым красителям / О. В. Павлова, А. С. Кучер // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 86-96.
3. ГОСТ 4453-74 «Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия»
4. Crini, G. Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review., 97(9), P. 1061–1085. doi:10.1016/j.biortech.2005.05.001
5. Ahmed, M.J. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review // Environmental Chemistry Letters. – 2018. – Vol. 16, no. 1. – P. 113–146. doi: 10.1007/s10311-017-0663.

## БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВА УДОБРЕНИЙ

*Представлена схема биохимического реактора для очистки вод производства аммиачной селитры, в котором предусмотрены аноксидная зона и зона с системой аэрации, позволяющие проводить денитрификацию и аноммокс-процесс, окисление аммония и нитрификацию.*

*Ключевые слова:* биохимический реактор, аноммокс-процесс, ершовая загрузка, аммиачная селитра, сточная вода, нитрификация, денитрификация.

Деятельность предприятий по производству минеральных удобрений неотрывно сопряжена с образованием биогенных веществ в сточных водах. Аммиачная селитра является одним из самых распространенных видов удобрений. В процессе производства аммиачной селитры образуются сточные воды с большим содержанием нитратов, которые могут оказать значительное негативное влияние при попадании в водоемы. Сброс недостаточно очищенных вод создает дополнительную антропогенную нагрузку на объекты окружающей среды и является наказуемой деятельностью, так как от качества поверхностных вод зависит здоровье людей. Перечень наилучших доступных технологий при удалении соединений азота из сточных вод, которые образуются при производстве аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот, являются [1]:

- отгонка аммонийного азота паром с добавлением щелочи (применяется при концентрациях аммонийного азота свыше 1 г/л);
- нитрификация и денитрификация;
- доочистка от соединений азота в биопрудах.

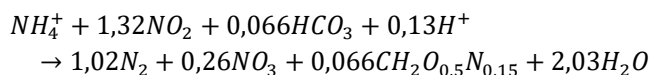
В настоящее время ведутся разработки наиболее эффективных и недорогих технологий по удалению соединений азота из сточных вод. *Anattox-process* (анамокс процесс) – это новый эффективный способ удаления аммония анаэробным окислением, основанный на жизненном цикле бактерий *Anattox* [2]. Более того, анаэробное окисление аммония является энергетически более выгодным в сравнении с

аэробным процессом. Сравнение параметров процессов удаления аммонийного азота представлено в таблице 1.

Таблица 1– Характеристика процессов удаления аммонийного азота

Системы	Анаммох	Нитрификация-денитрификация
Условия	аноксические	аэробно-аноксические
Образуемые продукты	$N_2, NO_3$	$N_2, NO_3, N_2O$
Контроль значений pH	нет	да
Потребность в кислороде	низкая	высокая
Потребность в ХПК	нет	да
Производительность реакторов, кгN/м³/сут	6-12	0,05-4

При реализации рассматриваемого процесса происходит окисление аммиака до газообразного азота, аммоний используется в качестве донора электронов и нитрит в качестве акцептора электронов в анаэробных условиях [3]. Полное уравнение катаболических и анаболических реакций имеет вид:



Аммоний и нитрит потребляются в соотношении 1:1,32. Основным продуктом анаммокс-реакции является молекулярный азот, а также до 10 % азота превращается в нитрат. Таким образом, процесс анаммокс состоит из двух технологических процессов, таких как нитрификация и окисления аммония нитритом. Бактерии Анаммох являются одними из самых медленно растущих микроорганизмов, поэтому в данном процессе является важным удержание биомассы для осуществления качественной очистки сточных вод. Наилучшей технологическим решением является использование аппаратов со стационарными носителями прикрепленного биоценоза, которые называются загрузками. В 2021 году кандидатом технических наук Вильсон Е. В. [4] был опубликован способ глубокой биологической очистки сточных вод с процессом Анаммох биоценозом, иммобилизованным на ершовой загрузке. Предлагаемое изобретение может быть использовано для очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. Принцип действия предлагаемого способа – сточные воды поступают в

биореакторы первой и второй ступеней, в них размещены специальные зоны с объемными кассетами ершовой загрузки и системой аэрирования. В зонах с интенсивной аэрацией (первая зона) осуществляются процессы окисления органических веществ и аммонийного азота, в области низкой интенсивности аэрации (вторая зона) происходят процессы аммонификация, денитрификация и анномокс-процесс. Ершовая загрузка является хорошим решением для расположения активного ила в биологическом реакторе. За счет расположения микроорганизмов на стационарном источнике увеличивается плотность и разнообразие биологических организмов, благодаря чему повышается скорость и эффективность очистки. Для реализации очистки сточных вод производства аммиачной селитры предлагается биохимический реактор, представленный на рисунке 1.

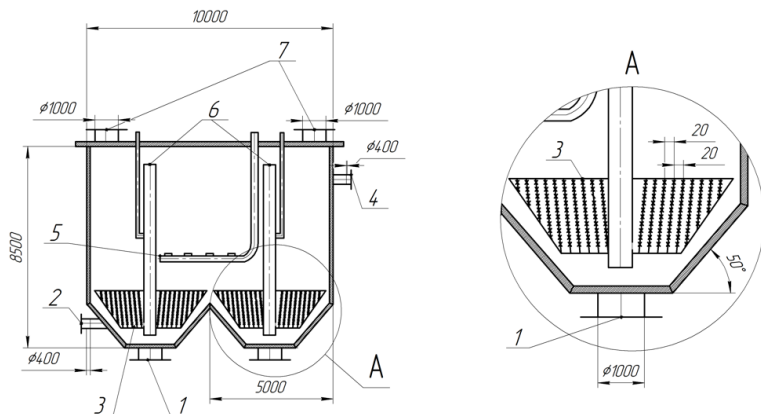


Рис. 1. Биохимический реактор

- 1 – патрубок для отвода иловой смеси;
- 2 – патрубок для подачи загрязненных сточных вод;
- 3 – загрузка ершовая;
- 4 – патрубок для отвода очищенных сточных вод;
- 5 – система аэрации;
- 6 – эрлифт;
- 7 – патрубок для подачи возвратного активного ила

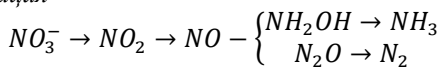
Биореактор представляет собой конструкцию, которая содержит емкость, поделенную на две зоны – аэробную и анноксидную. В емкости находятся патрубок для подачи загрязненных сточных вод, ершовая

загрузка, закрепленная на каркасе, патрубки для отвода иловой смеси, размещенные в аноксидной зоне. В аэробной зоне находятся трубопровод для отвода очищенных сточных вод, система аэрации. Также в конструкции предусмотрены эрлифты, размещенные вдоль секции, проходящие через аноксидную и аэробную зоны и патрубки для подачи возвратного ила в биореактор.

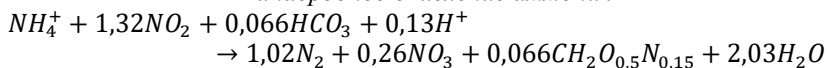
Обработка сточных вод в биореакторе происходит следующим образом. Загрязненные сточные воды после механической очистки и усреднения подводятся по трубопроводу в аноксидную зону реактора, где расположена загрузка ершовая с иммобилизованным активным илом. В этой зоне осуществляются процессы денитрификации и аноммокс-процесс при отсутствии свободного кислорода. С помощью эрлифта осуществляется перемешивание жидкости в полости емкости. Сточная вода направляется в зону с системой аэрации, где реализовываются аэробные процессы биохимической очистки, такие как окисление аммония и нитрификация.

Механизм биохимической очистки в биохимическом реакторе описывается рядом уравнений:

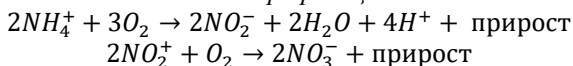
*денитрификация*



*анаэробное окисление аммония*



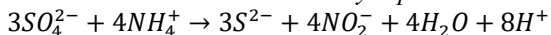
*нитрификация*



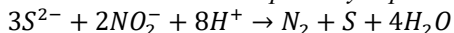
*окисление аммония*



*окисление аммония сульфатом*



*восстановление нитрита сульфидом*



Изучив технологию производства аммиачной селитры, было установлено, что в процессе производства аммиачной селитры образуются сточные воды с большим содержанием соединений азота, которые могут оказывать значительное негативное влияние при попадании в водоемы. Главными источниками являются конденсаты

соковых паров из аппаратов ИТН и выпарных установок, побочные источники – это охлаждение продуктов, промывка аппаратов, трубопроводов и мытье полов.

На основании анализа научно-технической литературы, предложен метод биохимической очистки сточных вод производства аммиачной селитры. Биохимический метод очистки обеспечивает полное максимальное извлечение аммонийного азота, нитратов и нитритов, достигая эффективность очистки на уровне 98%. Для реализации биохимической очистки был выбран биохимический реактор.

Биохимический реактор оснащен элементами для иммобилизации активного ила, необходимыми для поддержания достаточного количества микроорганизмов, обеспечивает осуществление очистки в аноксидной и аэробной зонах, имеет современную систему обеспечения циркуляции сточных вод и иловой смеси, которая предотвращает повышенное образование донных отложений и характеризуется простотой обслуживания за счет отсутствия движущихся частей.

### **Библиографический список**

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 2–2022 Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот.
2. Михайлова Е. С., Гармашов С. Ю. Анализ методов очистки сточных вод от нитратов // Московский экономический журнал. – 2022. – №. 11. – С. 418-431.
3. Куликов Н. И., Литти Ю. В., Кочумян А. С. Условия ускоренного запуска процесса анаммокс на канализационных очистных станциях // Universum: технические науки. – 2017. – №. 5 (38). – С. 24-29.
4. Патент № RU 2 749 273 C1. Способ глубокой биологической очистки сточных вод с процессом ANAMMOX биоценозом, иммобилизованным на ершовой загрузке: №2020141572: заявл. 2020.12.16: опубл. 2021.06.07 / Е. В. Вильсон, М. Г. Зубов, А. А. Кадревич; патентообладатель Зубов А. А. – 16 с.

Гайфутдинова Г., бакалавр,  
Санатуллова З.Т., канд. техн. наук, доц.,  
Шайхиев И.Г., д-р. техн. наук, проф.  
(КНИТУ, г. Казань, Россия)

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ КОРЗИНОК ЛОПУХА ВОЙЛОЧНОГО (*ARCTIUM TOMENTOSUM*) НА НЕФТЕЕМКОСТЬ

*В статье проводится исследование высохших корзинок растения *Arctium tomentosum* на нефтепоглощающие характеристики, исследовались его нефте-сорбционные характеристики. Исследовано увеличение сорбционных характеристик по нефти, при обработке ультразвуковым (УЗ) воздействием в водной среде при комнатной температуре с частотой 22 кГц в течение 5 часов семенников репейника.*

*Ключевые слова: *Arctium tomentosum*, корзинки, сорбция, маслосемкость.*

При производстве валяльно-войлочных, фетровых и других изделий из овечьей шерсти, одной из первоначальных операций является чесание шерсти. В результате вычесывания образуется отход производства, так называемый «угар», состоящий примерно в одинаковой пропорции из шерсти и целлюлозосодержащих фрагментов семенников растения. В промышленном производстве угар как вторичный материальный ресурс не используется и, в основном, закапывается в землю для ее умягчения.

Ранее нами угар исследовался в качестве сорбционного материала для удаления пленок нефти и масел с водной поверхности [1-10].

Определено, что исследуемый отход производства эффективно сорбирует нефть и продукты ее переработки (масла). Предполагалось, что высокая эффективность сорбции углеводородов определяется нахождением в составе угара волокон шерсти. Последняя, а также отходы от переработки шерсти в том же валяльно-войлочном производстве под названием «кноп», являются хорошими сорбционными материалами для удаления различных загрязняющих веществ из водных сред [11-15]. Выявлено, что шерсть и отходы от ее переработки обладают высокими значениями нефте- и маслосемкости благодаря своей волокнистой структуре.

Для оценки вклада целлюлозосодержащих фрагментов семенников лопуха войлочного, называемого в инае «репейник», на нефтепоглощающие характеристики, исследовались его нефтесорбционные характеристики. Лопух войлочный или Репейник паутинистый (*Arctium tomentosum*) - двулетнее травянистое растение 60 до 200 см, вид рода Лопух (*Arctium*) семейства Астровые (*Asteraceae*). Растение широко распространено в Евразии. Корень мясистый, веретенообразный[4].

Корень растения мясистый, веретенообразный. Стебли мощные, зелёной или красноватой окраски, бороздчатые, сильноветвистые, паутинистоопушённые под соцветиями. Листья цельные, крупные, яйцевидные. Соцветия - корзинки диаметром до 2,5 см, собранные на концах ветвей в щитковидные группы (общие соцветия). Корзинки большей частью светло-серые от обильного паутинистого опушения обёрток. Внешние листочки обёртки оканчиваются острым крючком, по этой причине после созревания семян корзинки легко цепляются к шерсти животных (рис. 1). Внутренние листочки обёртки обычно пурпурно окрашены и оканчиваются прямым остриём, по сравнению с внешними они обычно немного расширены. Венчик пурпурный, снаружи железисто опушён. В условиях Российской средней полосы растение цветёт в июне-августе, плоды созревают в июле-сентябре [16].



Рис.1. Семенные корзинки *Arctium tomentosum*



Как видно из рисунка 1, семенные корзинки репейника с цепкими колючками имеют развитую ворсистую поверхность. Полые структуры и микропоры способны адсорбировать жидкость. Клеточная структура растений, особенно волокна, иногда обладает водоотталкивающими или слабо смачиваемыми нефтью свойствами, что помогает удерживать нефтяные фракции.

В связи с вышеизложенным, высушенные семенники растения исследовались в качестве нефтесорбента. Исследуемый материал был собран осенью 2024 г. на поле в окрестностях села Каргали (Чистопольский район, Республика Татарстан).

Первоначально определялись некоторые физико-химические показатели семенников *Arctium tomentosum*. Определено, что влажность нативного сырья составила 18 %, насыпная плотность – 0,0465 г/см<sup>3</sup>, плавучесть (72 часа) – 46,2 % и зольность – 3,53 %.

Далее определялись по стандартной методике значения максимальной нефтеемкости по отношению к нефти карбонового отложений. Определено, что максимальная нефтеемкость через 30 минут контактирования составила 6,4 г/г, через 60 минут – 8,8 г/г. Значение максимального водопоглощения исследуемого сорбционного материала после 60 минут взаимодействия составило 4,2 г/г, что более чем в 2 раза меньше максимальной нефтеемкости. Данное обстоятельство должно положительно сказаться на удалении пленок нефти семенниками репейника паутинистого с водной поверхности.

Тем не менее, с целью увеличения сорбционных характеристик по нефти, семенники репейника подвергались обработке ультразвуковым (УЗ) воздействием в водной среде при комнатной температуре с частотой 22 кГц в течение 5 часов. УЗ – волновые колебания, имеющие частоту более 20 кГц. Использование УЗ для обработки сорбционных материалов основано на возникновении под его воздействием в жидкости различных нелинейных эффектов, в частности, кавитации. При возникновении последней, образующиеся в жидкой среде микропузырьки воздуха при соприкосновении с твердой поверхностью, разрушаются, создавая область вакуума.

Последний способствует экстракции из матрицы сорбента в водную среду водорастворимых низкомолекулярных соединений, изменяя внутреннюю и поверхностную структуру материала. В данном случае, модификацией сорбционного материала (семенники репейника) являлось интенсивное окрашивание водного раствора в желтый цвет. Последний является следствием, как говорилось выше, экстракции

низкомолекулярных фрагментов биополимеров в водную среду. Как показано проведенными нами исследовательскими работами, УЗ обработка, в частности, опилок деревьев [17-20] и оболочек стручков гороха [21, 22] приводит к увеличению сорбционных характеристик по нефти и снижению водопоглощения.

Как определено впоследствии проведенными экспериментами, УЗ обработка семенников *Ārctium tomentōsum* привела увеличению максимальной нефтеемкости по нефти карбонового отложения с 6,4 г/г до 10,4 г/г при 30-минутном контактировании сорбционного материала с сорбатом и с 8,8 г/г до 11,6 г/г после часового сорбирования.

Следующий этап экспериментальной работы состоял в исследовании возможности удаления нефтяных пленок с помощью нативных и модифицированных УЗ семенников репейника. Для это на поверхность воды в чашке Петри приливалось 3 см<sup>3</sup> нефти ( $\rho = 0,9253$  г/см<sup>3</sup>,  $m = 2,776$  г) и наносился 1 г того или другого сорбционного материала. Через 60 минут, латунное ситечко известной массы с нефтесорбентом и сорбированными нефтью и водой извлекалось и после стекания избыточного сорбата и воды, взвешивалось. Экстракцией ССl<sub>4</sub> оставшейся нефти в чашке Петри и последующего выпаривания в тигле при 105 °С воды по разнице масс определялось масса несорбированной нефти. По разнице масс вычислялись значения нефте- и водопоглощения. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения нефте- и водопоглощения, степень извлечения нефти и изменение водопоглощения при сорбции нефти (3 см<sup>3</sup>) с водной поверхности.

Время, мин	Суммарное значение нефте- и водопоглощения г/г	Нефтепоглощение г/г	Водопоглощение г/г	Степень удаления нефти %	Изменение водопоглощения %
<b>Нативные семенники репейника</b>					
60	5,32	2,755	2,565	99,3	
<b>Обработанные УЗ семенники репейника</b>					
60	15,34	2,44	12,9	87,9	+502,9

Как следует из приведенных в таблице 1 данных, хотя УЗ обработка исследуемого сорбционного материала и привела к некоторому увеличению максимальной сорбционной емкости, в условиях, имитирующих разлив нефти на водной поверхности, нефтепоглощение модифицированного образца семенника репейника снижается, но при этом более чем на 500 % увеличивается водопоглощение.

Вопреки ожидаемому, УЗ обработка способствовала многократному увеличению и показателя максимального водопоглощения (с 4,2 г/г до 14,9 г/г).

По всей видимости, УЗ обработка, кроме экстракции низкомолекулярных фрагментов биополимеров, способствовала растворению гидрофобизирующих компонентов семенников репейника.

Также предполагается увеличение количества полых структур и порового пространства в результате УЗ воздействия, что требует дополнительных исследований.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости изыскания другого способа увеличения гидрофобных характеристик семенных коробок репейника для увеличения нефтепоглощения и снижения водопоглощения.

### **Библиографический список**

1. Влияние параметров ВЧ плазмы пониженного давления на эффективность удаления угаром с водной поверхности масла ТП-22 / И.Г. Шайхиев, З.Т. Фасхутдинова, И.Ш. Абдуллин, С.В. Свергузова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 1. С. 133-137.

2. Фасхутдинова З.Т., Шайхиев И.Г., Абдуллин И.Ш. Повышение эффективности метода очистки маслосодержащих сточных вод модифицированными отходами валяльного производства // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 21. С. 220-222.

3. Фасхутдинова З.Т., Шайхиев И.Г., Абдуллин И.Ш. Влияние параметров плазмообработки на эффективность удаления с водной поверхности масла отходом валяльного производства // Вода: химия и экология. 2013. № 11 (65). С. 102-107.

4. Шайхиев И.Г., Альтапова А.Ф., Санатуллова З.Т. Исследование влияния параметров плазменной обработки на эффективность удаления девонской нефти с водной поверхности отходом валяльно-войлочного производства

(угаром) // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 23. С. 161-166.

5. Альтапова Р.Ф., Санатуллова З.Т., Шайхиев И.Г. Удаление нефтяных пленок с водной поверхности отходом валяльно-войлочного производства (угаром), обработанным кремнийорганическими жидкостями // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 19. С. 111-116.

6. Альтапова А.Ф., Санатуллова З.Т., Шайхиев И.Г. Влияние параметров высокочастотной низкотемпературной плазмы при обработке кератин- и целлюлозосодержащего отхода валяльно-войлочного производства на эффективность удаления карбоновой нефти с водной поверхности // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 5. С. 117-121.

7. Sanatullova Z.T., Shaikhiev I.G. Investigation of the process of desorption of oil-saturated waste of felt production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Innovative Technologies for Environmental Protection in the Modern World. 2021. Article. 012013.

8. Санатуллова З.Т. Удаление масел с водной поверхности плазмомодифицированными отходами валяльно-войлочного производства. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук / Казан. нац. исслед. технол. ун-т. Казань, 2017. 16 с.

9. Влияние параметров вч плазмы пониженного давления на эффективность удаления угаром с водной поверхности масла КС-19 / И.Г. Шайхиев, З.Т. Фасхутдинова, И.Ш. Абдуллин, Ю.М. Ханхунов // Вестник ВСГУТУ. 2013. № 6 (45). С. 88-94.

10. Санатуллова З.Т., Шайхиев И.Г. Влияние параметров плазменной обработки на эффективность удаления масла КС-19 с водной поверхности отходом валяльного производства // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования». Белгород, 2020. С. 218-223.

11. Шайхиев И.Г., Нагимуллина Г.Р., Низамов Р.Х. Шерсть и отходы от ее переработки в качестве реагентов для очистки сточных вод от поллюантов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. № 7. С. 19-27.

12. Шайхиев И.Г. Шерсть и отходы ее переработки в качестве сорбционных материалов. 1. Неорганических ионов металлов и анионов // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 21. С. 139-150.

13. Шерсть и отходы ее переработки в качестве сорбционных материалов. 2. Органических соединений // И.Г. Шайхиев, З.Т. Санатуллова, К.И. Шайхиева, С.В. Свергузова // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 3. С. 103-109.

14. 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.

15. Shaikhiev I., Nizamov R., Shmykov A. Research into wool processing waste materials as sorbents of oil products // Environmental Protection in Oil and Gas Complex. 2008. № 3. С. 9-12.

16. Новиков В.С., Губанов И.А. Род Лопух, или Репейник (*Arctium*) // Популярный атлас-определитель. Дикорастущие растения. М.: Дрофа, 2008. 5-е изд. С. 390.

17. Влияние ультразвуковой обработки опилок ясеня на нефти водопоглощение / Т.Р. Денисова, И.Г. Шайхиев, Г.В. Маврин, И.Я. Сиппель // Вода: химия и экология. 2017. № 6. С. 28-34.

18. Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г., Сиппель И.Я. Использование древесных опилок в качестве сорбента для очистки водных сред от нефти // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2015. № 1-2. С. 51-53.

19. Шайхиев И.Г., Денисова Т.Р., Свергузова С.В. (2018). Адсорбционная очистка водных объектов от нефти с использованием модифицированных отходов деревообработки: монография. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. 139 с.

20. The influence of linden (*Tilia cordata*) sawdust ultrasound treatment on oil sorption capacity and water uptake / T.R. Denisova, I.G. Shaikhiev, I.R. Nizameev et al. // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2017. Vol. 9(1S). P. 1798-1810.

21. Отход сельскохозяйственного производства в качестве сорбционного материала для ликвидации разливов углеводородов и его экстракт для ингибирования коррозии промышленного оборудования / К.И. Шайхиева, А.С. Макарова, Д.Д. Фазуллин, С.В. Степанова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 2 (136). С. 183-195.

22. Шайхиева К.И. Разработка технологии переработки оболочек стручков гороха в сорбционные материалы. Дисс.... канд. техн. наук. Казань, КНИТУ. 2024. 160 с.

## **ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ МЕТРОНИДАЗОЛА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УФ- ИЗЛУЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DEGUSSA P25**

*Работа посвящена исследованию фотокаталитической деструкции водного раствора метронидазола с использованием Degussa P25. Экспериментально было установлено, что совместное воздействие катализатора и УФ-излучения позволяет получать эффективность удаления метронидазола до 90%.*

*Ключевые слова: метронидазол, фотолиз, катализатор, УФ-излучение, эффективность, активные фармацевтические субстанции, импульсная ксеноновая лампа.*

Загрязнение водных ресурсов фармацевтическими препаратами становится все более серьезной экологической проблемой. Метронидазол обладает широким спектром действия: инфекции, вызванные простейшими, анаэробными грамотрицательными и грамположительными бактериями. Применяется для лечения органов дыхания, ЖКТ, ЦНС, костей, суставов, кожи и мягких тканей. Также используется в ветеринарии [1-2]. Из-за широкого применения препарата и нарушений правил его утилизации возникает экологическая проблема накопления метронидазола в воде и почве. Есть исследования, доказывающие канцерогенное и мутагенное воздействие метронидазола в случае его накопления в организме, поэтому необходимо удалять соединение из промышленных и бытовых сточных вод до их попадания в окружающую среду. Для очистки вод от активных фармацевтических субстанций (АФС) не эффективно использовать традиционные методы очистки. Наиболее действенными являются высокоинтенсивные окислительные процессы (Advanced oxidation process, AOPs). Это высокоэффективные методы, в которых используются гидроксильные радикалы, являющиеся сильнейшим окислителем, для удаления органических загрязняющих веществ из сточных вод. Одним из таких методов является окисление с использованием УФ-излучения, эффективность которого можно увеличить с помощью добавления катализатора [3-4].

Целью данной работы являлось оценка эффективности метода фотокатализа в присутствии Degussa P25 для удаления метронидазола из воды.

В работе источником УФ-излучения являлась импульсная ксеноновая лампа (ИКЛ) установки производителя ООО «Научно-Производственное Предприятие «Мелитта» (Россия)», подробное описание которой изложено в [5]. Лампа представляет собой прозрачную колбу, внутрь которой запаяны электроды, а пространство заполнено инертным газом – ксеноном. Лампа производит серию последовательных коротких вспышек с частотой несколько герц. Отличительными чертами являются отсутствие необходимости в прогреве и широкий спектр излучения [6].

В качестве фотокатализатора использовали импортный Degussa P25 ( $\text{TiO}_2$ ), для которого главными преимуществами являются химическая и термическая стабильность, низкая токсичность и хорошие фотокаталитические свойства при комнатной температуре.

Объектом исследования являлся водный раствор препарата метронидазола (2-(2-метил-5-нитро-1Н-имидазол-1-ил)этанол –  $\text{C}_6\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_3$ ). Приготовление рабочего раствора метронидазола проходило в несколько этапов: измельчение и растирании таблетки препарата, растворении его в воде с использованием ультразвуковой ванны в течение 15 минут. Исходная концентрация метронидазола во всех опытах была 10 мг/л.

Фотокаталитическое исследование включало два эксперимента. Для первого эксперимента в стакан для проведения фотолиза помещали 100 мл водного раствора метронидазола с заданной концентрацией и помещали под источник УФ – излучения, далее облучали при непрерывном перемешивании в течение 30 мин. Для второго эксперимента – в стакан добавляли 0,02 грамма катализатора Degussa P25 и также отправляли на фотолиз длительностью 30 мин.

Для двух экспериментов отбирали пробы по истечению 5, 10, 15, 20 и 30 мин. В случае фотокаталитического процесса отобранные пробы направляли в центрифугу на 10 мин при 300 оборотах для отделения катализатора. Эффективность фотодеструкции метронидазола оценивалась путем прямого измерения оптической плотности при длине волны 322 нм.

На рис. 1 приведены результаты двух экспериментов фотодеструкции раствора метронидазола. Как видно применение фотокатализатора Degussa P25 существенно повышает эффективность

разложения метронидазола в водном растворе и достигает 88%. Катализатор при поглощении кванта света генерирует свободные носители отрицательных зарядов – электроны и электронные «дырки», которые вступают в окислительно-восстановительные реакции с кислородом и парами воды. В процессе этих реакций образуются сильные окислители ( $O^{\bullet -}$  и  $OH^{\bullet}$ -радикал), которые взаимодействуют с органическим веществом, разрушая его [7].

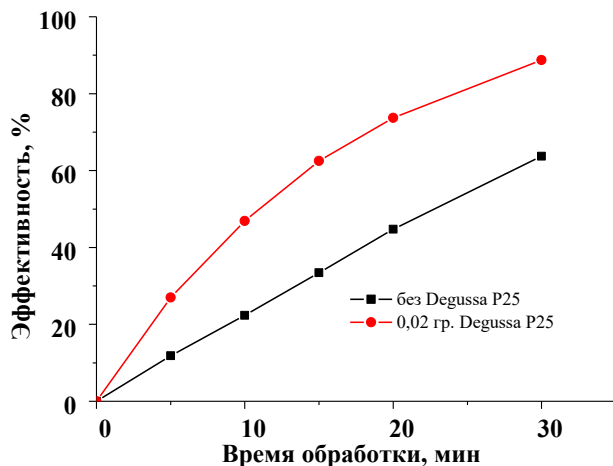


Рис.1. Эффективность фотодеструкции метронидазола в отсутствии и без катализатора Degussa P25.

Механизм фотокаталитического разложения метронидазола предполагает участие активных окислительных частиц, образующихся на поверхности Degussa P25 под воздействием УФ-излучения. Эти радикалы атакуют молекулу, приводя к ее постепенному разложению на более простые и вероятно менее токсичные продукты.

Также на основании экспериментальных данных рассчитаны константы скорости фотоокисления двух экспериментов. Оценено, что при введении катализатора в систему скорость процесса деструкции метронидазола в 2,2 раза выше, чем при чистом фотолизе.

Использование Degussa P25 в качестве катализатора, в сочетании с УФ-излучением, представляет собой потенциально эффективный и экологически чистый метод удаления АФС из водных растворов, что определяет значимость проводимого исследования. Однако



дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния других типов катализаторов (аналогов импортному Degussa P25) на эффективность процесса фотоокисления органических соединений.

### Библиографический список

1. Краснюк И.И. Метронидазол – 60 лет применения / И.И. Краснюк, С.Р. Нарышкин, А.В. Беляцкая, В.В. Тарасов, О.И. Степанова, И.И. Краснюк, В.В. Грих, Л.В. Овсянникова, Е.В. Мазяркин, А.Н. Воробьёв // Вестник ВГУ, Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2020. – № 1. – С. 82-90.
2. Машковский М. Д. Лекарственные средства. 16-е изд., перераб., испр. и доп. – М.: Новая Волна. – 2016. – С. 904-905.
3. Negin Entezami, Mehrdad Farhadian, Nila Davari. Removal of metronidazole antibiotic pharmaceutical from aqueous solution using  $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{GO}$  photocatalyst: Experimental study on the effects of mineral salts // *Advances in Environmental Technology*, Vol. 5 (1), 2019, P. 55-65.
4. Bustillo-Lecompte C. *Advanced Oxidation Processes Applications, Trends, and Prospects*: London, 2020, P. 170.
5. Шлыкова А.Ю., Дубровина В.Н., Кулебякина А.И., Иванцова Н.А. Кинетика деструкции метиленового синего под воздействием импульсной ксеноновой лампы // *Известия ТулГУ. Естественные науки.* – 2024. – Вып. 3. – С. 136-145.
6. Киреев С.Г., Шашковский С.Г., Тумашевич К.А., Абакумов А.В. Метод вычисления энергоэффективности газоразрядных импульсных ламп // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.* – 2020. – Т. 1. – № 1. – С. 45–51.
7. Савинов Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха // *Соросовский образовательный журнал.* – 2000. – Т. 6. – № 11. – С. 52-56.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПИЛОК ДЕРЕВЬЕВ РОДА ГРАБОВЫЕ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Произведен обзор литературных сведений по сорбции различных видов поллютантов из водных сред опилками рода Грабовые. Выявлено, что щелочная обработка позволяет существенно увеличить сорбционные характеристики по названным ИТМ. Так, у нативных опилок *Cárpinus bétulus* значение максимальной сорбционной емкости по ионам  $\text{Cu}^{2+}$  составило 4,32 мг/г.

Ключевые слова: *Cárpinus bétulus*, граб обыкновенный, адсорбция, сорбционная емкость.

Компоненты биомассы деревьев, такие как кора, листья, иголки, шишки, желуди и т.д., а также отходы деревопереработки (опилки, стружки щепы и др.) являются эффективными сорбционными материалами для извлечения различных поллютантов из сточных и природных вод. В ранее опубликованных обзорных статьях показано, что компоненты и отходы от переработки древесной биомассы листопадных деревьев средней полосы России, такие как береза, осина, тополь и др. [1], дуб [2, 3] широко исследованы в качестве сорбентов различных загрязняющих веществ.

Также в мировой литературе широко изучены сорбционные свойства компонентов биомассы и отходов от переработки эвкалипта [4], масличной пальмы [5], моринги масличной [6], финикового дерева [7], тамаринда [8], азадирахы индийской [9], акаций различных видов [10, 11], платана [12] и других видов деревьев. Представители хвойных пород деревьев также эффективно извлекают различные поллютанты из водных сред [13-16].

Относительно распространенным видом в Евразии листопадных деревьев является граб обыкновенный (*Cárpinus bétulus*) - вид лиственных деревьев из рода Граб (*Carpinus*) семейства Берёзовые (*Betulaceae*). Дерево высотой 7-12 м, в редких случаях до 25 м. Ствол диаметром до 40 см, ребристый, иногда слабо скрученный. Крона очень

густая, цилиндрическая, на вершине закруглённая. Кора молодых деревьев серебристо-серая, с возрастом глубоко растрескивающаяся. Ветки тонкие, длинные; краевые весной свисающие, летом прямые; молодые побеги бурые, с чечевичками, голые или рассеянно волосистые. Почки острые, узкие, длиной 5-8 мм. Листья овальные или продолговато-овальные, заострённые, в основании округлые или слабо неравнобоко-сердцевидные, длиной до 15 см, шириной 5 см, сверху тёмно-зелёные, плотные, почти голые, на черешках длиной до 15 мм [17].



Рис. 1. *Carpinus betulus*

Однодомное растение. Тычиночные серёжки рыхлые, длиной до 6 см, шириной 1 см. Прицветные чешуйки желтоватые, по краю красновато-бурые и ресничатые, заострённые, в основании с 5-7 тычинками, пыльники которых вверх опушённые. Пестичные серёжки длиной до 15 см, диаметром до 6 см. Обёртки при плодах кожистые, длиной 3-6 см, трёхлопастные, цельнокрайные или зубчатые. Плод -

небольшой, овальный, слегка сплюснутый, блестящий, бурый орех, 3-6 мм в длину, с 7-11 рёбрами, находится в кроющем листе. В каждой серёжке обычно 10-30 орехов. В 1 кг 30-35 тысяч обескрыленных орешков [17].

Древесина твёрдая, прочная, устойчива против истирания, в качестве строительного материала малопригодная из-за кривизны ствола. Из граба изготавливают музыкальные инструменты, шпон, токарные изделия, рукоятки инструмента и сапожные колодки, паркет. Естественно, при обработке древесины граба обыкновенного образуются отходы в виде опилок.

В составе древесины граба идентифицированы следующие специфические химические соединения, кроме целлюлозы, лигнина, жирных кислот и белковых веществ, - октаметилциклотетрасилоксан, декаметилциклопентасилоксан, додекаметилциклогексасилоксан, тетрадекаметил циклогептасилоксан, 2-метокси-3,8-диоксоцефалоакс-1-ен, 2-хлоропропан, 2,3-дигидро-2,5,6-триметил-р-диоксан, 1-нитро-2-пропанон, Бис(2-этилгексил)фталат и ряд других [18].

Наличие функциональных группировок предполагает хорошие сорбционные характеристики по ионам тяжелых металлов (ИТМ). В мировой литературе найдены несколько публикаций по удалению ИТМ опилками *Cárpinus bétulus*. Так, выявлено, что при начальной концентрации ионов  $Zn^{2+}$  10 мг/дм<sup>3</sup> и дозировке опилок граба 10 г/дм<sup>3</sup>, эффективность удаления поллютанта достигает 85 % через 10 минут контактирования при pH = 6,2 [19].

Также исследовалось адсорбционное взаимодействие нативных и модифицированных растворами КОН и NaOH опилок граба по ионам  $Cu^{2+}$  и  $Zn^{2+}$ . Выявлено, что щелочная обработка позволяет существенно увеличить сорбционные характеристики по названным ИТМ. Так, у нативных опилок *Cárpinus bétulus* значение максимальной сорбционной емкости по ионам  $Cu^{2+}$  составило 4,32 мг/г. После обработки растворов КОН и NaOH данный показатель составил 18,18 мг/г и 11,06 мг/г, соответственно. По ионам  $Zn^{2+}$  таковые значения составили 4,54 мг/г, 10,31 мг/г и 10,02 мг/г, соответственно. Выявлено, что все полученные изотермы адсорбции наиболее точно описываются моделью Ленгмюра, т.е. имеет место монослойная адсорбция исследуемых ИТМ на поверхности нативных и модифицированных опилок граба [20]. Выявлено, что оптимальными значениями pH для достижения наибольших показателей адсорбции по ионам  $Cu^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  являются pH = 4,1 и pH = 5,4, соответственно [21]. Основными механизмами

удаления ионов меди и цинка, предположительно, являются ионный обмен и водородное связывание [22].

При сравнительном анализе адсорбции нативными и щелочно-модифицированными опилками граба по отношению к ионам  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ , подтверждено, что ионный обмен является одним из механизмов, лежащих в основе удаления металлов выбранными опилками из модельных растворов. Данное обстоятельство подтверждается авторами снижением значений pH в начале и в конце процесса адсорбции за счет высвобождения ионов водорода в раствор [23]. Было установлено, что сорбционная емкость модифицированных опилок по ионам  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  для модельных растворов с начальной концентрацией последних  $50 \text{ мг/дм}^3$  была примерно в 4,5 раза выше по сравнению с исходными опилками граба; однако, щелочная обработка оказала отрицательное влияние на удаление ионов  $\text{Fe}^{2+}$  из-за образования органо-металлических красителей [24].

Также опилки граба исследовались для извлечения сульфат-ионов из модельных растворов с начальной концентрацией последних  $15 \text{ мг/дм}^3$  и  $75 \text{ мг/дм}^3$ . Дозировка опилок составила  $10 \text{ г/дм}^3$ . Определено, что при начальной концентрации сульфат-ионов  $15 \text{ мг/дм}^3$ , степень удаления последних опилками *Cárpinus bétulus* превышала 99 %. В случае начальной концентрации анионов  $\text{SO}_4^{2-}$   $75 \text{ мг/дм}^3$ , эффективность удаления последних не превышала 2,5 % [25].

Кроме ИТМ, опилки граба использовались для извлечения красителей из модельных растворов. В частности, исследовано удаление красителя «Methylene blue» опилками различных пород деревьев, в том числе и граба при следующих условиях: начальная концентрация красителя –  $50 \text{ мг/дм}^3$ ,  $E = 298 \text{ К}$ , дозировка биосорбентов –  $10 \text{ г/дм}^3$ . Определено, что эффективность извлечения красителя опилками *Cárpinus bétulus* составила 97 % [26].

Новый обработанный 0,3 М раствором NaOH многокомпонентный биосорбент, состоящий из биомасс опилок сосны, дуба, граба и пихты, был оценен для удаления красителя «Malachite green» из модельных растворов. Экспериментальные результаты показали, что это простое применение модификации повысило значение максимальной сорбционной емкости с 35,23 до 78,93 мг/г [27]. Модификация этой же смеси опилок цетилтриметиламмонийбромидом повысила значение максимальной сорбционной емкости до 52,61 мг/г [28]. Определено, что данные изотермы и кинетики были наилучшим образом описываются моделью Sips и логистической моделью Значение средней свободной

энергии, вычисленной из модели Дубинина–Радushкевича, и стандартное изменение свободной энергии Гиббса показали, что процесс адсорбции во всех случаях носит спонтанную и физическую природу [29].

Эта же смесь опилок, модифицированная обработкой цетилтриметиламмонийбромидом, использовалась для извлечения красителя марки «Food green 3». Найдено, что максимальная сорбционная емкость по названному красителю составила 36,6 мг/г. Определено, что изотерма адсорбции более точно описывается моделью Фрейндлиха, а кинетика процесса соответствует модели Еловича. Адсорбция носила спонтанный характер и имела физическую природу [30].

Кроме использования нативных или модифицированных опилок граба, последние исследовались для получения нанолигноцеллюлозы и использования последней для адсорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  [31] и  $\text{Pb}^{2+}$  [32].

Таким образом, обобщены литературные данные по использованию опилок граба в качестве сорбционных материалов для удаления ИТМ и красителей из водных сред. Выявлено, что нативные опилки граба имеют невысокие значения максимальной сорбционной емкости по красителям и ИТМ. Увеличение сорбционных характеристик возможно модификацией различными химическими реагентами. Использование компонентов биомассы граба (кора, листва и др.) в качестве сорбционных материалов в мировой литературе найдено не было.

### Библиографический список

1. Денисова Т.Р., Шайхiev И.Г. Использование компонентов лиственных деревьев средней полосы России в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред. Обзор литературы // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 24. С. 145-158.
2. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzova S.V. Using *Quercus* waste and biomass components to remove pollutants from aquatic environments (a literature review) // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2024. Vol. 14. No 1. P. 1-16.
3. Шайхiev И.Г. Использование компонентов деревьев рода *Quercus* в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из воды. Обзор литературы // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 5. С. 151-160.
4. Anastopoulos I., Ahmed M.J., Hummadi E.H. Eucalyptus-based materials as adsorbents for heavy metals and dyes removal from (waste) waters // Journal of Molecular Liquids. 2022. Vol. 356. Article 118864.

5. A review on adsorption of heavy metals from wood-industrial wastewater by oil palm waste / S. Ayob, N. Othman, W.A.H. Altowayti et al. // Journal of Ecological Engineering. 2021. Vol. 22. No 3. P. 249-265.

6. Heavy metal removal in aqueous systems using *Moringa oleifera*: a review / P.P. Ndibewu, R.L. Mnisi, S.N. Mokgalaka, R.I. McCrindle // Journal of Materials Science and Engineering. B. 2011. Vol. 1(6B). Article 843.

7. Shafiq M., Alazba A.A., Amin M.T. Removal of heavy metals from wastewater using date palm as a biosorbent: a comparative review // Sains Malaysiana. 2018. Vol. 47. No 1. P. 35-49.

8. Review on adsorptive removal of metal ions and dyes from wastewater using tamarind-based bio-composites / V. Malik, L. Saya, D. Gautam et al. // Polymer Bulletin. 2022. P. 1-36.

9. Adsorptive removal of heavy metals and dyes from wastewater using *Azadirachta indica* biomass / K. Naseem, Q. Imran, M.Z. Ur Rehman et al. // International Journal of Environmental Science and Technology. 2023. Vol. 20. No 5. P. 5799-5822.

10. Шайхиев И. Г., Нгуен Т.К.Т., Шайхиева К.И. Использование компонентов деревьев рода *Acacia* для удаления поллютантов из природных и сточных вод. 1. Ионы тяжелых металлов // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 3. С. 171-179.

11. Шайхиев И. Г., Нгуен Т.К.Т., Шайхиева К.И. Использование компонентов деревьев рода *Acacia* для удаления поллютантов из природных и сточных вод. 2. Органические соединения // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 11. С. 153-155.

12. Свергузова С.В., Белый В.А. О возможности использования компонентов биомассы платана (*Platanus orientalis*) в качестве сорбционного материала поллютантов из водных сред // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды», Алушта, 2019. Ч. I. С. 311-316.

13. 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.

14. 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.

15. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. 7. Псевдотсуговые // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 2. С. 165-167.

16. 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.

17. Miller C. The hornbeam (*Carpinus Betulus* L.) in Britain // Journal of Ecology. 1924. Vol. 12. No 1. P. 39-94.
18. Vaysi R., Porian M.H.H. Identification and comparison of organic chemical components in wood and bark of hornbeam and ironwood wood by GC-MS methods // Iranian Journal of Wood and Paper Science Research. 2022. Vol. 37. No 2. P. 16 p. (на иранском).
19. Kovacova Z. Study of zinc removal from water solutions using hornbeam wooden sawdust // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 566. Article 012019. 5 p.
20. Kováčová Z., Demčák Š., Bálintová M. Equilibrium isotherm studies of copper and zinc removal from model solutions using natural and alkaline treated hornbeam sawdust // Selected Scientific Papers-Journal of Civil Engineering. 2020. Vol. 15. No 2. P. 37-47.
21. Influence of wooden sawdust treatments on Cu (II) and Zn (II) removal from water / Z. Kovacova, S. Demcak, M. Balintova M. et al. // Materials. 2020. Vol. 13. No 16. Article 3575. P. 1-19.
22. Balintova M., Estokova A. Materials for heavy metals removal from waters // Materials. 2024. Vol. 17. No 9. Article 1935. P. 1-5.
23. Balintova M., Demcak S., Pagacova B. A study of sorption heavy metals by natural organic sorbents // International Journal of Energy and Environment. 2016. Vol. 10. P. 189-194.
24. Effect of alkaline treatment of wooden sawdust for the removal of heavy metals from aquatic environments / S. Demcak, M. Balintova, M. Demcakova et al. // Desalination and Water Treatment. 2019. Vol. 155. P. 207-215.
25. Demcak S., Balintova M., Pavlikova P. Study of sorption properties of various wood sawdust for sulphate removal // International scientific conference «People, Buildings and Environment 2016», Luhačovice, Czech Republic. 2016. Vol. 4. P. 206-211.
26. Valorisation of waste wood biomass as biosorbent for the removal of synthetic dye methylene blue from aqueous solutions / N. Velić, M. Stjepanović, L. Begović et al. // South-east European forestry: SEEFOR. 2018. Vol. 9. No 2. P. 115-122.
27. Deniz F., Kepekci R.A. Elimination of a common hazardous dye from aqueous solution by a novel alkaline-treated multi-component biosorbent // Research on Chemical Intermediates. 2017. Vol. 43. P. 561-575.
28. Deniz F., Kepekci R.A. Bioremoval of Malachite green from water sample by forestry waste mixture as potential biosorbent // Microchemical Journal. 2017. Vol. 132. P. 172-178.
29. Deniz F. A novel eco-biosorbent for decontamination of hazardous dye from aqueous medium // Journal of Polymers and the Environment. 2017. Vol. 25. P. 1242-125.



**Ибрагимова А.А., бакалавр,  
Санатуллова З.Т., канд. техн. наук, доц.,  
Шайхиева К.И., канд. техн. наук, доц.  
(КНИТУ, г. Казань, Россия)**

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА НЕФТЕПОГЛОЩЕНИЕ ЖОМА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

*Исследовано влияние ультразвукового воздействия на нефтепоглощающую способность жома сахарной свеклы. Показано, что обработка ультразвуком позволяет повысить сорбционные характеристики свекловичного жома по нефти.*

*Ключевые слова: жом сахарной свеклы, нефть, удаление, ультразвук, обработка*

Жом сахарной свеклы (ЖСС) является многотоннажным отходом свеклосахарного производства. При переработке сахарной свеклы, как источника для получения сахарозы, количество образующегося ЖСС составляет до 87 %, что способствует образованию ежегодно сотен миллионов тонн данного отхода. Свекловичный жом в настоящее время не нашел широкого и эффективного вторичного использования и, в этой связи, просто закапывается на сельскохозяйственных полях. Некоторая часть ЖСС после высушивания используется как добавка для откорма сельскохозяйственных животных. Основная же часть данного отхода банально гнивает в буртах и на полях, существенно усугубляя экологическую обстановку в местах складирования.

В этой связи, поиск рациональных путей использования свекловичного жома является актуальной задачей современности для Российской Федерации. В обзорной статье [1] показано, что ЖСС может использоваться, в частности, в качестве эффективного сорбционного материала для извлечения различных поллютантов из сточных и природных вод. Разливы нефти и продуктов ее переработки в результате техногенных аварий в настоящее время актуальной экологической проблемой. Миллионы тонн углеводов попадают на водную поверхность, загрязняя огромные водные акватории. Как показывает анализ мировой литературы, сорбция является одним из самых эффективных методов для извлечения углеводов с водной

поверхности. Однако, высокая стоимость и не всегда высокая нефтеемкость промышленных нефтесорбентов способствует широкому распространению последних в практике очистки водной поверхности от нефтепродуктов и нефти. В последнее время интенсивно развивается направление использования в качестве нефтесорбентов различных многотоннажных отходов сельскохозяйственного производства. В частности показано, что солома [2, 3] и плодовые оболочки зерен [4, 5], банановая [6] и апельсиновая [7] кожура, багасса сахарного тростника [8], льняная [9] и конопляная [10] костра и многие другие сельскохозяйственные отходы эффективно сорбируют углеводороды с водной поверхности. В мировой литературе найдено несколько публикаций, посвященных использованию ЖСС в качестве нефтесорбента. Так, в работе [11] показано, что максимальная нефтеемкость нативного высушенного ЖСС составляет 1.16 г/г. Этими же авторами предложен способ модификации жома органическим растворителем с последующим выжиганием. Данный метод способствует увеличению свободного пространства в структуре модифицированного материала и, соответственно, увеличению сорбционной емкости по нефти до 16 г/г [11–13].

Определена максимальная нефтеемкость нативного жома по отношению к нефти и дизельному топливу. Найдено, что данный показатель составляет 2,17 и 1,3 г/г. Показано, что одним из перспективных способов модификации свекловичного жома является обработка СВЧ-излучением. Суть метода заключается в обработке свекловичного жома водными растворами KOH,  $H_3PO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$  и водой в течение получаса, далее обработанный жом подвергался термической обработке при помощи СВЧ-излучения до обугливания. В результате модификации нефтеемкость сорбента повысилась до 3,5 г/г [14]. Ранее нами проведены исследования по возможности использования высушенного ЖСС различного фракционного состава в качестве сорбционного материала масел различного назначения при различных температурах в статических и динамических условиях. Определено, что значение максимальной маслоемкости жома уменьшается при понижении температуры. Найдено, что наилучшими сорбционными характеристиками обладает средняя фракция реагента с размерами 1.2–5 мм. Определено, что по значениям максимальной маслоемкости при 20 °С исследуемые масла расположились в следующий ряд зависимостей (по средней фракции жома): ТП-22С > ТЭп-15В > М10Г2К > М8В > М63/12Г1 > веретенное > И-20А [15].

Также исследована возможность использования высушенного ЖСС различного фракционного состава в качестве сорбционного материала легких нефтепродуктов (керосин, бензин) при различных температурах в статических и динамических условиях. Определено, что максимальная нефтеемкость жома повышается при понижении температуры. Наибольшими сорбционными характеристиками обладает средняя фракция материала с размерами 1,2–5 мм. Определено, что максимальная нефтеемкость, определенная в статических условиях, по керосину составила 1,77 г/г, по бензину марки АИ-92 – 1,67 г/г. Также проведенными экспериментами определено, что нефтеемкость ЖСС, определенная в динамических условиях, составила по керосину – 1,81 и 2,07 г/г для крупной и мелкой фракции жома, для бензина марки АИ-92 – 1,75 и 1,98 г/г соответственно [16].

В продолжение ранее начатых работ, проводились эксперименты по использованию свекловичного жома для извлечения нефти с водной поверхности. В качестве сорбата использовалась высокосернистая нефть карбонового отложений. Определено, что максимальная нефтеемкость, определенная в статических условиях, по данной нефти для ЖСС составила 2,2 г/г через 60 минут контактирования. Очевидно, что полученные данные по максимальной нефтеемкости коррелируют с ранее полученными данными с другими нефтепродуктами [15, 16] и по нефти из других литературных источников [11-14]. Следует отметить, что ЖСС имеет высокое значение максимального водопоглощения – 3,5 г/г, что в 1,5 раза выше, чем показатель максимальной нефтеемкости. Данное обстоятельство будет негативно сказываться при извлечении углеводородов с водной поверхности. Для увеличения значений максимальной нефтеемкости и снижения водопоглощения нефтесорбентов, используют методы химической или физико-химической модификации последних. Ранее нами показано, что обработка сорбционных материалов ультразвуковым (УЗ) излучением способствует уменьшению водопоглощения и повышению сорбционных характеристик по нефтям девонского и карбонового отложений [17-19]. Проведенная УЗ обработка ЖСС, как определено проведенными экспериментами, способствовала увеличению максимальной нефтеемкости свекловичного жома по нефти карбонового отложения до значения 6,0 г/г при часовом периоде контактирования сорбата с сорбционным материалом.

Таким образом, выявлено, что УЗ воздействие на целлюлозные нефтесорбенты положительно сказывается на значения максимальной нефтеемкости для свекловичного жома.

### Библиографический список

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 3. Плодовые оболочки зерен пшеницы и риса (обзор мировой литературы) / И.Г. Шайхиев, К.И. Шайхиева, С.В. Свергузова, Т.Р. Дебердеев // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2025. № 2. С. 2-12.

5. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводородов с водной поверхности. 4. Плодовые оболочки зерен ячменя, овса и гречихи (обзор мировой литературы) / И.Г. Шайхиев, К.И. Шайхиева, С.В. Свергузова, Т.Р. Дебердеев // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2025. № 3. С. 8-17.

6. 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.

7. Oil spill sorption capacity of raw and thermally modified orange peel waste / I.A. El Gheriany, F.A. El Saqa, A.A. Amer, M. Hussein // Alexandria Engineering Journal. 2020. Vol. 59. No 2. P. 925-932.

8. Oil spill sorption using raw and acetylated sugarcane bagasse / R. Behnood, B. Anvaripour, N. Jaafarzadeh, M. Farasati // Journal of Central South University. 2016. Vol. 23. P. 1618-1625.

9. Влияние плазменной обработки льняной костры на удаления разливов 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.

10. Домрачев О.А., Хабибрахманова Е.Н., Шайхиев И.Г. (2022). Исследование конопляной костры в качестве нефтесорбента // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования», Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. С. 49–52.

11. Зайцева Е.А., Еремин И.С. Вторичное использование жома сахарной свеклы // Сборник статей II Международной научно-технической конференции «Интеграция и развитие научно-технического и образовательного сотрудничества – взгляд в будущее». Минск, 2020. С. 75–77.

12. Платонова А.М., Мельникова А.С., Кострюкова Н.В. Возможность использования отходов производства в качестве сорбентов на примере свекловичного жома // III Международная научно-практическая конференция «Проблемы обеспечения безопасности». Уфа, 2021. С. 164–167.

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 технологического университета. 2015. Т. 18. № 17. С. 258–261.

14. 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 технологического университета. 2015. Т. 18, № 13. С. 246–248.

15. Влияние ультразвуковой обработки опилок ясеня на нефте- и водопоглощение / Т.Р. Денисова, И.Г. Шайхиев, Г.В. Маврин, И.Я. Сиппель // Вода: химия и экология. 2017. № 6. С. 28–34.

16. Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г., Сиппель И.Я. Исследование влияния ультразвуковой обработки на сорбционные свойства опилок ясеня // Химия. Экология. Урбанистика. 2017. С. 38–42.

17. Шайхиев И.Г., Денисова Т.Р., Свергузова С.В. Адсорбционная очистка водных объектов от нефти с использованием модифицированных отходов деревообработки: монография. Белгород: Издательство БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. 139 с.

18. Отход сельскохозяйственного производства в качестве сорбционного материала для ликвидации разливов углеводородов и его экстракт для ингибирования коррозии промышленного оборудования / К.И. Шайхиева, А.С. Макарова, Д.Д. Фазуллин, С.В. Степанова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 2(136). С. 183–195.

19. Шайхиева К.И. Разработка технологии переработки оболочек стручков гороха в сорбционные материалы. Дисс. ... канд. техн. наук. Казань, КНИТУ. 2024. 170 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА ФЕНТОНА ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ ФЕНОЛА В СТОЧНЫХ ВОДАХ

*Изучена деструкция фенола с применением Фентон-процесса. Максимальная эффективность деструкции загрязнителя составила 99,4%. Результаты позволяют рассматривать процесс Фентона в качестве перспективного метода очистки сточных вод от фенола и его производных.*

*Ключевые слова: фенол, органические загрязняющие вещества, процесс Фентона, Advanced Oxidation Process, пероксид водорода, гидроксил-радикал, гидропероксид-радикал, переходный металл, катализ, очистка сточных вод.*

Стремительная индустриализация и рост техногенной нагрузки на окружающую среду стали одними из основных причин ухудшения качества природных водоемов. Сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод приводят к нарушению гомеостаза (устойчивого внутреннего баланса) экосистем вплоть до их полного разрушения [1].

Серьезной экологической проблемой является загрязнение окружающей среды устойчивыми органическими соединениями. Среди основных органических экотоксикантов можно выделить фенол, который широко используется в нефтеперерабатывающей, коксохимической, угольной, лакокрасочной, пластмассовой и фармацевтической промышленности и является значимым источником загрязнения [2]. Кроме того, фенол активно используется в производстве гербицидов, лекарственных и косметических средств, смазочных материалов, а также фенолформальдегидных смол.

Фенол представляет серьезную опасность для здоровья человека и состояния окружающей среды, он является нейротоксичным веществом, способен вызывать поражение почек, печени и проникать в кровь через кожные покровы. Присутствие фенола в воде может сильно ухудшать ее качество и оказывать токсическое воздействие даже на клеточном уровне, приводя к пигментогенезу, проблемам биосинтеза белка и нарушать дыхание. На уровне организмов это проявляется в виде потери двигательной активности у рыб, а также нарушениях равновесия и дыхания [3]. Все эти факторы обусловили строгое

нормативное содержание фенола в воде ( $\text{ПДК}_\text{в} = 0,001 \text{ мг/дм}^3$ ). Разработка эффективных и экономичных методов очистки сточных вод от фенолов остается крайне актуальной природоохранной задачей.

Традиционные методы очистки сточных вод от фенола охватывают широкий спектр физико-химических, химических и биологических технологий, однако большая их часть характеризуется рядом существенных недостатков и не всегда позволяют достичь необходимой эффективности очистки.

Адсорбционные методы требуют последующей регенерации адсорбентов, что сопряжено с дополнительными ресурсными и энергетическими затратами [4], а процессы экстракции сопряжены с высокой стоимостью используемых органических растворителей, биологические методы неприменимы для высококонцентрированных стоков, так как токсичные органические загрязнители могут полностью подавлять деятельность микроорганизмов, составляющих биоценоз активного ила, применение окислителей ( $\text{NaOCl}$ ,  $\text{Ca(OCl)}_2$ ,  $\text{O}_3$  и др.) способствует вторичному загрязнению сточных вод полупродуктами окисления и характеризуется высокими реагентными затратами [5].

Для преодоления ограничений традиционного окисления активно развивают методы усовершенствованного окисления (Advanced Oxidation Processes, AOPs). Особенностью методов AOP является применение реакционноспособных активных частиц (гидроксильный радикал ( $\text{HO}\cdot$ ), супероксидный радикал ( $\text{O}_2\cdot^-$ ), гидропероксидный радикал ( $\text{HO}_2\cdot$ ) и др.), которые способны практически полностью минерализовывать сложные органические соединения [6, 7]. Радикалы получают путем разложения исходных окислителей ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) различными физико-химическими методами: пропускание электрического тока, применение ультразвука, ультрафиолета, реагентная активация переходными металлами, алкильная активация и др. [8]. Вследствие относительной экологической безопасности и широкого распространения в области AOP, особый интерес представляет использование ионов железа (II) для разложения пероксида водорода (Фентон-процесс) [9].

Целью данного исследования является изучение деструкции фенола с применением Фентон-процесса.

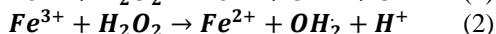
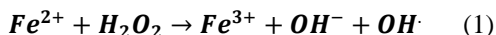
#### **Материалы и методы исследования.**

Исследование было проведено с использованием модельных растворов фенола ( $3 \text{ мг/дм}^3$ ). Определение концентрации модельного раствора до и после окисления проводилось фотометрическим методом

согласно РД 52.24.480-2022. Процесс окисления осуществлялся при постоянном перемешивании в течение 30 минут.

Дозу окислителя (пероксид водорода) варьировали в диапазоне от 2,5 до 10 мг окислителя/мг загрязняющего вещества (далее – мг/мг).

Доза  $\text{Fe}^{2+}$  варьировалась в диапазоне 0-6,7 мг на мг фенола. Образование гидроксильных радикалов при взаимодействии пероксида водорода с ионами железа (II) описывается уравнениями 1 и 2:



### Результаты и их обсуждение.

На первом этапе исследования было изучено окисление фенола индивидуальным пероксидом водорода. Результаты представлены на рисунке 1.

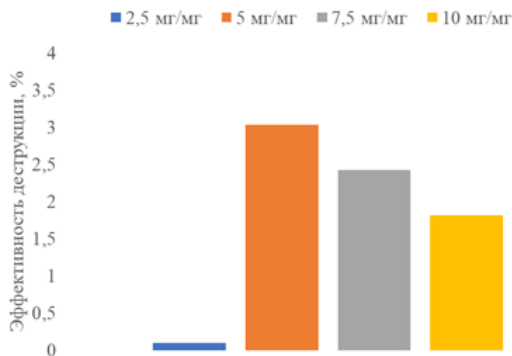


Рис. 1. Эффективность деструкции пероксидом водорода

Из представленной диаграммы видно, что максимальная степень деструкция фенола с помощью пероксида водорода достигается при дозе 5 мг/мг и составляет 3%. Столь низкая эффективность окисления вероятнее всего объясняется высокой устойчивостью фенола, связанной с наличием резонансных структур.

Для увеличения эффективности деструкции фенола было принято решение о необходимости проведения организации процесса Фентона. Для этого в реакционную смесь было внесено железо (II). Доза  $\text{H}_2\text{O}_2$  составила 5 мг/мг. Полученные результаты представлены на рисунке 2.



Как видно из диаграммы 2, добавление ионов железа (II) в реакционную систему существенно повышает эффективность окисления фенола. Максимальная степень деструкция фенола составила 99,4% и была достигнута при дозе железа (II) 1,7 мг/мг. Данное явление объясняется образованием гидроксильных и гидропероксидных радикалов согласно уравнениям 1 и 2.

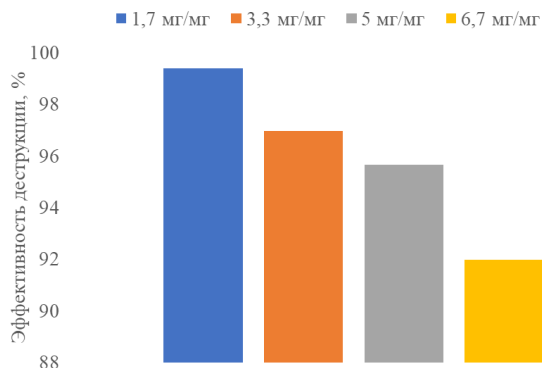
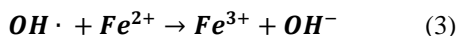


Рис. 2. Эффективность удаления фенола в модельном растворе при добавлении железа (II)

При дальнейшем увеличении дозы  $Fe^{2+}$  наблюдается снижение степени очистки. Это может быть связано с тем, что избыток ионов железа (II) провоцирует поглощение образующихся свободных радикалов (уравнение 3) [10].



### Выводы.

Применение системы  $Fe^{2+}/H_2O_2$  значительно увеличивает эффективность деструкции фенола в сравнении с применением индивидуального пероксида водорода. Максимальная эффективность деструкции фенола при введении  $Fe^{2+}$  была увеличена в 33,1 раза, достигнута при дозе пероксида водорода и железа (II) 5 мг/мг и 1,7 мг/мг соответственно и составила 99,4%. Повышение степени очистки обусловлено генерацией свободных радикалов. Результаты исследования позволяют рассматривать Фентон-процесс в качестве перспективного метода очистки фенолсодержащих сточных вод.

## Библиографический список

1. Sun X. et al. Treatment of phenolic wastewater by combined UF and NF/RO processes // *Desalination*. – 2015. – V. 355. – P. 68-74.
2. Rappoport Z. V. I. The chemistry of phenols. – John Wiley & Sons, 2004.
3. Горячева В. Н. и др. Обеспечение экологической безопасности при использовании фенолов в различных отраслях промышленности // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. – 2018. – Т. 8. – №. 2. – С. 129-137.
4. Со Вин Мьинг, Зо Е Наинг, Любушкин Т. Г., Нистратов А. В., Курилкин А. А. Окислительно-адсорбционный метод очистки сточных вод от синтетических красителей. *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*, 2025, 18(1). С. 85–93.
5. Das P. P. et al. Advancements on ozonation process for wastewater treatment: A comprehensive review // *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*. – 2024. – P. 109852.
6. 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. – V. 93. – N. 13. – P. 3454-3459.
7. Kuznetsov V. V. et al. Study of the Process of Electrochemical Oxidation of Active Pharmaceutical Substances on the Example of Nitrofurazone ((2 E)-2-[(5-Nitro-2-furyl) methylene] hydrazine Carboxamide) // *Water*. – 2023. – V. 15. – N. 19. – P. 3370.
8. 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.
9. Емжина В. В., Мирзоева С. Н. К., Иванцова Н. А. Окислительная деструкция модельных сточных вод, содержащих фармацевтические препараты, реактивом Фентона // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2014. – Т. 28. – №. 5 (154). – С. 22-25.
10. Bokare A. D., Choi W. Review of iron-free Fenton-like systems for activating H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in advanced oxidation processes // *Journal of hazardous materials*. – 2014. – V. 275. – P. 121-135.

Кениг Л.Л., студент,  
Курбатов А.Ю., к.т.н., доцент  
(РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПГМГ<sub>хл</sub> В КАЧЕСТВЕ ОБЕЗЗАРАЖИВАЮЩЕГО РЕАГЕНТА НА ПРИМЕРЕ *E. coli***

*В рамках исследования было рассмотрено применение ПГМГ<sub>хл</sub> в качестве обеззараживающего реагента в отношении грамотрицательной культуры *E. coli*. Были получены доза и время обработки, при которых полностью ингибируется рост микроорганизмов.*

*Ключевые слова: обеззараживание, грамотрицательные бактерии, очистка сточных вод, ПГМГ<sub>хл</sub>.*

Одним из самых важных и востребованных ресурсов для человека является вода. Она необходима не только для поддержания жизнедеятельности, но и осуществления технологических процессов. Вследствие работы предприятий отраслей промышленности, таких как химическая, пищевая, нефтехимическая и прочих, образуются сточные воды. В большинстве случаев они характеризуются высоким содержанием органических поллютантов, что препятствует их прямому сбросу в гидросферу без предварительной подготовки [1].

Для обеспечения экологической безопасности, соблюдения законодательных требований и предотвращения экологических нарушений необходимо осуществлять очистку и обеззараживание сточных вод перед сбросом в канализацию или природные водоемы.

Классическая схема очистки сточных вод представляет из себя ряд процессов, включающих механический, физико-химический и биологический.

Последний этап осуществляется с использованием активного ила, воздействие которого позволяет эффективно удалять биогенные элементы, как азот и фосфор, содержащихся в воде, которые сложно подаются очистке физико-химическими способами.

Во время работы аэротенков активный ил накапливает в себе патогенные формы микроорганизмов, гельминты, вирусы, что в свою очередь создает биологическую опасность. Чтобы предотвратить дальнейшее распространение патогенной микрофлоры на водоканалах существует стадия обеззараживания, которая является неотъемлемой

при применении активного ила в водоочистной системе. Этот процесс предупреждает возникновение вспышек эпидемий, что впоследствии улучшает качество жизни людей [2].

На сегодняшний день разработано множество различных методов для обеззараживания сточных вод. К ним относятся как химические, так и физические.

Распространённой реагентной технологией остается применение хлорсодержащих соединений: гипохлорит натрия, диоксид хлора и другие. Данные вещества являются сильными окислителями, и при добавлении в воду осуществляют инактивацию и ингибирование роста микроорганизмов. Несмотря на эффективность, технология имеет недостатки. Например, возможность образования вторичных токсичных и канцерогенных соединений, высокая нестабильность хлора требует тщательного контроля в процессе обеззараживания. Транспортировка и хранение хлорсодержащих реагентов вызывают сложности, так как они взрывоопасны и токсичны [3].

Еще одним химическим методом, наравне с хлорированием, является озонирование. Данная технология обеззараживания сточных вод позволяет достичь высокой эффективности очистки за короткое время проведения процесса. Тем не менее отсутствие пролонгированного эффекта, высокая стоимость оборудования и потенциальная пожароопасность озона, усложняют его эксплуатацию [4].

Поэтому вопрос поиска новых эффективных реагентов, обладающих высоким обеззараживающим и пролонгированным действием, остается весьма актуальным.

В качестве альтернативы существующим методам было рассмотрено применение полигексаметиленгуанидина гидрохлорида (ПГМГхл). ПГМГхл – высокомолекулярное вещество, производное гуанидина, относящееся к реагентам неокислительного действия, благодаря чему не образует вторичных токсичных продуктов в ходе очистки сточных вод, пожаро- и взрывобезопасен. В ряде исследований отмечено высокое бактерицидное действие против широко спектра микроорганизмов, а также грибов и вирусов [5-6]. Однако важным вопросом остаётся дозировка ПГМГхл в сточные воды с высоким бактериальным загрязнением.

#### **Экспериментальная часть:**

Целью работы являлось изучение обеззараживающей способности полигексаметиленгуанидина гидрохлорида на примере бактерий *E. coli*.

*E. coli* – грамотрицательные палочковидные бактерии семейства *Enterobacteriaceae*. Бактерии входят в состав нормальной микрофлоры толстой кишки человека и теплокровных животных. Патогенные штаммы *E. coli* являются возбудителями кишечных инфекций и гнойно-воспалительных процессов. Отсутствие данного вида бактерий в стоках после биологической очистки является обязательным параметром для сброса сточных вод в гидросферу [7].

Для проведения процесса инаktivации готовили образцы модельной воды, содержащей 1% инокулята штамма *E. coli* и стерильной водопроводной воды. Инокулят тест-штаммов выращивали при температуре  $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение 24 часов на жидкой среде ТВ (Terrific Broth). В итоговой модельной воде содержание колониеобразующих единиц на 100 мл *E. coli* составило более 3000 КОЕ/100 мл.

В модельные растворы вносили различные дозы ПГМГхл (0,1 г/л; 0,01 г/л; 0,001 г/л). Полученные пробы выдерживали при комнатной температуре на электромагнитной мешалке при 100 об/мин, в течение 30 минут. Каждые 5 минут проводили высеивание 10 мл пробы на твердую питательную селективную среду ксилозо–лизин–дезоксихолатный агар (XLD-агар) с помощью мембранных фильтров в соответствии с методикой, представленной в МУК 4.2.3695-21.

Посевы проб на чашках Петри после проведения эксперимента инкубировали в термостате при температуре  $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение 24 часов. После процесса инкубации проводился подсчет КОЕ/100 мл с целью определения остаточного содержания микроорганизмов. Оценкой эффективности обработки являлось снижение КОЕ бактерий.

Результаты проделанных экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Определение остаточного содержания микроорганизмов после обработки различными дозами ПГМГхл

Время обработки, мин	Остаточное содержание микроорганизмов, КОЕ/100 мл		
	Доза ПГМГхл, г/л		
	0,001	0,01	0,1
5	60	20	Отсутствие роста
10	20	5	Отсутствие роста
15	1	Отсутствие роста	Отсутствие роста
20	Отсутствие роста	Отсутствие роста	Отсутствие роста

По данным из таблицы 1 можно сделать вывод о том, что ПГМГхл ингибирует модельную воду, с высоким бактериальным загрязнением грамотрицательных бактерий культуры *E. coli*.

Стоит отметить, что дозировка 0,1 г/л практически сразу ингибирует рост микроорганизмов, что может быть полезно при задаче быстро обеззаразить воду. При этом более экономичным вариантом по дозировке является 0,01 г/л, но такой вариант требует выдержки сточной воды не менее 20 минут.

Исходя из результатов, полученных в ходе эксперимента, можно сделать вывод о том, что применение ПГМГхл в качестве обеззараживающего агента в процессе очистки сточных вод способно полностью ингибировать рост *E. coli*. Эффективное воздействие наблюдается даже при малых дозах, несмотря на продолжительное время обработки. Дальнейшие исследования предполагают снижение дозы ПГМГхл в процессах обеззараживания, и изучение свойств реагента на других видах бактерий.

### Библиографический список

1. Карманов А., Полина И. Технология очистки сточных вод. – Litres, 2022.
2. Лукьянов В. И., Тюкин В. Н., Лукьянов Е. В. Станция очистки сточных вод и устройство для обеззараживания проточной воды //Матер. I Всеросс. конф.«Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии. – 2005. – С. 174-178.
3. Беликов С. Е. Справочник для профессионалов. Водоподготовка //Москва. – 2007.
4. Лазарева, Т. П. Методы обеззараживания воды. Достоинства и недостатки / Т. П. Лазарева, Г. В. Макачук // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2020. – № 7(8). – С. 471-476.
5. Воинцева И. И. Полигексаметиленгуанидин гидрохлорид для очистки и обеззараживания воды как альтернатива реагентам-окислителям. Часть 1 //Вода: химия и экология. – 2011. – №. 7. – С. 39-45.
6. Чой Х., Ким К. Дж., Ли Д. Г. Противогрибковая активность катионного противомикробного полимера — полигексаметиленгуанидингидрохлорида и механизм его действия // Биология грибов. — 2017. — Т. 121. — №. 1. — С. 53-60.
7. Литусов Н. В. Эшерихии: иллюстрированное пособие. – 2016.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЧИСТКЕ ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОКСИДОМ МЕМБРАНАХ

*В работе изучен метод модификации полиамидных мембран полиэтиленоксидом (ПЭО) для улучшения их селективности с целью очистки сточных вод от фенола. Описан процесс модификации ПЭО полиамидной мембраны, который приводит к увеличению ее селективности. Установлено, что оптимальная продолжительность модификации составляет 10 часов, так как дальнейшее увеличение времени не влияет на изменение селективности. Результаты полезны для разработки методов очистки фенолсодержащих сточных вод с эффективностью не менее 46 %.*

*Ключевые слова: фенол, мембранные методы, модификация мембран, полиэти-леноксид, химическая прививка, очистка сточных вод, селективность.*

Фенол представляет собой органическое соединение ( $C_6H_5OH$ ), которое используется в различных отраслях промышленности, он обладает высокой токсичностью и хорошо растворим в воде, что обуславливает необходимость разработки эффективных методов его удаления из сточных вод [1].

Одним из методов удаления фенола могут выступать мембранные методы, которые позволяют удалять органические молекулярные загрязнения с высокой эффективностью [2].

Однако не все современные мембраны подходят для очистки фенолсодержащих стоков. Проведение модификации мембран позволит повысить эффективность очистки сточных вод от фенола и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

В качестве модификатора композитной полиамидной мембраны нами был выбран полиэтиленоксид (ПЭО) – синтетический высокомолекулярный полимер, состоящий из повторяющихся звеньев этиленоксида с общей формулой  $[(CH_2)_m-O]_n$ . ПЭО характеризуется высокой эластичностью, прочностью и способностью образовывать пленки и волокна с хорошими механическими свойствами. ПЭО обладает высокой совместимостью с различными синтетическими полимерами, что позволяет использовать его в качестве модификатора различных полимерных композиций. Например, введение в

гетероцепные полиамиды полиэтиленоксида в виде боковых цепей изменяет кристалличность полиамидов [3].

Растворение ПЭО в воде происходит за счет образования водородных связей между гидроксильными группами полимера и молекулами воды. Гидратация макромолекул ПЭО приводит к их набуханию и увеличению вязкости раствора, что делает его эффективным флокулянт. Важным преимуществом ПЭО является его низкая токсичность, что делает его безопасным для применения в водоочистке [4].

Для модификации композитных полиамидных мембран марок ОРМ31К, ОРМ32КМ, ОРМ33К (производство РФ) был использован метод химической прививки ПЭО к полиамидной селективной матрице путем взаимодействия функциональных групп полиамида на поверхности мембраны с активными группами ПЭО.

Процесс модификации осуществлялся путём пропускания водного раствора полиэтиленоксида через мембрану под высоким давлением при постоянной температуре в течение различных временных интервалов. В результате молекулы полиэтиленоксида задерживались в порах и на поверхности мембраны, что способствовало их связыванию с селективным слоем мембраны.

В ходе исследований оценивалась селективность модифицированных мембран по фенолу при их выходе на рабочий режим. Начальная концентрация фенола в растворе составляла 50 мг/л., рабочее давление 9 атм.

Как видно из графиков, представленных на рисунке 1, наблюдается корреляция между временем модификации и селективностью. Установлено, что селективность мембраны возрастает с увеличением продолжительности модификации и достигает определенного предела.

Отмечено, что за период времени модификации с 10 до 20 часов значимых изменений селективности не происходит. Поэтому можно сделать вывод о том, что увеличение времени модификации более 10 часов нецелесообразно.



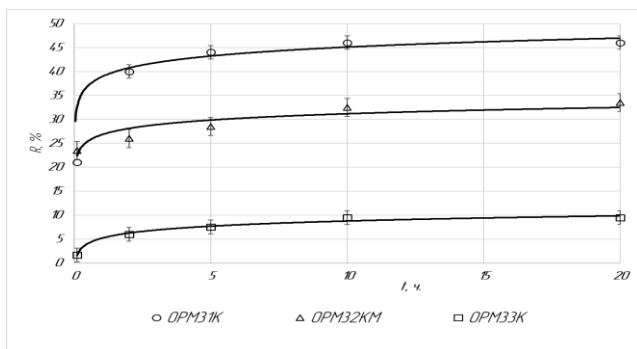


Рис. 1. Влияние времени модификации ПЭО на селективность полиамидных мембран марок ОРМ

В результате экспериментов установлено, что селективность исходной мембраны ОРМ31К при очистке растворов от фенола составила 21 %, ОРМ32КМ – 23 %, ОРМ33К – 2 %. Модификация в течение не менее 10 часов позволила увеличить селективность до 46 % для мембраны ОРМ31К, 33 % – ОРМ32КМ, 19 % – ОРМ33К. Таким образом, модифицированные мембраны марки ОРМ могут быть использованы для очистки фенолсодержащих сточных вод с эффективностью не менее 46 %.

### Библиографический список

1. Горелова, О.М. Исследование по модификации мембранных материалов для очистки сточных вод коксохимической промышленности / О.М. Горелова, И.О. Красильников, Ю.В. Пупкова // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности, – 2024. – С. 177-179.
2. Комарова, Л. Ф. Инженерные методы защиты гидросферы: учебное пособие / Л. Ф. Комарова, В. А. Сомин. Барнаул: АлтГТУ, 2019. – 283 с. Международный симпозиум по макромолекулярной химии : Доклады и авторефераты. - М. : Изд-во АН СССР, – 1960. – 347 с.
3. Казанский К.С., Архипович Г.Н., Афанасьева М.В., Дубровский С.А., Кузнецова В. И. Особенности набухания гидрогелей полиэтиленоксида // ВМС. Серия А. 1993. №7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-nabuhaniya-gidrogeley-polietilenoksida> (дата обращения: 02.04.2025).

Леонов Э.М., студент,  
Соловьев К.Д., магистрант,  
Кручинина Н.Е., д-р техн. наук, проф.  
(РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

## **ОПОКА ВОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ МЕДИ**

*Работа посвящена исследованию сорбционной способности опоки. Изучена изотерма адсорбции ионов меди по моделям Ленгмюра и Дубинина-Астахова. Определены статическая сорбционная емкость и характеристическая энергия адсорбции в отношении  $\text{Cu}^{2+}$ .*

*Ключевые слова: глины, сорбенты, дисперсные кремнеземы, опока, сорбция, гальваническое производство, сточные воды, тяжелые металлы.*

В последние десятилетия в условиях ужесточения экологических норм и роста стоимости водоочистных технологий у природопользователей возрастает интерес к разработке и применению сорбционных материалов для очистки сточных вод от загрязняющих веществ. Особое внимание к разработке сорбентов проявляют гальванические производства.

В результате работы гальванических производств образуются высокотоксичные сточные воды, содержащие значительные концентрации таких тяжелых металлов, как: медь, никель, цинк, хром, кадмий. Данные загрязняющие вещества в силу высокой миграционной способности и кумулятивного эффекта представляют серьезную угрозу для экосистемы даже при минимальных концентрациях.

Используемые традиционные методы, например, реагентное осаждение, ионный обмен и электрокоагуляция – зачастую не способны обеспечить необходимую степень очистки. Поэтому, в настоящее время, для доочистки сточных вод гальванических производств в основном используют активированные угли, силикагели, алюмогели [1]. Данная совокупность методов очистки позволяет достичь необходимой степени очистки, однако является экономически неэффективной.

В связи с этим особый интерес представляют природные минеральные материалы, обладающие относительно высокой сорбционной способностью, экологической безопасностью и низкой стоимостью. Согласно исследованиям, осадочные породы на основе

аморфного кремнезема обладают сорбционной способностью по отношению к тяжелым металлам [2,3]. В рамках данного исследования будет рассмотрена опока Вольского месторождения. Данный материал представляет собой минерал с микропористой структурой, включающий в себя следующие соединения:  $\text{SiO}_2$  (75-80%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (18-23%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  [4].

Водные вытяжки были приготовлены в соответствии с ГОСТ 26423-85, путем внесения 0,1 грамма исследуемого материала в модельный раствор  $\text{Cu}^{2+}$  объемом 100 миллилитров (Т:Ж=1:1000). Растворы встряхивались в течении 2 часов. По истечении времени проводилось фильтрование пробы, с последующим фотоколориметрическим определением концентрации ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в растворе в соответствии с ГОСТ 10554-2016.

При проведении анализа были получены данные для построения изотермы адсорбции (рис.1).

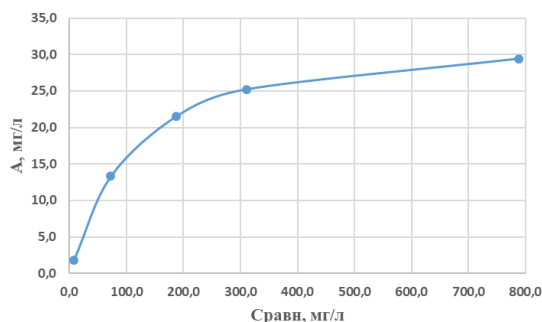


Рис. 1. Изотерма адсорбции  $\text{Cu}^{2+}$

Для определения сорбционных свойств материала были построены и проанализированы изотермы Дубинина-Астахова и Ленгмюра.

Для расчета переменных была построена изотерма адсорбции Дубинина-Астахова в линейных координатах вида  $\ln A = \ln A_{\infty} - k_{\text{др}} \epsilon^n$  (Рис. 2), где  $A$  – величина адсорбции (мг/г),  $A_{\infty}$  – предельная величина адсорбции (мг/г),  $k_{\text{др}}$  – константа ( $\text{моль}^2/\text{кДж}^2$ ),  $\epsilon$  – потенциал Поляни ( $\text{кДж/моль}$ ). Коэффициент  $n$  определен методом оптимизации и равен 1,57.

Из полученного уравнения определены характеристическая энергия адсорбции  $E$  и предельная величина адсорбции  $A_{\infty}$ , составившие 13,13 кДж/моль и 27,68 мг/г соответственно.

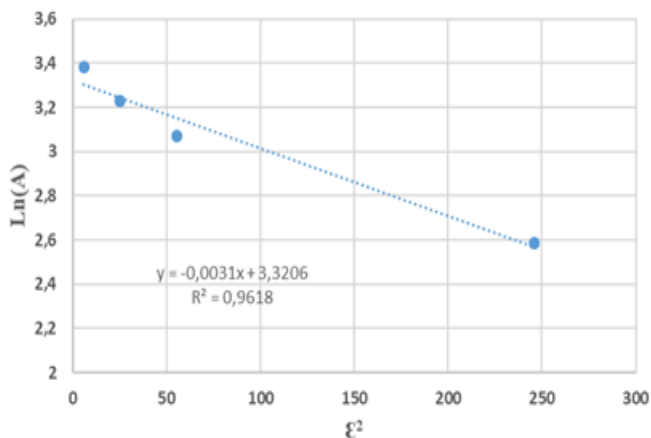


Рис. 2. Изотерма Дубинина-Астахова

Значения  $E > 8$  кДж/моль, свидетельствует о протекании сорбции по механизму хемосорбции и указывает на устойчивую фиксацию адсорбата на поверхности адсорбента. Предельная величина адсорбции достаточно высока и сорбент достаточно эффективен в процессах удаления  $\text{Cu}^{2+}$  из водных растворов.

Для расчёта переменных была построена изотерма адсорбции Лэнгмюра (Рис. 3) в линейных координатах по формуле 1,

$$\frac{C}{A} = \frac{1}{K_L A_\infty} + \frac{1}{A_\infty} C \quad (1)$$

где  $A$  – величина адсорбции (мг/г),  $A_\infty$  – предельная величина адсорбции (мг/г),  $C$  – равновесная концентрация (мг/дм³),  $K_L$  – константа адсорбционного равновесия полученного уравнения определены величина предельной адсорбции  $A_\infty$  и константа адсорбционного равновесия  $K_L$ , составившие 34,13 мг/г и 0,1 л/мг соответственно.

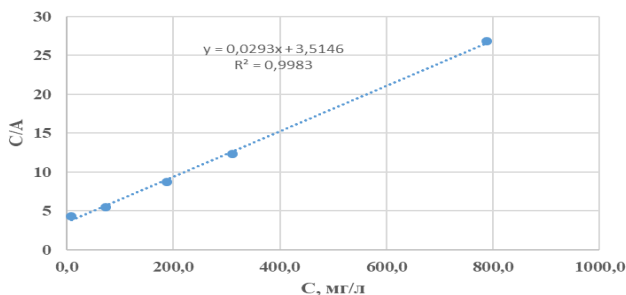


Рис. 3. Изотерма адсорбции Ленгмюра

Экспериментальные исследования показали, что в опоке преимущественным механизмом протекания адсорбции для ионов меди является хемосорбция. Характеристическая энергия адсорбции составляет 13,13 кДж/моль, что говорит об устойчивой фиксации адсорбата на адсорбенте. Таким образом, можно сделать вывод, что опока Вольского месторождения обладает высокими сорбционными свойствами в отношении  $\text{Cu}^{2+}$  и может применяться в качестве сорбента. Сорбция в отношении других тяжелых металлов требует дальнейшего исследования.

### Библиографический список

1. Зубарева Г.И., Гуринович А.В., Дёгтев М.И. Способы очистки сточных вод от катионов тяжелых металлов // Экология и промышленность России. 2008. №1. С. 18–20.
2. Никифоров А. Ф. и др. Сорбция тяжелых цветных металлов из водных растворов зернистыми фильтрующими материалами на основе кремнистых пород // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2018. – №. 2. – С. 92-108.
3. Gu S. et al. Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater: a review // Environmental Chemistry Letters. – 2019. – Т. 17. – С. 629-654.
4. Калюкова Е. Н. и др. Сорбционные свойства природных сорбентов опоки и магнезита по отношению к сульфат-ионам // Башкирский химический журнал. – 2010. – Т. 17. – №. 2. – С. 126-128.

Огнева А.Н., соискатель,  
Дмитриева Ю.А., аспирант,  
Михнев В.И., аспирант  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия)

## **СТОЧНЫЕ ВОДЫ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРОБЛЕМЫ, ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ И СТРАТЕГИИ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ**

*Аннотация. В данном обзоре рассматриваются ключевые аспекты проблемы сточных вод пищевой промышленности: Основные источники и состав загрязнений; Влияние на окружающую среду; Современные методы очистки; Экономические и экологические выгоды внедрения очистных систем; Перспективные направления в управлении сточными водами.*

Пищевая промышленность – одна из наиболее водоёмких отраслей экономики. На каждом этапе производства – от переработки сырья до мойки оборудования – образуются сточные воды с высокой концентрацией органических и химических загрязнений. Их неконтролируемый сброс приводит к серьёзным экологическим последствиям: деградации водных экосистем, загрязнению почв и даже рискам для здоровья населения.

Целью статьи является показать, что эффективная очистка стоков – это не просто соблюдение законодательных норм, а важный элемент устойчивого развития пищевой индустрии.

### **Характеристика сточных вод пищевой промышленности**

Основные источники образования.

Сточные воды пищевых предприятий формируются на различных стадиях производства:

- Мойка сырья (овощи, фрукты, мясо, рыба) – содержит взвешенные частицы, песок, остатки органики.
- Технологические процессы (варка, ферментация, экстракция) – насыщены растворимыми органическими соединениями.
- Санитарная обработка оборудования – включает моющие средства, дезинфектанты, жиры.
- Охлаждение и конденсация – могут содержать следы масел и химических реагентов.

Таблица 1 - Состав и основные загрязнители в зависимости от вида производства, стоки могут содержать:

Тип загрязнения	Примеры	Влияние на экологию
Органические вещества	Белки, жиры, углеводы	Повышают БПК/ХПК, вызывают дефицит кислорода в водоёмах
Жиры и масла	Растительные и животные жиры	Образуют плёнку на воде, нарушают газообмен
Азот и фосфор	Нитраты, аммоний, фосфаты	Провоцируют эвтрофикацию водоёмов
ПАВ и моющие средства	Синтетические тензиды	Токсичны для гидробионтов
Соли и минеральные примеси	Хлориды, сульфаты	Засоление почв и водных источников
Патогены	Бактерии, вирусы (в мясной и молочной промышленности)	Риск распространения инфекций

Особенность пищевых стоков – высокая изменчивость состава (сезонность, смена ассортимента), что усложняет процесс очистки.

#### **Экологические последствия сброса неочищенных сточных вод.**

Сброс неочищенных сточных вод пищевой промышленности в окружающую среду приводит к целому ряду негативных последствий, затрагивающих водные экосистемы, почву, атмосферу и здоровье человека. Высокая концентрация органических веществ, жиров, азотистых соединений, солей и патогенных микроорганизмов делает такие стоки особенно опасными [1]. В отличие от многих других отраслей, пищевые предприятия часто производят сточные воды с резко меняющимся составом, что усложняет их естественное разложение и увеличивает нагрузку на экосистемы. Одной из главных проблем является загрязнение водоёмов. Органические вещества, попадая в реки и озёра, становятся пищей для бактерий, которые в процессе разложения потребляют растворённый кислород. Это приводит к гипоксии – критическому снижению уровня кислорода, что вызывает массовую гибель рыбы и других водных организмов. Кроме того, жиры и масла образуют на поверхности воды плёнку, препятствующую газообмену и фотосинтезу водных растений. Дополнительную угрозу представляют биогенные элементы (азот и фосфор), провоцирующие эвтрофикацию – бурное разрастание водорослей, которые, отмирая, усиливают процесс гниения и ещё больше ухудшают состояние водоёма.

### ***Дегградация водных экосистем:***

- ***Кислородное голодание (гипоксия)*** – разложение органики микроорганизмами резко снижает уровень растворённого кислорода, что приводит к массовой гибели рыбы.

- ***Эвтрофикация*** – избыток азота и фосфора вызывает бурный рост водорослей (цветение воды), что нарушает баланс экосистем.

- ***Накопление токсинов*** – некоторые виды цианобактерий, развивающихся в загрязнённых водоёмах, выделяют опасные для человека вещества. Не менее серьёзные последствия возникают при попадании сточных вод в почву и грунтовые воды. Накопление солей, тяжёлых металлов и токсичных соединений приводит к деградации сельскохозяйственных земель, снижая их плодородие. Просачиваясь в подземные водоносные горизонты, загрязнители делают воду непригодной для питья и орошения. Кроме того, патогенные микроорганизмы из сточных вод мясоперерабатывающих и молочных предприятий могут попадать в источники питьевой воды, создавая риск вспышек инфекционных заболеваний. ***Загрязнение почвы и грунтовых вод. При попадании стоков в почву:***

- *Жиры и ПАВ снижают её проницаемость, нарушая естественный дренаж;*

- *Соли и тяжёлые металлы (из некоторых процессов консервирования) делают землю непригодной для сельского хозяйства;*

- *Нитраты проникают в подземные воды, что опасно для питьевых источников.*

Таким образом, сброс неочищенных сточных вод пищевой промышленности представляет собой многокомпонентную экологическую угрозу, требующую комплексных мер по очистке и контролю. Игнорирование этой проблемы ведёт не только к разрушению природных систем, но и к значительным экономическим потерям, включая штрафы, судебные иски и ущерб репутации предприятий.

### ***Экономические потери.***

- *Штрафы за превышение ПДК* – во многих странах санкции за несанкционированный сброс достигают сотен тысяч долларов.

- *Потеря репутации* – современные потребители всё чаще выбирают продукцию "зелёных" брендов.

- *Увеличение затрат на водопотребление* – отсутствие оборотного водоснабжения повышает расходы предприятия.



**Современные методы очистки сточных вод в пищевой промышленности.** Современные пищевые производства сталкиваются с серьезной экологической задачей - необходимостью эффективной переработки сточных вод, характеризующихся сложным многокомпонентным составом. Эти стоки содержат не только органические вещества (белки, липиды, углеводы), но и различные технологические добавки, поверхностно-активные вещества и минеральные включения. Особую сложность представляет значительная вариабельность качественного и количественного состава таких сточных вод, обусловленная сезонными колебаниями производства и изменениями ассортимента выпускаемой продукции [2].

В ответ на эти вызовы в последние годы сформировался комплексный подход к водоочистке, сочетающий проверенные временем методы с новейшими технологическими разработками. Особое внимание уделяется созданию модульных систем, способных адаптироваться к изменяющимся параметрам стоков и обеспечивающих максимальную степень очистки при минимальных эксплуатационных затратах.

Современные очистные системы строятся по принципу каскадной обработки, где последовательно применяются:

- механические способы удаления грубодисперсных примесей;
- физико-химические методы извлечения тонкодисперсных и коллоидных частиц;
- биологическую деструкцию растворенных органических соединений;
- глубокую доочистку с применением мембранных технологий.

Важной тенденцией стало внедрение рекуперационных технологий, позволяющих не только очищать сточные воды, но и извлекать из них ценные компоненты для повторного использования в производственном цикле. Это соответствует принципам устойчивого развития и концепции "зеленого" производства, получающей все большее распространение в пищевой индустрии.

#### ***Первичная (механическая) очистка.***

- *Решётки и сита – удаление крупных частиц.*
- *Песколовки – осаждение минеральных примесей.*
- *Жироуловители – отделение масел и жиров (особенно важны для мясных и молочных заводов).*

#### ***Физико-химические методы.***

- *Флотация – эффективна для удаления жиров и мелких взвесей.*

- Коагуляция и флокуляция – использование солей алюминия или железа для осаждения коллоидных частиц.

- Сорбция – применение активированного угля для удаления токсинов.

#### **Биологическая очистка.**

- Аэробные системы (активный ил, биофильтры) – разложение органики бактериями в присутствии кислорода.

- Анаэробные реакторы (UASB, метантенки) – производство биогаза из высококонцентрированных стоков.

- Мембранные биореакторы (MBR) – сочетание биологической очистки с ультрафильтрацией.

#### **Дополнительная обработка.**

Обеззараживание (УФ, озон, хлорирование) – уничтожение патогенов.

- Обратный осмос – удаление солей для повторного использования воды.

**Экономика и устойчивое развитие: почему очистка сточных вод выгодна?** В современной пищевой промышленности очистка сточных вод перестала быть исключительно экологической необходимостью – она превратилась в стратегический актив, способный генерировать реальную экономическую ценность. Этот парадигмальный сдвиг в восприятии водоочистных систем обусловлен тремя фундаментальными изменениями:

### **1. Эволюция нормативного ландшафта.**

Глобальное ужесточение экологического законодательства (Директива ЕС 2020/2184, Национальный проект "Экология" в России) трансформировало экологические обязательства из формальности в финансовые риски. Штрафные санкции за несанкционированные сбросы теперь сопоставимы с годовыми прибылями средних предприятий, а система расширенной ответственности производителей делает переработку отходов экономически обязательной.

### **2. Технологическая революция в водоочистке.**

Современные очистные комплексы – это высокотехнологичные производства, где:

- Мембранные биореакторы обеспечивают очистку до уровня питьевой воды.

- Анаэробные системы генерируют биогаз с теплотворной способностью до 25 МДж/м<sup>3</sup>.

- Ионообменные технологии извлекают фосфор и азот для производства удобрений.

### 3. Изменение рыночных приоритетов.

ESG-трансформация создала новую реальность, где: 73% инвесторов учитывают экологические показатели при принятии решений (данные McKinsey, 2023). "Зеленые" облигации позволяют привлекать финансирование под 1-2% годовых. Крупные ритейлеры (Walmart, Metro) вводят экологические критерии для поставщиков. **Скрытые экономические выгоды включают:** - *Операционную эффективность:* системы рециклинга воды снижают себестоимость продукции на 3-7%. - *Энергонезависимость:* биогазовые установки покрывают до 30% энергопотребления. - *Бренд-капитал:* экологический имидж увеличивает лояльность потребителей на 18-25% (NielsenIQ, 2024).

**Выводы и перспективные направления: стратегическая трансформация водоочистки в пищевой промышленности.**

**От экологических обязательств к конкурентным преимуществам.** Проведенный анализ демонстрирует эволюцию отношения к очистке сточных вод в пищевой промышленности – от восприятия как вынужденных экологических расходов до признания их стратегическим активом [3]. Современные реалии отрасли диктуют необходимость переосмысления традиционных подходов к водопользованию в контексте трех взаимосвязанных аспектов:

#### 1. Ресурсная эффективность.

В условиях глобального дефицита водных ресурсов и роста тарифов, замкнутые циклы водопользования становятся экономической необходимостью. Пищевые предприятия, внедрившие системы рециклинга воды, демонстрируют снижение себестоимости продукции на 5-15%, что в условиях высокой конкуренции на рынке продуктов питания представляет существенное преимущество.

#### 2. Энергетическая автономия.

Опыт ведущих мировых производителей (Nestlé, Danone, PepsiCo) подтверждает, что современные биогазовые установки позволяют покрывать до 30% энергопотребления предприятий, обеспечивая защиту от ценовых колебаний на энергоносители.

#### 3. Циклическая экономика.

Извлечение ценных компонентов (белков, жиров, углеводов) из сточных вод создает новые бизнес-модели, превращая отходы в доходные статьи. Особенно перспективными направлениями являются производство:

- Кормовых добавок из белковых фракций;
- Биоразлагаемых упаковочных материалов;

- Органических удобрений.

**Инновационные технологии очистки сточных вод в пищевой промышленности: перспективы до 2035 года.** Пищевая промышленность стоит на пороге революционных изменений в области переработки сточных вод. Отраслевые особенности производства требуют специализированных решений, учитывающих высокую концентрацию органики, сезонные колебания состава стоков и необходимость извлечения ценных компонентов. Рассмотрим ключевые технологические тренды, которые преобразят подход к водоочистке в пищевом секторе:

**1. Умные системы управления для пищевых производств.**

- Адаптивные нейросети, обученные на отраслевых Big Data, прогнозирующие нагрузку на очистные сооружения.
- Цифровые двойники, учитывающие специфику молочных, мясных и других пищевых стоков.
- Автоматизированные системы дозирования реагентов для различных видов продукции.

**2. Специализированные мембранные технологии.**

- Молокоселективные мембраны для рекуперации белков и лактозы.
- Жироустойчивые нанофильтрационные модули для мясокомбинатов.
- Ферментно-мембранные реакторы для одновременной очистки и переработки стоков.

**3. Отраслевые биотехнологические решения.**

- Штаммы-деструкторы для специфических загрязнителей (сыворожка, кровь, растительные масла).
- Каскадные биореакторы для поэтапной переработки сложных стоков.
- Микробные топливные элементы на отходах сахарных и крахмальных производств.

**4. Ресурсный потенциал пищевых стоков.**

- Технологии извлечения пищевых волокон из овощных и фруктовых отходов.
- Производство кормовых добавок из белковых фракций молочных и мясных стоков.
- Получение биоразлагаемых упаковочных материалов из отходов переработки.

**5. Энергетическая автономность предприятий.**

- Компактные биогазовые установки для переработки сырья с высокой влажностью.

- Комбинированные системы утилизации отходов пивоварен и спиртзаводов.
- Термокаталитические реакторы для переработки жиродержащих стоков. Эти инновации позволят пищевым предприятиям трансформировать очистные сооружения в высокорентабельные производственные комплексы, сочетающие экологическую безопасность с экономической эффективностью. Ключевым фактором успеха станет разработка отраслевых решений, учитывающих специфику каждого сегмента пищевой промышленности. Эти преобразования приведут к формированию принципиально новой парадигмы в пищевой промышленности, где экологическая ответственность становится драйвером экономического роста, а сточные воды - стратегическим ресурсом для создания добавленной стоимости. К 2035 году передовые предприятия смогут продемонстрировать не только рост производственных показателей, но и положительный экологический баланс своей деятельности.

**Заключение: очистка сточных вод как стратегический императив пищевой промышленности.** В современных условиях очистка сточных вод перестала быть исключительно экологической необходимостью - она превратилась в ключевой фактор устойчивого развития и конкурентоспособности пищевой промышленности. Значение эффективных систем водоочистки для отрасли невозможно переоценить по нескольким фундаментальным причинам.

**Сохранение экологического баланса.** Пищевые предприятия относятся к числу наиболее водоемких производств, формирующих значительную антропогенную нагрузку на водные экосистемы. Внедрение современных очистных технологий позволяет предотвращать эвтрофикацию водоемов, сохранять биоразнообразие водных объектов, минимизировать загрязнение почв и грунтовых вод, а также снижать углеродный след производства.

**Экономическая целесообразность.** Современные очистные системы демонстрируют впечатляющую рентабельность. Срок окупаемости передовых решений сократился до 3-5 лет, возврат инвестиций достигает 25-40% годовых, а дополнительный доход от переработки вторичных ресурсов составляет 15-30% от стоимости основного продукта.

**Ресурсная безопасность.** В условиях глобального дефицита водных ресурсов системы рециркуляции сокращают водозабор на 50-80%,

технологии нулевого сброса становятся отраслевым стандартом, а восстановленные ресурсы (вода, тепло, ценные компоненты) повышают устойчивость предприятий.

**Конкурентные преимущества.**

- Доступ к "зеленому" финансированию.
- Возможность выхода на премиальные рынки.
- Укрепление бренда и лояльности потребителей.
- Привлечение квалифицированных кадров.

Особое значение имеет региональный аспект - для многих территорий пищевые предприятия являются градообразующими, и их экологическая ответственность напрямую влияет на качество жизни населения. Внедрение современных очистных технологий позволяет создавать новые рабочие места, развивать сопутствующие производства и повышать инвестиционную привлекательность регионов. Перспективы развития отрасли до 2035 года предполагают полный переход на замкнутые циклы водопользования, трансформацию очистных сооружений в ресурсные хабы и интеграцию искусственного интеллекта в системы управления, а также создание межотраслевых симбиозов по переработке отходов. Таким образом, инвестиции в современные системы очистки сточных вод следует рассматривать не как вынужденные затраты, а как стратегические вложения в будущее пищевой промышленности. Это единственный путь, позволяющий сочетать экономическую эффективность с экологической ответственностью и социальной значимостью отрасли. Компании, осознавшие эту необходимость уже сегодня, получают неоспоримые конкурентные преимущества в ближайшем десятилетии.

**Библиографический список**

1. Иванова, А.О. Модернизация системы очистки сточных вод на предприятиях молочной промышленности / А.О. Иванова, Э.Р. Бариева, Е.В. Серазеева // Вестн. магистратуры. № 12(51). 2015. С. 63-64.
2. Писклова, О.П. Экоотоксикологический мониторинг качества сточных вод предприятий пищевой промышленности/ О.П. Писклова. Тольятти - 2015. – 40 С.
3. Шатецкая, В.А. Анализ качества очистки сточных вод предприятий молочной промышленности [Электронный ресурс]: - URL: [https://vuzlit.ru/763700/osobennosti\\_zagryazneniya\\_stochnyh\\_molochnoy\\_promyshlennosti](https://vuzlit.ru/763700/osobennosti_zagryazneniya_stochnyh_molochnoy_promyshlennosti) (дата обращения: 03.01.2019).

## **СТОЧНЫЕ ВОДЫ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: МЕТОДЫ ОЧИСТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ**

*Сточные воды молочной промышленности представляют собой сложную многокомпонентную систему, содержащую органические и неорганические загрязнители. Высокие концентрации жиров, белков, углеводов и моющих средств обуславливают необходимость разработки эффективных методов очистки. В работе рассмотрены основные характеристики молочных сточных вод, современные технологии их обработки, а также перспективные направления утилизации ценных компонентов. Особое внимание уделено комбинированным методам, сочетающим физико-химические и биологические процессы.*

*Ключевые слова: молочная промышленность, розлив продукции,*

Молочная промышленность является одним из ключевых секторов пищевой индустрии, однако её деятельность сопровождается образованием значительных объёмов сточных вод. Эти стоки характеризуются высокой концентрацией органических веществ (БПК, ХПК), жиров, белков, лактозы и остатков моющих средств, что делает их опасными для окружающей среды [1].

Эффективная очистка сточных вод молочных предприятий требует комплексного подхода, включающего механическую, физико-химическую и биологическую обработку. Кроме того, перспективным направлением является извлечение ценных компонентов (например, белковых соединений) для дальнейшего использования.

### **Характеристика сточных вод молочной промышленности.**

Сточные воды молочных заводов образуются на различных этапах производства: мойка оборудования, переработка молока, розлив продукции. Их состав варьируется в зависимости от типа производства, но основные загрязнители включают:

- Органические вещества (БПК<sub>5</sub> — 1000–5000 мг/л, ХПК — 2000–10 000 мг/л);
- Жиры (50–1000 мг/л);
- Белки и углеводы (лактоза — до 2000 мг/л);
- ПАВ (поверхностно-активные вещества из моющих средств);

- Азот и фосфор (в результате разложения белков).

Таблица 1 - Характеристика сточных вод молочных предприятий

Параметр	Диапазон концентраций	Основные источники загрязнения
БПК <sub>5</sub> (мг/л)	1000–5000	Органика (белки, жиры, лактоза)
ХПК (мг/л)	2000–10 000	Органические соединения, ПАВ
Жиры (мг/л)	50–1000	Молочные сливки, масло
Общий азот (мг/л)	30–200	Белки, моющие средства
Фосфор (мг/л)	10–100	Моющие средства, органические остатки
pH	6.0–9.5	Кислотно-щелочные колебания
Взвешенные вещества (мг/л)	200–2000	Твёрдые частицы, осадки

Такие стоки обладают высокой биологической активностью, что может приводить к быстрому истощению кислорода в водоёмах и гибели гидробионтов.

Применяют следующие методы очистки сточных вод:

Механическая очистка. Первичная обработка включает:

- Фильтрацию (удаление крупных частиц);
- Отстаивание (седиментация жиров и взвешенных веществ);
- Флотацию (всплывание жировых частиц с помощью воздуха).

Эти методы позволяют снизить нагрузку на последующие этапы очистки.

Физико-химические методы.

Для удаления коллоидных и растворённых загрязнителей применяются:

- Коагуляция и флокуляция (использование солей алюминия, железа или полимерных реагентов);
- Сорбция (активированный уголь, природные сорбенты);
- Мембранные технологии (ультрафильтрация, обратный осмос).

Мембранные методы особенно перспективны, так как позволяют концентрировать ценные компоненты (белки, лактозу) для повторного использования.

Биологическая очистка.

Основные методы:

- Аэробная очистка (активный ил, биореакторы);
- Анаэробная очистка (метантенки, UASB-реакторы).

Анаэробные технологии эффективны для высококонцентрированных стоков, так как позволяют получать биогаз (метан).



Комбинированные методы.

Наиболее эффективны схемы, сочетающие несколько этапов, например:

1. Механическая фильтрация → коагуляция → аэробная очистка → мембранное разделение.
2. Флотация → анаэробное сбраживание → доочистка в биопрудах.

Таблица 2 - Сравнительная эффективность методов очистки (%)

Метод очистки	Удаление БПК	Удаление жиров	Удаление азота
Механическая (фильтрация, отстаивание)	10–30%	40–60%	<10%
Коагуляция/флокуляция	50–70%	70–90%	20–40%
Аэробная биологическая	85–95%	60–80%	50–70%
Анаэробная биологическая	70–90%	50–70%	30–50%
Мембранные технологии (обратный осмос)	95–99%	95–99%	80–90%

Из сравнительных характеристик следует:

- Механические методы эффективны для предварительной очистки.
- Коагуляция значительно снижает содержание жиров и коллоидных частиц.
- Биологические методы обеспечивают глубокую деградацию органики, но требуют дополнительной доочистки.
- Мембранные технологии наиболее эффективны, но энергозатратны.

1. Для высоких нагрузок оптимально сочетание коагуляции и анаэробного сбраживания.

2. Для глубокой очистки требуются мембранные или аэробные технологии.

3. Экономически выгодные схемы включают предварительную механическую обработку + биологические стадии.

Данные могут варьироваться в зависимости от конкретного производства и применяемых реагентов.

### **Перспективы утилизации и рекуперации ресурсов.**

Современные тренды направлены на минимизацию отходов и извлечение полезных компонентов:

- Получение биогаза из органики (метантенки);
- Выделение белков и лактозы для пищевых и кормовых добавок;
- Использование очищенной воды в оборотных системах.

Таким образом

1. Сточные воды молочной промышленности характеризуются высокой органической нагрузкой, что требует многоступенчатой очистки.
2. Наиболее эффективны комбинированные методы, включающие физико-химическую и биологическую обработку.
3. Перспективным направлением является утилизация ценных компонентов (белков, жиров, биогаза), что соответствует принципам экономики замкнутого цикла.
4. Внедрение современных мембранных и анаэробных технологий позволяет снизить экологическую нагрузку и повысить рентабельность производства.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию существующих методов и разработку новых экономически выгодных решений для переработки молочных стоков.

Объёмы сточных вод в молочной промышленности:  
структура, источники образования и методы сокращения

Молочная промышленность является одним из крупнейших потребителей воды в пищевом секторе, что приводит к образованию значительных объёмов сточных вод. В работе проведён анализ структуры водопотребления и водоотведения на молочных предприятиях, рассмотрены основные источники загрязнённых стоков, а также предложены методы сокращения их объёмов. Особое внимание уделено технологиям оборотного водоснабжения, повторного использования воды и оптимизации производственных процессов [2].

Молочная промышленность – водоёмкая отрасль, требующая больших объёмов воды для мойки оборудования, пастеризации, охлаждения продукции и других технологических процессов. В зависимости от типа производства (сыры, йогурты, сухое молоко и т. д.) удельное водопотребление варьируется от 5 до 20 м<sup>3</sup> на 1 тонну переработанного молока. При этом до 80–90% использованной воды превращается в сточные воды, содержащие органические и неорганические загрязнители. Их объёмы и состав зависят от:

- типа выпускаемой продукции,
- применяемых технологий мойки,
- степени автоматизации производства,
- наличия систем оборотного водоснабжения.

В данной работе рассматриваются:

- структура водопотребления на молочных заводах,
- объёмы сточных вод по видам производств,

- методы сокращения сбросов за счёт внедрения ресурсосберегающих технологий.

Структура водопотребления в молочной промышленности.

Водопотребление на предприятиях молочной отрасли отличается высокой интенсивностью и сложной структурой, что обусловлено многостадийностью технологических процессов и строгими санитарно-гигиеническими требованиями. Вода используется не только как компонент продукции, но и как важнейший ресурс для обеспечения чистоты оборудования, охлаждения и дезинфекции.

Анализ структуры водопотребления позволяет выявить ключевые направления использования воды, определить потенциальные точки её экономии и разработать стратегии сокращения объёмов сточных вод. В данном разделе рассматриваются:

- основные статьи расхода воды на молочных предприятиях,
- удельные показатели водопотребления для различных видов продукции,
- факторы, влияющие на колебания объёмов водопользования.

Понимание этих аспектов необходимо для внедрения ресурсосберегающих технологий и перехода к более устойчивым моделям производства в молочной промышленности.

Основные направления использования воды.

Вода в молочной промышленности играет критически важную роль, участвуя как в технологических процессах, так и в обеспечении санитарных норм производства. Её расход варьируется в зависимости от типа продукции и применяемых технологий, однако можно выделить четыре ключевых направления использования:

1. Технологические процессы (пастеризация, охлаждение, разведение компонентов) –30–50%.
2. Мойку оборудования и тары –40–60%.
3. Санитарно-гигиенические нужды –5–10%.
4. Котёл-утилизацию и вспомогательные системы –5–15%.

При этом до 80–90% использованной воды переходит в сточные воды, что делает оптимизацию водопотребления ключевым фактором снижения экологической нагрузки и себестоимости продукции.

Удельные показатели водопотребления.

В молочной промышленности нормы водопотребления существенно варьируются в зависимости от вида выпускаемой продукции и применяемых технологических процессов. Эти показатели являются

важнейшими критериями для оценки эффективности использования водных ресурсов и разработки мероприятий по их экономии.

Наибольшие удельные расходы воды характерны для производств:

- сухого молока (12-20 м<sup>3</sup>/т сырья)
- сыров (8-12 м<sup>3</sup>/т)

что связано с многостадийностью технологических процессов и необходимостью интенсивной мойки оборудования.

Для жидких молочных продуктов (пастеризованное молоко, йогурты) показатели ниже (5-10 м<sup>3</sup>/т), однако и здесь существуют резервы для оптимизации, особенно в части моечных операций.

Разброс значений объясняется такими факторами как:

- степень автоматизации производства
- применяемые системы очистки оборудования
- наличие замкнутых водных циклов
- качество исходного сырья

Мониторинг этих показателей позволяет предприятиям выявлять нерациональные расходы воды и внедрять современные ресурсосберегающие технологии.

Таблица 3 - Объёмы сточных вод

Продукция	Удельное водопотребление (м <sup>3</sup> /т молока)	Объём сточных вод (м <sup>3</sup> /т)
Пастеризованное молоко	5–8	4–7
Сыр	8–12	7–10
Йогурт	6–10	5–8
Сухое молоко	12–20	10–16

Источники образования сточных вод.

Сточные воды молочных предприятий формируются на различных стадиях производственного цикла и отличаются неоднородным составом, определяющим сложность их последующей очистки. Характерной особенностью таких стоков является высокая концентрация органических компонентов – белков, жиров, углеводов, – а также остатков моющих и дезинфицирующих средств.

Основные потоки загрязнённых вод возникают при:

- технологических операциях переработки молока,
- санитарной обработке оборудования и производственных помещений,
- вспомогательных процессах (охлаждение, конденсация).

Идентификация ключевых источников сточных вод позволяет разрабатывать адресные решения по сокращению их объема и снижению загрязняющей нагрузки, что особенно важно в условиях ужесточающихся экологических нормативов и требований к ресурсосбережению.

Основные технологические потоки сточных вод.

Сточные воды молочного производства формируются в результате различных технологических операций, каждая из которых вносит свой вклад в общий состав и объем загрязненных стоков. Характерной особенностью этих потоков является их неоднородность - как по физико-химическим параметрам, так и по степени воздействия на окружающую среду.

Можно выделить три ключевых категории технологических потоков:

1. Высококонцентрированные стоки (до 60% общего объема):

- Остатки молочного сырья после производственных циклов
- Промывные воды оборудования (СР-мойка)
- Дренажные воды при производстве сыров и творога

2. Умеренно загрязненные воды (25-35%):

- Охлаждающие жидкости
- Конденсаты пастеризации
- Воды от мойки транспортной тары

3. Условно чистые стоки (10-15%):

- Воды систем охлаждения
- Ливневые стоки с производственных площадок
- Хозяйственно-бытовые воды

Особого внимания требуют СР-стоки, которые, составляя до 40% общего объема, содержат до 70% органических загрязнений предприятия. Их состав варьируется в зависимости от типа применяемых моющих средств, частоты санитарной обработки и конструктивных особенностей оборудования. Понимание специфики каждого технологического потока позволяет разрабатывать эффективные системы локальной очистки и внедрять принципы дифференцированного управления сточными водами на предприятии [3]. Сезонные колебания объёмов сточных вод. Производственная деятельность молочных предприятий подвержена выраженным сезонным колебаниям, что напрямую отражается на объёмах и составе образующихся сточных вод. Эта динамика обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов, требующих особого внимания при проектировании систем водоотведения и очистки.

Наибольшие колебания наблюдаются между летним и зимним периодами. Летний сезон (май-сентябрь) характеризуется пиковыми нагрузками (+15-25% к средним показателям) в связи с увеличением производства охлаждённой продукции, интенсивной работой холодильного оборудования и расширением ассортимента скоропортящихся изделий.

Зимний период (октябрь-апрель) демонстрирует снижение водопотребления на 10-20% благодаря сокращению выпуска отдельных видов продукции, уменьшению потребности в охлаждении, а также стабилизации температурных режимов производства.

Такая цикличность требует от предприятий гибкого управления мощностями очистных сооружений, сезонной корректировки технологических регламентов и разработки адаптивных систем мониторинга.

Учёт сезонного фактора позволяет оптимизировать эксплуатационные затраты и минимизировать экологическую нагрузку в течение всего годового цикла работы предприятия.

**Заключение.** Проведённый анализ водопотребления и водоотведения в молочной промышленности позволяет сделать ряд принципиально важных выводов, имеющих как технологическое, так и экологическое значение. Молочная отрасль демонстрирует характерную особенность - высокую водоёмкость производственных процессов, где до 90% используемой воды трансформируется в сточные воды различной степени загрязнённости. Ключевые положения исследования можно структурировать по трём направлениям:

1. Структурные особенности водопотребления:

- Установлена чёткая корреляция между видом выпускаемой продукции и удельным водопотреблением (от 5 м<sup>3</sup>/т для жидких продуктов до 20 м<sup>3</sup>/т для сухого молока).
- Выявлено доминирующее значение моечных операций (50-60% общего расхода воды).
- Обнаружены существенные сезонные колебания (до 25%) в объёмах стоков.

2. Источники образования стоков:

- Определены три основных технологических потока сточных вод с различной степенью загрязнения.
- Установлено, что СІР-мойка даёт до 60% общего объёма при 70% органической нагрузки.

- Выявлены особенности образования конденсатов и охлаждающих вод как потенциального ресурса для рециклинга.

### 3. Перспективы оптимизации:

- Доказана экономическая и экологическая эффективность внедрения замкнутых водных циклов.

- Обоснована необходимость дифференцированного подхода к очистке различных потоков сточных вод.

- Показана перспективность цифровизации систем мониторинга водопотребления. Особое значение имеет вывод о том, что современные технологии позволяют сократить водопотребление в отрасли на 30-40% без ущерба для качества продукции. Это достигается за счёт:

- внедрения ресурсосберегающих моечных комплексов,

- использования мембранных технологий для регенерации воды,

- оптимизации температурных режимов производства,

- применения принципов "зелёной" химии в санитарной обработке.

Перспективными направлениями дальнейших исследований видятся:

1. Разработка адаптивных систем очистки для различных типов производств.

2. Создание экономических моделей внедрения ZLD-технологий.

3. Цифровая оптимизация водопотребления на основе IoT и AI.

Практическая значимость проведённого анализа заключается в том, что он предоставляет предприятиям отрасли научно обоснованный инструментарий для перехода на ресурсосберегающие модели производства, соответствующие принципам устойчивого развития и требованиям ESG-стандартов.

### **Библиографический список**

1. Алимова, А.Ф. Технологическое решение по совершенствованию системы очистки жиросодержащих сточных вод / А.Ф. Алимова, Э.Р. Бариева // Вестник магистратуры 12(39). 2014. 46-48 с.

2. Иванова, А.О. Модернизация системы очистки сточных вод на предприятиях молочной промышленности / А.О. Иванова, Э.Р. Бариева, Е.В. Серазеева // Вестн. магистратуры. № 12(51). 2015. С. 63-64.

3. Очистные сооружения молокозавода [Электронный ресурс]. — URL: <https://student2.ru/fiziologiya/1666091-osnovnye-metody-ochistki-stochnykh-vod/> (дата обращения: 10.02.2019).

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА ШЕБЕКИНО**

*Проведен анализ текущего состояния очистных сооружений города Шебекино, выявление основных проблем и разработка предложений по их интенсификации. В рамках исследования были рассмотрены современные технологии и методы повышения эффективности очистки сточных вод, а также оценены возможные экономические и экологические последствия их внедрения.*

*Ключевые слова: интенсификация, сточные воды, экологические последствия*

Современные города сталкиваются с растущими вызовами в области экологии и устойчивого развития, среди которых одной из ключевых проблем является эффективное управление водными ресурсами.

Очистные сооружения играют важнейшую роль в обеспечении экологической безопасности, предотвращении загрязнения водоемов и сохранении здоровья населения.

В условиях роста урбанизации и увеличения антропогенной нагрузки на окружающую среду возникает необходимость в интенсификации работы очистных сооружений, что позволяет повысить их производительность, улучшить качество очистки сточных вод и снизить эксплуатационные затраты.

Город Шебекино, как и многие другие населенные пункты, сталкивается с проблемами устаревания инфраструктуры очистных сооружений, а также с увеличением объемов сточных вод, связанных с развитием промышленности и ростом численности населения.

В связи с этим актуальным становится вопрос модернизации и интенсификации работы очистных сооружений города, что позволит не только соответствовать современным экологическим стандартам, но и обеспечить устойчивое развитие региона в долгосрочной перспективе [1].

Очистные сооружения – важный элемент инфраструктуры любого города, играющий ключевую роль в охране водных ресурсов и экологической безопасности.



В городе Шебекино задача интенсификации очистных процессов становится особенно актуальной на фоне растущих объемов сточных вод.

Основной целью интенсификации является повышение эффективности очистки, снижение системных затрат и минимизация негативного воздействия на окружающую среду [2].

Применение современных технологий, таких как биологические реакторы с активным илами, мембранные фильтрационные системы и системы контроля качества сточных вод, позволяет увеличить степень очистки до требуемых нормативов.

Важно также внедрение автоматизированных систем управления, что обеспечивает оптимизацию процессов и мониторинг в реальном времени.

Непрерывное совершенствование и модернизация очистных сооружений Шебекино неизменно приведут к улучшению санитарно-эпидемиологической обстановки, повышению качества жизни населения и сохранению природных ресурсов для будущих поколений. Комплексный подход и инвестиции в технологии – залог успешной интенсификации очистных процессов [2,3].

Очистные сооружения в сетях водопровода и канализации призваны очищать воду и доводить её до требуемых параметров. Кроме питьевой воды, очистке подвергаются стоки разного назначения с территории города и предприятий. Очистные сооружения Шебекинского городского округа функционируют долгое время [4].

При реконструкции системы водоотведения или водоснабжения служба эксплуатации должна предоставить подробный план территории площадки предприятия или населенного пункта с указанием трассировок и диаметров самотечных и напорных трубопроводов, указанием границ согласованной санитарно-защитной зоны или зоны санитарной охраны. Также требуется определение объема фактической и расчетной производительности требуемого объема очистки.

Для очистных сооружений канализации важно определение, согласование точки слива, выпуска очищенных сточных вод.

Очистка хозяйственно-бытовых сточных вод малых производственных объектов, частных фермерских хозяйств и частных домов, как правило выполняется локальными установками автономной очистки или собирается в септики с последующим вывозом и утилизацией [5,6].

Очистные сооружения города состоят из следующих сооружений

(табл.1):

Очистные сооружения находятся под управлением ГУП «Белводоканал».

Таблица 1 - Очистные сооружения города

Очистные сооружения водопровода	Водопроводные очистные сооружения: Очистка и обеззараживание
Очистные сооружения канализации (ОСК)	Городские очистные сооружения канализации – 150 тыс. м <sup>3</sup> /сутки.
	Состав: решетки и песколовки; первичные отстойники; аэротенки 4-х коридорные; вторичные отстойники; воздуховодные станции; цех механического обезвоживания осадка; установки обеззараживания.

При реконструкции систем и сооружений водоотведения невозможно использовать типовые решения, которые обычно применяются в практике проектирования. Реконструкция – процесс, требующий творческих нестандартных решений, экономической и экологической оценки принимаемых решений.

Основной принцип реконструкции – снижение вложений в капитальное строительство и максимальное использование существующих сооружений [7–10]. Внедрение современных технологий при реконструкции очистных сооружений требует проведения сложных, трудоёмких предварительных исследований и анализа сложившейся ситуации.

Предварительные обследования и мониторинг работы очистных сооружений являются отправной точкой для разработки предпроектных решений и рабочей документации для объектов водоотведения.

Перспективным направлением в реконструкции очистных сооружений является реализация идеи «зарегулирования канализационного стока» для снижения коэффициента неравномерности притока сточных вод на очистные сооружения и обеспечения равномерной нагрузки на сооружения.

### Библиографический список

1. Иванов А.А., Петров В.В. "Современные методы интенсификации работы очистных сооружений". // Экология и промышленность России. – 2020. – № 5. – С. 45-50.
2. Сидоров С.С. "Технологии повышения эффективности очистки сточных вод в малых городах". // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 3. – С. 12-18.
3. Кузнецова Е.В. "Экологические аспекты модернизации очистных сооружений в г. Шебекино". // Экология урбанизированных территорий. – 2021. – № 2. – С. 34-40.
4. Василенко Л.В., Никифоров А.Ф., Лобухина Т.В. Методы очистки промышленных сточных вод / учебное пособие, – Екатеринбург: ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2009. – 174 с.
5. Мязин В.П. Методы очистки сточных вод: учебное пособие, 2011. – 153 с.
6. Лебедик Е.А. Автоматизированная система управления качеством воды предприятий: Санкт-Петербург, 2016. – 131 с.
7. Зимовина Н.А. Сточные воды на производстве / учебник для вузов, 2020. – 123 с.
8. Вовк Н.Е., Попов Ф.У., Шинкоренко С.Ф. Внедрение технологии для очистки сточных вод. – Бюл.: ин-та Черметинформация, 1974 г., №2.
9. Новиков А.В. Улучшение качества природных и очистка сточных вод: учебное пособие / А.В. Новиков, Ю.Н. Женихов. Ч. 1 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2006. – 112 с.
10. Сариллов М.Ю. Повышение эффективности очистки сточных вод / учебное пособие, 2018. – 71 с. Саломеев В.П. Реконструкция и модернизация очистных сооружений водоотведения в Московской области// Химическое машиностроение и инженерная экология, - Известия 206 МГТУ «МАМИ» № 3(17), 2013, т. 2, С. 205-211.

## УДАЛЕНИЕ ИОНОВ МЕДИ ИЗ СБРОСНОЙ ВОДЫ ТЭЦ ИННОВАЦИОННЫМИ РЕАГЕНТАМИ

*Исследованы катиониты КУ-2-8 ( $H^+$  и  $Na^+$ -формы) и бруситсодержащий отход, разрушающие фосфоновые комплексы и удаляющие медь из воды с эффективностью до 99,6% для КУ-2-8 ( $H^+$ -форма) и 97,9% для бруситсодержащего отхода при pH 10,5.*

*Ключевые слова: бруситсодержащий отход, комплексный титансодержащий реагент*

В настоящее время все более актуальной проблемой в сфере оборотных систем водоснабжения является солеобразование и биообрастание сетей трубопроводов и технологического оборудования (ТЭЦ, градирни и т.д.). В связи с тем, что вода является основным теплоносителем, основную потребность в ней закрывают природными водами из поверхностных или подземных источников. В связи с тем, что для нужд предприятий энергетической промышленности требуются колоссальные объемы подготовленной воды, используемой в водооборотных циклах, периодически приходится сбрасывать часть отработанной воды и подпитывать свежей. Солеотложения и биокоррозия могут значительно снизить эффективность эксплуатацию оборудования, что приводит к аварийным остановкам, и к существенному повышенному расходу потребляемой воды [1]. В случае солеотложений в виде нерастворимых соединений кальция и магния (соли жесткости) существует ряд уже апробированных и подтверждённых свою эффективность технологий и реагентов, в частности, применение агентов на основе фосфоновых кислот и их производных. Для борьбы с биоотложениями используют соединения хлора, биоцидные комплексы или сульфат меди (медный купорос). Распространённость применения солей меди обусловлена менее выраженной коррозионной активностью по сравнению с соединениями хлора и большому времени эксплуатации технологического оборудования ТЭС и ТЭЦ. Принцип биоцидного действия солей меди заключается в олигодинамическом свойстве, позволяющим ионам металла проникать через оболочку клетки микроорганизма с

последующим разрушением внутриклеточного вещества и нарушением обмена веществ. Чаще всего, медный комплекс с ОЭДФ образуется при смешении сбросной медьсодержащей воды и промывных вод с процесса удаления накипи (комплексобразователь ОДФК) [2]. Ввиду того, что в сбросных водах водооборотного цикла содержатся растворимые комплексы меди с ОЭДФ более десятков мг/дм<sup>3</sup>, превышающие нормативы сброса в водные объекты или городской коллектор, требуется организация природоохранных мероприятий – строительство локальных очистных сооружений [3]. Необходимость локальной очистки сбросной воды обусловлена высокими платежами за сверхлимитный сброс, которые могут превышать десятки млн. руб. Технологии удаления соединений меди, не связанных в фосфоновые комплексы достаточно просты, эффективны и давно известны и, как правило, представлены [4]: реагентным осаждением меди в форме нерастворимых соединений (гидроксид, карбонат и др.); ионным обменом; сорбционными процессами; баромембранными методами (обратный осмос). Однако, когда речь заходит об удалении фосфоновых комплексов меди, многие предприятия сталкиваются с проблемой деструкции подобных комплексов, требующие повышенных реагентных затрат, связанных с высоким расходом окислителей и деструкторов с последующим удалением ионов-меди [5-6]. Поэтому поиск методов удаления фосфоновых комплексов меди из сбросных вод, направленных на снижения реагентных затрат является актуальным направлением исследований. В качестве альтернативы традиционным методам можно выделить применение отхода производства огнеупорных материалов – брусита. Множество исследований повреждают эффективность реагентов на основе брусита в процессах удаления тяжелых металлов из сточных вод. Благодаря развитой сорбционной поверхности на поверхности бруситсодержащего отхода протекают несколько процессов: ионный обмен и хемосорбция, повышающие эффективность очистки [7]. Внедрение брусита (отхода) в технологический цикл очистки сбросных вод значительно сокращает реагентные расходы на приобретение и использование синтетических ионнообменных материалов, и позволяет реализовать концепцию вторичного использования отходов производств. Ввиду этого, целью данной работы является исследование возможности снижения содержания меди в сбросных водах ТЭЦ с использованием бруситсодержащего отхода.

**Материалы и методы исследования.** В качестве объекта исследований выступали: отработанная вода из водооборотного цикла станции ТЭЦ Московской области, содержащая ионы меди и оксизтилендифосфоновую кислоту (ОЭДФ). Содержание: Cu (II) 50,0 мг/дм<sup>3</sup>, ОЭДФ 450,0 мг/дм<sup>3</sup>. Сильнокислотный катионит КУ-2-8 в Na<sup>+</sup>- и H<sup>+</sup>-формах. Вторичный продукт производства огнеупорных материалов – брусит. Оксихлорид алюминия (7,5% в пересчете на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); Комплексный титансодержащий коагулянт [8]. Подготовку катионитов к лабораторным исследованиям проводили в соответствии с ГОСТ 10896-78. Остаточные концентрации ионов меди в воде определяли в соответствии с ГОСТ 1293.2-83 [9]. Остаточное содержание ОЭДФ определяли методом спектроскопии индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрической расшифровкой (ИСП-МС). Статическую емкость ионообменных материалов определяли при соотношении Т:Ж равном 1:100, при этом навески воздушно-сухого катионитов составляли по 1 г и добавляли 100 мл стандартного раствора меди и выдерживали в статических условиях 5 суток. Эффективность процесса ионного обмена определяли по содержанию ионов меди до и после ионного обмена. Проведение исследований на реальной сбросной воде при Т:Ж равном 1:100. Объем сточной воды 100 мл; навеска сорбента 1г; pH варьировали от 3 до 10,5.

**Обсуждение результатов.** Как видно данных, представленных в таблицах 1-2, остаточное содержание комплексона ОЭДФ не изменяется только в случае применения катионита КУ-2-8, но при этом остаточные количества ионов меди снижается. Данное явление объясняется тем, что исследуемые катиониты разрушают комплексы меди и ОЭДФ с последующим связыванием ионов металла. Однако, зафиксировано снижение содержания комплексона ОЭДФ (до 5 %) в случае применения бруситсодержащего отхода. Сорбцию ОЭДФ бруситсодержащим отходом подтверждают остаточные количества ионов меди после контакта с обрабатываемой водой (табл.1).

Таблица 1 - Извлечение ионов меди (II) на катионитах при различных pH

Сорбент	Ост. содер. меди, мг/дм <sup>3</sup>	Сорбционная емкость мг/г	Степень извлечения, %
<b>pH = 3,0</b>			
КУ-2-8 Н <sup>+</sup>	0,22	9,65	99,56
КУ-2-8 Na <sup>+</sup>	2,14	9,33	95,72
Бруситсодержащий отход	41,23	9,54	17,54
<b>pH = 8</b>			

КУ-2-8 Н <sup>+</sup>	0,451	9,63	99,09
КУ-2-8 Na <sup>+</sup>	25,14	4,55	49,72
Бруситсодержащий отход	11,57	9,55	76,86
<b>pH = 10,5</b>			
КУ-2-8 Н <sup>+</sup>	0,348	9,95	99,30
КУ-2-8 Na <sup>+</sup>	21,03	5,75	57,94
Бруситсодержащий отход	1,057	9,76	97,9

Показано, что натриевая форма катионита КУ-2-8 обладает меньшей ионнообменной способностью по сравнению с Н<sup>+</sup>-формой вне зависимости от pH. Однако в кислой среде натриевая форма демонстрирует большую эффективность ионного обмена (почти в 2 раза) по сравнению со слабощелочной и щелочной средой. Установлено, что применение бруситсодержащего отхода в кислой среде практически не удаляет ионы меди, что может быть связано с частичным растворением матрицы катионита, и как следствие значительной потерей активных сорбционных и ионнообменных свойств. Несмотря на это, повышение эффективности удаления ионов меди наблюдается с ростом pH и достигает максимального значения равного 97,9%. Рост эффективности применения бруситсодержащего отхода в щелочной области объясняется частичным растворением соединений магния, входящих в состав катионита, и как следствие, повышение ионнообменных свойств. Применения катионообменных материалов продемонстрировала высокую эффективность удаления ионов меди из сбросных вод, однако, остаточные концентрации меди все еще превышают нормативы на сброс в канализацию или водоем. Возможным решением является доочистки коагуляционными методами с применением инновационных комплексных реагентов.

Таблица 2 - Содержание ОЭДФ в воде после сорбции на катионитах

Сорбент	Остаточное содержание ОЭДФ, мг/дм <sup>3</sup>		
	pH 3	pH 3	pH 10,5
КУ-2-8 Н <sup>+</sup>	499,67	500,35	499,34
КУ-2-8 Na <sup>+</sup>	500,61	499,47	500,71
Бруситсодержащий отход	497,54	491,28	473,13

Апробацию коагуляционной доочистки проводили на предварительно обработанной воде катионитами при pH 10,5. Содержание ионов меди составило 0,349 мг/дм<sup>3</sup>. Дозы комплексного коагулянта варьировали от 15-50 мг/дм<sup>3</sup> (в пересчете на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Эффективность коагуляционной очистки определяли по остаточному

содержанию ионов меди в надосадочной части. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Остаточное содержание ионов меди (мг/дм<sup>3</sup>) после коагуляционной доочистки

Реагент	Доза реагента (в пересчете на Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>			
	15	25	35	50
Оксихлорид алюминия	0,288	0,153	0,11	0,095
Комплексный титансодержащий коагулянт	0,254	0,120	0,067	0,0048

На основании данных таблицы 3 установлено, что применение комплексного титансодержащего коагулянта позволяет достичь нормативов на сброс по остаточному содержанию меди в очищенной воде. Показано, что эффективность снижения титансодержащим реагентом ионов меди превосходит при аналогичных дозах традиционный оксихлорид алюминия практически в 2 раза.

**Выводы.** В рамках проведенных исследований были сформулированные следующие выводы:

1. Исследуемые катионнообменные смолы продемонстрировали свою эффективность удаления ионов меди.

2. Доказано, что применением катионита КУ-2-8 позволяет разрушить комплексы меди и ОЭДФ. Применение катионита КУ-2-8 в Н<sup>+</sup>-форме демонстрирует наибольшую эффективность удаления ионов меди (99,56%) по сравнению с ее натриевой формой во всех исследуемых диапазонах рН.

3. Показано, что повышение эффективности удаления ионов меди из воды при использовании бруситсодержащего отхода наблюдается в случае повышения рН системы и достигает максимального значения (в рамках данной работы) 97,9% при рН равном 10,5.

4. Установлено, что применение комплексного титансодержащего коагулянта на стадии доочистки позволяет достичь требуемых нормативов на сброс по остаточному содержанию ионов меди при меньших расходах по сравнению с традиционным оксихлоридом алюминия.

### Библиографический список



1. Комплексоная водоподготовка в малых водооборотных системах охлаждения, Канд. Техн. Наук О. А. ПИНЧУК1,2, канд. Физ.-мат. Наук А. Ф. Костко
2. Дергачева Т.С. Обоснование предельно допустимой концентрации медьаммонийного комплекса оксиэтилендифосфоновой кислоты в воде водоемов // Гигиена и санитария. – 1981. – с. 72.
3. Фокина А. И. и др. Исследование закономерностей биоаккумуляции меди представителями автотрофных и гетеротрофных организмов / Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2015 – №. 6 (151). – С. 50-55.
4. Акимов И. И., Хохлова Е. Ф. Очистка сточных вод от меди методом реагентного осаждения // Союз машиностроителей России. Национальная научно-техническая конференция. – Общество с ограниченной ответственностью «Издательский дом «Камертон», 2024. – №. 5. – С. 21-23.
5. Оценка эффективности методов очистки сточных вод гальванического производства от аммиачно-тарtratных комплексов меди (II) / А. Б. Фадеев, Е. Н. Кузин, Н. Е. Кручинина [и др.] // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. – 2020. – № 5(92). – С. 97-108.
6. Кузин, Е. Н. Оценка возможности использования комплексных титансодержащих коагулянтов в процессах очистки сточных вод от соединений меди / Е. Н. Кузин // Цветные металлы. – 2022. – № 9. – С. 44-49.
7. Кузин, Е. Н. Получение комплексных титансодержащих коагулянтов методом химической дегидратации / Е. Н. Кузин, Н. Е. Кручинина // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2022. – Т. 65, № 5. – С. 103-111.
8. П. И. Чернышев, Н. Е. Кручинина, В. А. Панфилов, Е. Н. Кузин. Использование адсорбента-катионита АТМ-1 в процессах удаления металлов из природных и сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – № 4. – С. 14-18.
9. Кузин, Е. Н. Применение метода атомно-эмиссионной спектроскопии с СВЧ (магнитной) плазмой в процессах идентификации химического состава отходов сталеплавильного производства / Е. Н. Кузин // Черные металлы. – 2022. – № 10. – С. 79-82.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНУЛ ИЛА ПОСЛЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В КАЗАНИ

*В статье рассматривается анализ ила, получаемого после очистки сточных вод. Ил обладает рядом свойств, позволяющих улучшить состояние почвы и повысить ее плодородие, что делает его ценным ресурсом для экологически устойчивого управления отходами.*

*Ключевые слова: очистка сточных вод, гранулы ила, результаты очистки, термомеханическая очистка, спектральный анализ, кислотность, тяжелые металлы.*

Современные подходы к очистке сточных вод всё чаще предусматривают термомеханическую переработку, в результате которой образуется осадок в виде ила.

Вопрос его эффективного и безопасного применения остаётся важным как с экологической, так и с экономической точек зрения.

Учитывая рост объёмов иловых отходов и их богатый состав (органические вещества, минеральные компоненты), поиск способов их вторичного использования представляется перспективным[1].

Основные направления утилизации включают рекультивацию нарушенных земель, применение в лесном и сельском хозяйстве.

После термомеханической обработки ил может выступать источником питательных элементов и улучшать почвенную структуру, способствуя восстановлению экосистем и повышению урожайности.

Однако использование ила требует строгого контроля, включая анализ содержания тяжёлых металлов, которые могут накапливаться в почве и растениях.

Для безопасного применения необходимо соблюдать нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ[2].

Иловый осадок – это сложный многокомпонентный материал, содержащий органику, микроэлементы и различные химические соединения. В последние годы усиливается внимание к его рациональному использованию, что позволяет снизить экологическую

нагрузку и повысить экономическую эффективность утилизации отходов.

Цель данной статьи – рассмотреть возможные сферы применения ила, включая восстановление земель, лесное хозяйство и сельскохозяйственные нужды[3].

Согласно исследованиям [4], одним из перспективных направлений является использование ила в лесохозяйственной сфере.

Благодаря наличию минералов (кварц, кальцит) он положительно влияет на свойства почвы.

Например, илистые почвы отличаются высокой влагоудерживающей способностью, что особенно ценно для засушливых регионов.

Ещё одно перспективное направление – рекультивация нарушенных земель (карьеры, отвалы, промзоны).

Ил может применяться для формирования плодородного слоя, что ускоряет восстановление растительности и улучшает экологическое состояние таких территорий [6]. Содержание минералов в иловом остатке представлено в таблице 1[5].

Таблица 1 - Содержание минералов в иловом остатке

Описание пробы	Фазовый состав	Содержание, % масс
Гранулированный Ил	Кварц	61
	Ферросилитовый магнезит	4
	Кальцит	32
	Магний ди(ксиленсульфонат)	3

Исследование ила после термомеханической обработки было проведено на базе АИЦ КНИТУ, было рассмотрено два образца ила.

Ил №1 прошел термомеханическую обработку на водоочистном производстве, ил № 2 прошел дополнительную обработку нагревом до 1000 °С, симулирующую схожую обработку на заводах по производству цемента.

Научный анализ результатов химического состава и кислотности иловых проб.

В ходе испытаний были проанализированы две пробы ила (№ 1 и № 2), различающиеся по содержанию основных оксидов и

микроэлементов. Результаты представлены в массовых процентах относительно воздушно-сухой навески.

Ключевые особенности состава:

Ил № 1 характеризуется умеренным содержанием минеральных компонентов:

$\text{CaO}$  (24,08%) – высокое содержание, что указывает на возможное применение в качестве мелиоранта кислых почв.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  (4,85%) и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2,35%) – присутствие этих оксидов может влиять на сорбционные свойства ила.

$\text{P}_2\text{O}_5$  (3,47%) – значимое количество фосфора, важного для агрохимического использования.

$\text{SiO}_2$  (0,67%) – относительно низкое содержание кремнезема.

Ил № 2 демонстрирует более высокие концентрации большинства компонентов:

$\text{CaO}$  (59,59%) – чрезвычайно высокое содержание, что может ограничивать прямое применение без дополнительной обработки.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,04%) и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5,86%) – повышенные уровни, требующие оценки на предмет возможной токсичности.

$\text{P}_2\text{O}_5$  (8,70%) – высокая концентрация фосфатов, что делает данный ил потенциально ценным удобрением.

$\text{SiO}_2$  (1,64%) – увеличенное содержание по сравнению с пробой № 1. Изменение образцов в зависимости от температуры показано на рисунке 1.

Ил № 1 может быть более пригоден для сельскохозяйственного использования благодаря сбалансированному составу, тогда как Ил № 2 требует дополнительных исследований на предмет возможного негативного воздействия из-за высоких концентраций  $\text{CaO}$  и металлов. Кислотно-щелочные характеристики:

Ил № 1 (500 °C) имеет слабокислую реакцию ( $\text{pH} = 6,1$ ), что соответствует нормам для большинства почвенных применений (ГОСТ 11623-89). Ил № 2 (1000 °C) обладает сильнощелочной реакцией ( $\text{pH} = 11,0$ ), что делает его непригодным для прямого внесения в почву без нейтрализации. Кислотность проб варьируется в широком диапазоне, что требует дифференцированного подхода к их утилизации. Ил № 1 может использоваться в земледелии, тогда как Ил № 2 нуждается в корректировке  $\text{pH}$  перед применением. Проведённый анализ химического состава и кислотности исследуемых иловых проб выявил значимые различия между образцами, определяющие дифференцированные подходы к их утилизации.

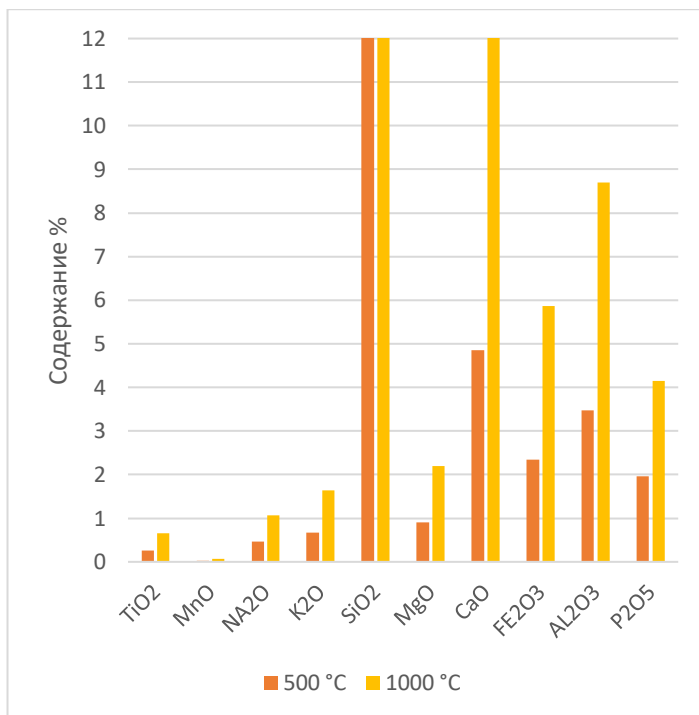


Рис. 1 Изменение содержания веществ при 500 °C и 1000 °C

Ил № 1, содержащий умеренные концентрации питательных компонентов (CaO – 24,08%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 3,47%) и обладающий слабокислой реакцией (pH 6,1), демонстрирует потенциал для применения в сельском хозяйстве и рекультивационных работах. В отличие от него, Ил № 2 с чрезвычайно высоким содержанием CaO (59,59%) и выраженной щёлочностью (pH 11,0) требует обязательной предварительной обработки, включая нейтрализацию щёлочи и оценку содержания металлов, перед возможным использованием.

Для обоих образцов актуальным остаётся проведение дополнительных исследований – биотестирования на фитотоксичность и анализа подвижности тяжёлых металлов, что позволит

минимизировать экологические риски и разработать научно обоснованные технологии переработки данных отходов.

Полученные результаты подчёркивают необходимость индивидуального подхода к оценке иловых осадков с учётом их специфических химических характеристик и потенциальных направлений утилизации.

Сравнительный анализ данных проводился с использованием пакета программ Statistica 8.0 (StatSoft, Польша). Нормальность распределения данных определяли по критериям Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Для оценки значимых различий между группами применялся критерий Краскела–Уоллиса. Статистическая достоверность считалась при  $p < 0,05$  [7].

### **Библиографический список**

1. Пугачёв Е.А. Процессы и аппараты обработки осадков сточных вод / Монография. – М.: Издательство АСВ, 2015. -208 с.
2. Петров В.И., Бычихин Н.С. Исследование физико-химических свойств ила в гранулах после термомеханической отчистки КНИТУ. 2024. 7 с.
3. Селюкова С.В. Тяжелые металлы в органических удобрениях // Агрохимический вестник № 5. 2016. С. 47-51.
4. Обработка осадков городских сточных вод / Л.Р. Хисамеева [и др.]. Казань, 2016. 106 с.
5. Очистка газовых выбросов при термомеханической обработке сточных вод / В.И. Петров [и др.]: Сборник докладов Всероссийской научной конференции. Белгород, 2022. С. 137-140.
6. Использование органического компоста с иловыми массами в сельском хозяйстве / Н.Н. Мамась, В.А. Лебедев: Научно-исследовательские публикации №15(19) / 2014 - 18 с.

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФУКСИНА ИЗ РАСТВОРОВ ДРЕВЕСНЫМИ ОПИЛКАМИ

*Замена активированных углей сорбентами, полученными из отходов, является актуальной задачей. В работе в качестве сорбционных материалов были использованы отходы деревообработки - древесные опилки: березы и дуба, крупностью 1-2 мм. В качестве поллютанта выступал краситель фуксин. Показано, что опилки березы более эффективно извлекают фуксин из водной среды.*

*Ключевые слова: очистка сточных вод, опилки, фуксин.*

Вода, загрязненная тяжелыми металлами, является серьезной экологической проблемой. Из-за своей стойкости в природе, токсичности и канцерогенных эффектов тяжелые металлы представляют угрозу как для людей, так и для всей экосистемы. Тяжелые металлы биоаккумулируются по всей экосистеме, могут быть обнаружены в высоких концентрациях в почве, поверхностных водах и отложениях и в конечном итоге попадают в пищевую цепочку. В зависимости от вида тяжелого металла, высокие уровни токсичности могут достигаться даже при незначительном воздействии [1,2].

Методы, которые можно использовать для минимизации воздействия опасных ионов металлов, включают химическое осаждение, мембранную фильтрацию, окисление и адсорбцию. Однако из-за низкой концентрации металлов и практических экономических преимуществ адсорбция оказалась наиболее эффективной и распространенной [2].

Адсорбция имеет некоторые преимущества по сравнению с другими методами, такие как экономичность, высокая эффективность удаления и селективность, высокая адсорбционная емкость, простой процесс эксплуатации, высокое качество очищенных сточных вод, обратимость, возможность вторичной переработки адсорбентов, низкое потребление энергии. Адсорбция зависит от многих факторов, таких как тип адсорбента и его функциональные группы, площадь поверхности, размер частиц адсорбента, тип и размер пор, характера взаимодействия

адсорбата с адсорбентом, время контакта, скорость перемешивания, температура и pH среды [3].

В настоящее время научное сообщество сосредоточено на замене активированных углей сорбентами, полученными из отходов. Наблюдается всплеск интереса к потенциалу сорбентов, полученных из растительных отходов (косточковых плодов, орехов и шелухи, кожуры, лесных отходов и растений) для очистки загрязненных сточных вод в целях защиты окружающей среды и обеспечения устойчивости экосистем. Растительные отходы богаты целлюлозой, которая демонстрирует потенциальную способность к биосорбции загрязняющих веществ.

Другими основными компонентами биомассы сельскохозяйственных отходов являются гемицеллюлоза, лигнин, экстрактивные вещества, липиды, белки, простые сахара, водные углеводороды и крахмал, которые имеют множество функциональных групп, что облегчают образование комплексов с загрязняющими веществами и помогает удалять токсины из сточных вод [4].

Опилки широко распространены как природный адсорбент. В растворе с определенным pH ионы тяжелых металлов существуют в различных формах (например,  $\text{Me}^{2+}$ ,  $\text{MeOH}^+$  и т. д.). Таким образом, из-за наличия различных групп, содержащих -N, -O, -S и -P в структуре опилок, вероятными основными механизмами были предположены водородные связи, а также ионный обмен [5].

Отходы деревообработки, такие как древесные опилки, являются потенциально эффективным сорбентом для извлечения широкого спектра загрязнителей [6]. Важным аспектом остается поиск способов модификации древесных отходов для улучшения их сорбционных свойств.

В работе в качестве сорбционных материалов были использованы древесные опилки: березы и дуба, крупностью 1-2 мм.

В качестве поллютанта выступал фуксин ( $\text{C}_{20}\text{H}_{20}\text{N}_3\text{Cl}$ ), который является катионным красителем класса трифенилметана.

Результаты экспериментов по определению эффективности очистки в зависимости от количества добавляемого сорбционного материала представлены на рисунке 1.



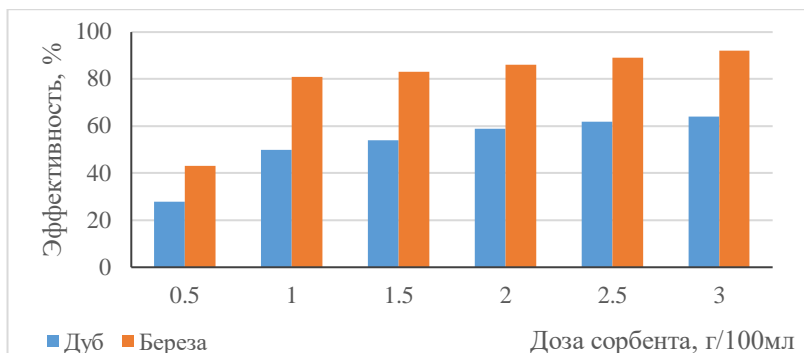


Рис.1. Эффективность очистки модельных вод в зависимости от количества добавляемого сорбционного материала

Исследования показали, что опилки березы более эффективно сорбируют молекулы фуксина, чем опилки дуба. При начальной концентрации фуксина  $0,1 \text{ г/дм}^3$  и добавке сорбента  $30 \text{ г/дм}^3$  эффективность составляет 92% для березовых опилок, 64% для дубовых. Такие отличия можно объяснить наличием большого количества дубильных веществ в древесине дуба. Кроме того, она более твердая и плотная, чем у березы (рисунок 2), что также может затруднять сорбционные процессы.

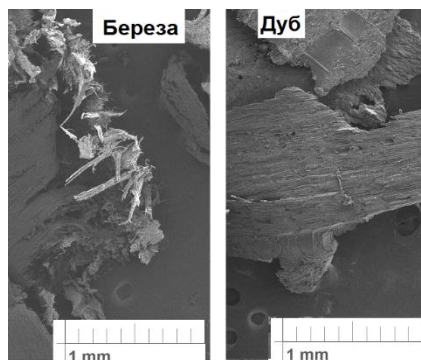


Рис. 2. Микрофотографии опилок березы и дуба

Таким образом, показано, что опилки березы более эффективно извлекают краситель фуксин из водной среды. Необходимы дальнейшие исследования по модификации нативных опилок для повышения сорбционной емкости материалов.

### **Библиографический список**

1. Lahieb F.M. Cadmium removal efficiency from synthetic wastewater using sawdust as a sustainable adsorbent / Lahieb F.M., Dawood E.S., Farah F.M. // *Desalination and Water Treatment*. – 2024. – 318 (100321). – 9 p.
2. Kainth S. Green sorbents from agricultural wastes: A review of sustainable adsorption materials / Kainth S., Sharma P., Pandey O.P. // *Applied Surface Science Advances*. – 2024. – 19 (100562). – 21 p.
3. Ali K., et al. Evaluation of the use of agricultural waste materials as low-cost and ecofriendly sorbents to remove dyes from water: a review / Ali K., et al. // *Desalination and Water Treatment*. – 2023. – 302. – P. 231–252.
4. Kainth S. Green sorbents from agricultural wastes: A review of sustainable adsorption materials / Kainth S., Sharma P., Pandey O.P. // *Applied Surface Science Advances*. – 2024. – 19 (100562). – 21 p.
5. Mallakpour S. Sawdust, a versatile, inexpensive, readily available bio-waste: From mother earth to valuable materials for sustainable remediation technologies / Mallakpour S., Sirous F., Hussain C.M. // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2021. – 295 (102492). – 20 p.
6. Белый В.А. и др. Извлечение красителя метиленовой голубой из растворов биомассой опилок платана / Белый В.А., Свергузова С.В., Шайхиев И.Г. // *Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология*. – 2023. – Т. 66. № 5. – С. 139-145.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПИЛОК ДЕРЕВЬЕВ РОДА БУКОВЫЕ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Обобщены сведения литературных источников по исследованиям процесса адсорбции ионов тяжелых металлов опилками деревьев рода Буковые (*Fagus*). Приведены краткие сведения о морфологии деревьев. Также приведена информация о значениях сорбционной емкости опилок бука лесного (*Fagus sylvatica* L.) по ионам тяжелых металлов. Отмечено, что сорбционные показатели опилок бука невысоки, что, возможно, связано с высокой плотностью древесины.

Ключевые слова: бук, *Fagus*, опилки, ионы тяжелых металлов, адсорбция.

В настоящее время в мировом пространстве успешно развивается инновационное направление в области охраны водных сред – использование эффективных, дешевых, доступных отходов и компонентов лигноцеллюлозной биомассы в качестве сорбционных материалов для удаления различных поллютантов из сточных и природных вод. Особый интерес в качестве сорбционных материалов представляют кора [1-3], листья [4-6], иголки [7-9] и др. Также широко в качестве сорбционных материалов исследованы такие отходы от переработки плодов деревьев как скорлупа и косточки [10-15] последних. Кроме того, весьма распространенным отходом деревопереработки являются опилки древесины [16-18]. В ранее опубликованных обзорных статьях [19, 20] приведена информация об использовании компонентов и отходов от переработки некоторых листопадных деревьев характерных для Европейской территории России в качестве сорбционных материалов.

Одними из деревьев, широко распространенных в Северном полушарии и произрастающих в гористой местности, преимущественно от 1500 м до 2500 м от уровня моря, являются представители рода Буковые (*Fagus*). Высота деревьев до 30 м, диаметр ствола до 2 м. Ствол гладкий, покрыт тонким слоем серой коры. Листья опадающие, простые, цельнокрайные, либо с редкими зубуринками, овальные либо овально-продолговатые, 5-15 см длиной и 4-10 см шириной. У одиночно

стоящих деревьев плодоношение наступает через 20-40 лет, а в группах - через 60 лет и позднее. Плоды желудевидные, трёхгранные, длиной 10—15 мм, с деревянистой оболочкой, собранные попарно либо по четыре штуки в 4-лопастной оболочке, называемой плюской, они съедобны, хотя содержат в себе большое количество горького на вкус танина и могут содержать в себе ядовитый алкалоид фагин, разлагающийся при поджаривании. Буки растут медленно, но живут до 500 лет. Род насчитывает 12 видов [21]. В Европе распространен бук лесной (*Fagus sylvatica* L.).

Древесина бука часто используется для изготовления различных изделий: музыкальных инструментов, в частности, гитар, фанеры, паркета, деревянной тары, ткацких челноков, ружейных прикладов, измерительных инструментов и тому подобных. Обработанный паром бук легко гнётся. Такая особенность позволяет использовать древесину бука в мебельной промышленности при изготовлении венских стульев и деталей округлой формы. Естественно, при обработке древесины буков образуется большое количество отходов в виде опилок, стружек и щепы.

Последние использовались для удаления ионов различных металлов из модельных растворов. Анализ литературных источников показал, что большинство публикаций в мировой литературе посвящены исследованию процессов адсорбции опилками бука лесного (*Fagus sylvatica* L.). Так, например, исследована адсорбция ионов  $Pb^{2+}$  нативными опилками бука. Определено, что изотерма адсорбции ионов  $Pb^{2+}$  более точно описывается моделью Темкина, а кинетика процесса подчиняется модели псевдо-второго порядка. Максимальная сорбционная емкость составила 9,9 мг/г. Предполагается, что поглощение ионов  $Pb^{2+}$  осуществляется за счет реакции последних с  $C=O$  и  $-OH$  группировками в составе древесины, а возможным механизмом процесса является хемосорбция. Сопоставимые результаты по значению максимальной сорбционной емкости были получены в работе .

Также исследовалось удаление ионов  $Pb^{2+}$  из модельных растворов с начальной концентрацией последних от 1 до 7 мг/дм<sup>3</sup> модифицированными NaOH или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> опилками бука. Выявлено, что максимальная и минимальная эффективность удаления ионов свинца наблюдалась при pH = 5 и pH = 7. Результаты экспериментов показали, что при увеличении концентрации ионов  $Pb^{2+}$  от 1 до 7 мг/дм<sup>3</sup>, эффективность их удаления снизилась с 91,3 % до 33,88 %. При

увеличении дозы адсорбента от 2 до 8 г/дм<sup>3</sup>, эффективность удаления улучшилась с 50 % до 97,3 %. Найдено, что изотермы адсорбции более точно описывались моделью Ленгмюра. Изучалась адсорбция ионов  $Zn^{2+}$  из модельных растворов опилками бука. Определено, что сорбционная емкость по названным ионам составляет 2 мг/г. Изотермы адсорбции более точно описываются моделью Ленгмюра, а кинетика процесса следует модели псевдо-второго порядка. Предполагается протекание ионного обмена, что доказывается изменением значений pH среды до и после окончания адсорбции.

Ионы  $Cu^{2+}$  с начальной концентрацией 200 ppm извлекались опилками бука в динамических условиях. Выявлено, что при оптимальных условиях проведения процесса адсорбции, степень удаления ионов меди достигала 99 %.

Модифицированные янтарным ангидридом опилки бука исследовались для извлечения ионов  $Cu^{2+}$  из модельных сточных вод с начальной концентрацией 100-500 ppm. Определено, что степень удаления ионов меди при таких начальных концентрациях достигает 95 %.

Ввиду того, что эксперименты проводились разными группами исследователей в отличающихся условиях, зачастую сравнивать полученные результаты некорректно. Более информативными сведения становятся в тех случаях, когда эксперименты проведены в одинаковых условиях. В этом случае удастся сравнить сорбционные характеристики.

Так, например, исследовалась адсорбция ионов  $Cr(III)$  и  $Cu^{2+}$  нативными опилками бука. Выявлено, что максимальная сорбционная емкость по ионам  $Cr(III)$  составила 41,86 мг/г, а по ионам  $Cu^{2+}$  - 30,22 мг/г. Определено, что изотермы адсорбции одинаково описываются моделями Ленгмюра, Редлиха-Петерсона и SIPS, а кинетика процесса соответствует, как модели псевдо-первого порядка, так и псевдо-второго порядка. Определено, что адсорбция имеет физическую природу и эндотермична.

Также выявлено, что адсорбция ионов  $Cu^{2+}$  опилками бука более предпочтительна, чем для ионов  $Fe^{2+}$ . Выявлено, что при проведении экспериментов в одинаковых условиях, степень удаления ионов  $Cu^{2+}$  может быть достигнута степень адсорбции более 80 %, в то время как для ионов  $Fe^{2+}$  эффективность извлечения очень низкая и не превышает 10 %. Также сравнивались сорбционные характеристики по ионам  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  при исследовании адсорбции нативными опилками бука.

Выявлено, что кинетика адсорбции достаточно быстрая и сорбционное равновесие достигается через 20 минут. Найдено, что изотермы адсорбции во всех случаях описываются моделью Ленгмюра. Определено, что сорбционные характеристики достигают своего максимума при значениях  $pH = 4,8-5,3$ . Для используемых экспериментальных условий, достигнутая максимальная адсорбционная емкость составляла: для ионов  $Cu^{2+}$  - 4,5 мг/г; для ионов  $Ni^{2+}$  - 4 мг/г и для ионов  $Zn^{2+}$  - 2 мг/г, ранжируя адсорбционную способность рассматриваемых металлов как:  $Cu \approx Ni > Zn$ .

В целом, анализируя данные литературных источников, можно констатировать, что опилки бука лесного имеют невысокие сорбционные характеристики по ионам тяжелых металлов по сравнению с опилками других деревьев [19]. По всей видимости, данное обстоятельство связано с высокой плотностью древесины (680-720 кг/м<sup>3</sup>) и малым объемом и количеством пор, что затрудняет проникновение ионов металлов внутрь опилок бука лесного.

### Библиографический список

1. Heavy metals removal in aqueous environments using bark as a biosorbent / A. Şen, H. Pereira, M.A. Olivella, I. Villaescusa // International Journal of Environmental Science and Technology. 2015. Vol. 12. P. 391-404.
2. Ighalo J.O., Adeniyi A.G. Adsorption of pollutants by plant bark derived adsorbents: an empirical review // Journal of Water Process Engineering. 2020. Vol. 35. Article 101228. P. 1-36.
3. Кора деревьев - перспективный сорбционный материал для извлечения углеводов из водных сред (обзор мировой и отечественной литературы) / И.Г. Шайхиев, Д.Н. Хаматгалимова, Т.Р. Дебердеев, С.В. Свергузова // Все материалы . Энциклопедический справочник. 2024. № 2. С. 10-20.
4. The utilization of leaf-based adsorbents for dyes removal: A review / L. Bulgariu, L.B. Escudero // Journal of Molecular Liquids. 2019. Vol. 276. P. 728-747.
5. Removal of heavy metals by leaves-derived biosorbents / I. Anastopoulos, A. Robalds, H.N. Tran et al. // Environmental Chemistry Letters. 2019. Vol. 17. P. 755.
6. Using leaves and needles of trees as sorption materials for the extraction of oil and petroleum products from solid and water surfaces / A.V. Svyatchenko, I.G. Shaikhiev, S.V. Sverguзова, E.V. Fomina // Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future: Selected Papers. 2021. P. 299-306.
7. Шайхиев И.Г. Использование иголок деревьев хвойных пород для удаления поллютантов из водных сред (обзор мировой и отечественной литературы) // Деревообрабатывающая промышленность. 2023. № 4. С. 90-112.
8. Gulati K., Jeyaseelan C., Rattan S. Pine needles as green material for removal of metal ions and dyes from waste water // Green Chemistry in Environmental Sustainability and Chemical Education: Proceedings of ICGC 2016, New Delhi. 2018. P.

61-72.

9. Шайхиев И.Г., Степанова С.В., Шайхиева К.И. Исследование хвои сосновых деревьев в качестве сорбционных материалов для удаления нефтей и масел с водной поверхности // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 3. С. 183-186.

10. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzoza S.V. Review of peach (*Prúnus pérsica*) shell use to remove pollutants from aquatic environments // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2023. Vol. 13. Article 459. P. 1-14.

11. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzoza S.V. Review of almond (*Prunus dulcis*) shell use to remove pollutants from aquatic environments // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2021. Vol. 11. No 6. Article 14866. P. 1-15.

12. Removing pollutants from sewage waters with ground apricot kernel shell material / I. Shaikhiev, K. Shaykhieva, S. Sverguzoza et al. // Materials. 2022. Vol. 15. Article 3428. P. 1-21.

13. Use of chestnut sheel (*Castánea*) as adsorption material for removing pollutants from natural and sewage waters: a review / S.V. Sverguzoza, I.G. Shaikhiev, E.V. Fomina, R.Z. Galimova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. No. 1. Article 012072. P. 1-8.

14. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzoza S.V. Review of pistachio (*Pistacia*) shell use to remove pollutants from aqua media // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2023. Vol. 13. No 4. Article 389. P. 1-11.

15. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzoza S.V. Removal of various pollutants from aquatic environments with cashew processing waste (a literature review) // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2024. Vol. 14. No 4. P. 1-18.

16. Efficiency of sawdust as low-cost adsorbent for dyes removal / R. Chikri, N. Elhadiri, M. Benchanaa, Y. Maguana // Journal of Chemistry. 2020. P. 1-17.

17. Sahmoune M.N., Yeddou A.R. Potential of sawdust materials for the removal of dyes and heavy metals: examination of isotherms and kinetics // Desalination and Water Treatment. 2016. Vol. 57. No 50. P. 24019-24034.

18. Meez E., Rahdar A., Kyzas G.Z. Sawdust for the removal of heavy metals from water: a review // Molecules. 2021. Vol. 26. No 14. Article 4318. P. 1-21.

19. Денисова Т.Р., Шайхиев И.Г. Использование компонентов лиственных деревьев средней полосы России в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из водных сред. Обзор литературы // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 24. С. 145-158.

20. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzoza S.V. Using *Quercus* waste and biomass components to remove pollutants from aquatic environments (a literature review) // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2024. Vol. 14. No 1. P. 1-16.

21. The evolutionary history of *Fagus* in western Eurasia: Evidence from genes, morphology and the fossil record / T. Denk, G. Grimm, K. Stögerer et al. // Plant Systematics and Evolution. 2002. Vol. 232. P. 213-236.

## МЕМБРАННАЯ ОЧИСТКА ВОД ПРОДУВКИ ВОДООБОРОТНЫХ ЦИКЛОВ

*Проблема очистки вод продувки водооборотных циклов предприятий связана с образованием солевых концентратов и загрязнением сточных вод реагентами, используемыми в процессах водоподготовки. Применяемые методы очистки отличаются высокой стоимостью и значительными энергозатратами, что ограничивает их широкое внедрение.*

*Ключевые слова. оборотная вода, сточные воды, очистка сточных вод.*

Вода играет решающую роль в поддержании жизни на Земле, поскольку именно она участвует во всех биогеохимических циклах планеты и обеспечивает протекание биохимических процессов, происходящих во всех живых организмах. В процессе жизнедеятельности человек активно использует водные ресурсы, что неизбежно ведет к ухудшению их качественных характеристик. Стремительный рост урбанизации, индустриализации и изменение климата сопровождаются увеличением количества образуемых загрязненных сточных вод [1]. Загрязнение водных ресурсов представляет собой серьезную экологическую проблему с ощутимыми последствиями для окружающей среды и здоровья человека. Такого рода загрязнение может иметь различные источники образования, включая промышленные предприятия, сельскохозяйственные угодья, городские сточные воды и т.д. Влияние загрязнения воды на экосистемы:

1. Эвтрофикация. Избыток в воде биогенных элементов может вызвать появление эвтрофикации, приводящей к чрезмерному росту флоры и снижению уровня кислорода в водном объекте.

2. Гибель водных организмов. Загрязняющие вещества могут прямо или косвенно вести к гибели гидробионтов.

3. Разрушение сред обитания. Загрязнение водного объекта может разрушать среду обитания водной биоты, приводя к снижению биоразнообразия.

4. Нарушение пищевых цепей. Загрязняющие вещества могут аккумулироваться в организмах живых существ, передавая их по



пищевой цепи. Вследствие у хищных видов в организмах достигается опасный уровень концентраций загрязнителей.

Влияние загрязнения воды на человека:

1. Инфекционные заболевания. Загрязненная вода может содержать в своем составе патогенные микроорганизмы, вызывающие такие заболевания, как тиф, диарея, гастроэнтерит, гепатит и др.

2. Хронические заболевания. Длительное воздействия содержащихся в воде загрязняющих веществ может привести к развитию хронических заболеваний, таких как рак, нарушение нервной системы и сердечно-сосудистые заболевания.

3. Эндокринные нарушения. Некоторые вещества могут нарушать гормональный баланс в организме человека, приводя к проблемам, связанным с репродуктивной системой, и другим нарушениям.

4. Отравление тяжелыми металлами. Некоторые тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, ртуть, имеют способность накапливаться в организме человека, вызывая отравление и нарушение внутренних процессов [2,3]. Одной из важных и актуальных проблем в области очистки сточных вод является очистка вод продувок водооборотных циклов. Воды продувки – это воды, образующиеся в результате работы системы охлаждения или подогрева технической воды. Такие системы применяются для обеспечения различных нужд предприятия. В связи с испарением воды концентрация растворенных веществ в циркулирующей воде увеличивается. Для поддержания работы системы периодически или постоянно проводят удаление части воды и замену ее свежей водой. Такой процесс называется продувкой. Воды продувки содержат в своем составе высокие концентрации растворенных солей, а также взвешенные вещества, органические вещества и микроорганизмы. Сброс таких вод без должной очистки может привести к серьезному загрязнению водных ресурсов [4]. Во многих странах ужесточаются требования к качеству сбрасываемых сточных вод, что стимулирует к поиску и внедрению эффективных и экологически чистых технологий. Это стало необходимостью не только для снижения антропогенного воздействия, но и для выхода компаний на мировой уровень развития. За превышение нормативов ПДС предусмотрены значительные штрафные санкции, рассчитываемые в зависимости от величины причиненного экологического ущерба предприятием [5,6]. Для очистки продувочных вод применяются различные методы, включая мембранные технологии, обеспечивающие концентрирование загрязняющих веществ в минимальных объемах

воды и получение очищенной воды, соответствующей нормативным требованиям. Перед применением мембранных технологий часто требуется предварительная обработка воды для удаления взвешенных веществ, наличие в воде которых приводит к быстрому забиванию мембран и сокращению срока службы установки. Методы предварительной обработки могут включать коагуляцию, флокуляцию, фильтрацию, адсорбцию, флотацию и др. [7]. Одним из мембранных методов является ультрафильтрация. Она используется для удаления из воды остаточных взвешенных веществ и коллоидов. Ультрафильтрация зачастую применяется в качестве предварительной обработки перед подачей воды на обратный осмос. Это необходимо для предотвращения частого забивания обратноосмотических мембран. Принцип работы установки заключается в подаче воды сквозь ультрафильтрационные мембраны под установленным давлением. Обратный осмос является эффективным методом удаления растворенных солей и других загрязнений, находящихся в продувочных водах. В процессе очистки вода под давлением проходит сквозь обратноосмотическую мембрану, а соли и другие примеси задерживаются на ней. Пермеат (очищенная вода) может использоваться в технологических процессах или подвергаться дополнительной очистке, а концентрат утилизируется. Также возможно дополнительное снижение влажности концентрата для уменьшения его объема [8]. Была проведена работа по исследованию очистки сточных вод, образующихся в результате продувки водооборотных циклов химического предприятия. Данные исследования являются одной из важнейших задач, выполнение которых необходимо для проектирования высокоэффективной системы очистки сточных вод, обеспечивающей доведения концентраций загрязняющих веществ до установленных нормативных требований. Исследования проводились при помощи пилотных установок НИЦ «ЭКОСТЕХ» (рисунок 1), имитирующих планируемые этапы очистки воды.



Рис. 1. Проведение лабораторных исследований на пилотных установках

Для обеспечения предварительной очистки в емкость с исходной водой был добавлен коагулянт (серноокислый алюминий), обеспечивающий образование хлопьев и выпадение их в осадок. Осветленная вода последовательно подавалась на мембранные установки: установку ультрафильтрации (УУФ) и установки обратного осмоса (УОО). Обратный осмос проводился в 2 ступени: образовавшийся на первой ступени концентрат подавался на вторую ступень для более эффективного концентрирования загрязняющих веществ. По окончании фильтрации был произведен анализ физико-химических показателей очищенной воды. Образующийся концентрат второй ступени обратного осмоса (УОО-2) имеет относительно высокие значения соледержания. В связи с этим возникла необходимость в проведении дополнительных исследований, направленных на снижение уровня соледержания до требуемых значений. С целью наибольшего приближения к условиям разрабатываемой технологической схемы было произведено смешение пермеата УОО-2 с другими сточными водами – регенерационным стоком и концентратом химводоочистки -, образующимися в результате работы того же производственного предприятия. Эти сточные воды предварительно были направлены на ультрафильтрацию для удаления коллоидных и взвешенных веществ. После смешения смесь стоков была направлена на дополнительную ступень обратного осмоса для обеспечения более глубокой очистки воды. Пропорции разделения воды на УОО всех ступеней: 70% пермеата и 30% концентрата. Далее полученный концентрат был направлен на ротационный испаритель, обеспечивающий образование чистого конденсата и концентрата, имеющего низкую влажность.

Результаты показателей сточных вод после каждого этапа очистки приведены на рисунке 2.

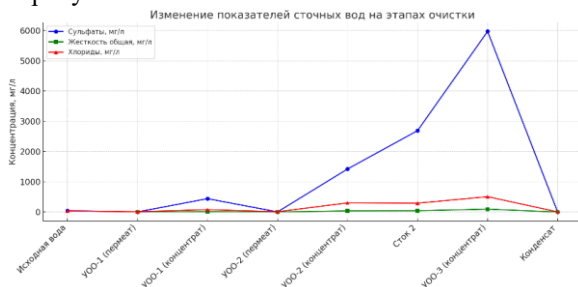


Рис. 2. Результаты показателей качества сточных вод после этапов очистки

Согласно представленным данным, концентрации загрязняющих веществ после всех стадий очистки близки к предъявляемым нормативным значениям. Достижение необходимых значений качества воды будет достигнуто благодаря программному расчету установок обратного осмоса.

### Библиографический список

1. Новиков, Ю.В. Вода и жизнь на Земле / Ю.В. Новиков, М.М. Сайфутдинов // М.: Наука. – 1981. – 183 с.
2. Максимова, Т. А. Экология гидросферы: учебник для среднего профессионального образования / Т. А. Максимова, И. В. Мишаков. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 136 с.
3. Водная экология и влияние деятельности человека на состояние водных ресурсов: учеб. пособие / Г.Б.Володина [и др.]. - Тамбов: Чесноков А.В., 2011. - 230 с.
4. Дремичева, Е. С. Проблемы загрязнения водных объектов нефтесодержащими сточными водами промышленных предприятий и варианты их решения / Е.С. Дремичева // Химическая безопасность. - №5(2). – С. 66-77.
5. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 28.11.2023) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты регулирования Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_150474/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_150474/), свободный. – Дата обращения: 22.02.2025 г.
6. Постановление экономики РФ от 13.09.2016 № 913 (ред. от 24.01.2020) «О поставках плат за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_204671/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_204671/), свободный. – Дата обращения: 22.02.2025 г.
7. Мудлер, М. Введение в мембранную технологию / М. Мудлер // М.: Мир. – 1999. – 513 с.
8. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. Т.2: пер. с фр. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 920 с.

Свергузова С.В., д.т.н., проф.,  
Сапронова Ж.А., д.т.н., доцент.,  
Гафаров Р.Р., аспирант.,  
Грабазей А.В., магистрант  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ОТБЕЛЬНОЙ ГЛИНЫ НА СНИЖЕНИЕ ХПК СТОКОВ ПТИЦЕУБОЙНОГО ЦЕХА

*В данной работе показана целесообразность утилизации отхода маслоэкстракционного производства (отработанной отбелной глины) путём его использования в очистки сточных вод птицеубойного цеха. Установлено, что при добавлении отхода отбелной глины, обожженной при 350 °С, эффективность очистки достигает 91 % при исходном значении ХПК 680 мгО/дм<sup>3</sup>.*

*Ключевые слова: отбелная глина, отход, температурный режим, ХПК, эффективность очистки*

Сточные воды птицеубойных цехов представляют собой сильно загрязненные водные системы, содержащие белки, жиры, взвешенные вещества и характеризующиеся высокими значениями ХПК и БПК. Такие воды трудно поддаются очистке, а сброс загрязненных или недостаточно очищенных стоков в водные объекты может нанести непоправимый ущерб природным объектам. Поэтому поиск недорогих эффективных способов очистки стоков убойных цехов птицефабрик является актуальной задачей [1-5]. Целью данной работы являлось исследование возможности очистки сточных вод птицеубойных цехов с помощью отхода маслоэкстракционного предприятия – отработанной отбелной глины. В работе использовали натуральные производственные сточные воды птицеубойного цеха предприятия АО «Приосколье». Для очистки была взята отработанная отбелная глина после очистки растительного масла (стадия винтеризации) на ООО «ЭФКО» (г. Алексеевка, Белгородской области). В состав отбелной глины входят такие минералы, как монтмориллонит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), каолинит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), мусковит ( $\text{K}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), альбит ( $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ ). К сточной воде, имеющей после разбавления значение ХПК, равное 700 мгО/дм<sup>3</sup>., добавляли заданную массу обожженной при 350 °С отбелной глины, содержимое реакционной емкости перемешивали, затем выливали в

отстойные цилиндры. Через определенное промежутки времени из отстойной части воды отбирали аликвоту для анализа. Эффективность очистки определяли по интегральному показателю загрязненности воды – ХПК (химическому потреблению кислорода). Эффективность очистки рассчитывали по формуле:

$$\Xi = \frac{\text{ХПК}_\text{н} - \text{ХПК}_\text{к}}{\text{ХПК}_\text{н}} * 100 \%,$$

где  $\text{ХПК}_\text{н}$  и  $\text{ХПК}_\text{к}$  – начальная концентрация ХПК и конечная, соответственно. Результаты экспериментов представлены на рис 1.

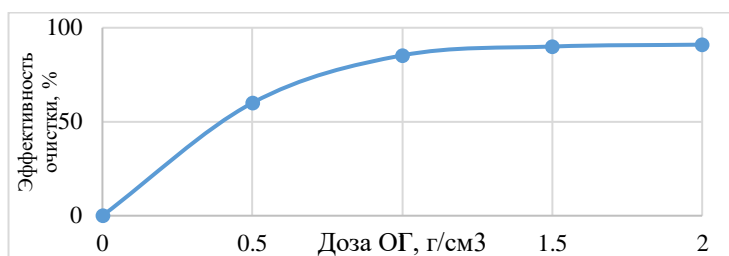


Рис. 1. Влияние дозы ОГ на эффективность очистки по ХПК

Как видно из рисунка 1, эффективность очистки повышается с увеличением дозы добавки ОГ и достигает максимального значения – 91 %. На рис. 2 представлены кинетика снижения величины ХПК от времени взаимодействия и дозы ОГ.

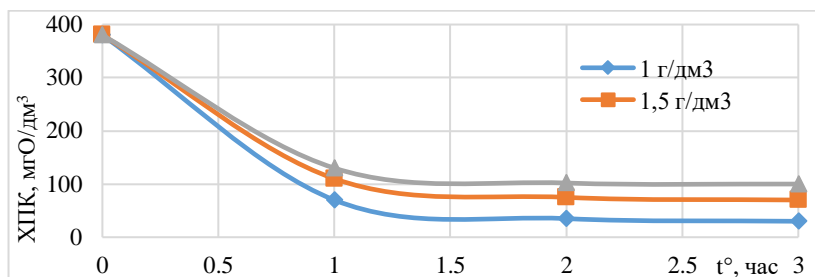


Рис. 2. Кинетика снижения величины ХПК от времени взаимодействия и дозы ОГ

Исходя из проведенных исследований (рис.2) видно, что при добавлении дозы  $2 \text{ г/дм}^3$  и увеличении длительности перемешивания до 180 мин значение ХПК снижается с  $380 \text{ мгО/дм}^3$  до  $30 \text{ мгО/дм}^3$ .

На основании результатов исследований можно сделать вывод, что использование термообработанного отхода отбельной глины может быть весьма эффективно для очистки сточных вод птицеубойного цеха.

### Библиографический список

1. Физико-химические свойства отбельной глины / С. В. Свергузова, И. Г. Шайхиев, Ж. А. Сапронова, Р. Р. Гафаров. [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2023. – Т. 66, № 6. – С. 76-84.
2. Гафаров, Р. Р. Использование отбельной глины для удаления ионов меди / Р. Р. Гафаров, С. В. Свергузова, Н. С. Лупандина // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: Сборник докладов Международной научной конференции, Алушта-Белгород, 05–09 июня 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 188-193.
3. Сапронова, Ж. А. Осветление вод убойного цеха железосодержащим коагулянтом / Ж. А. Сапронова, Р. Р. Гафаров, М. С. Гончаров // Химия и инженерная экология - XXIII: сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной сотрудничеству с союзными государствами, Казань, 25–26 сентября 2023 года. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. – С. 50-53.
4. Жемухова, О. А. Эколого-биологическая реабилитация сточных вод птицефабрики / О. А. Жемухова, О. О. Гетоков, М. М. Долов // Аграрная Россия. – 2023. – № 4. – С. 38-40.
5. Броницкий, В. О. Анализ очистки сточных вод птицефабрики / В. О. Броницкий, И. В. Новикова, Д. М. Докукина // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2019. – № 4-2(48). – С. 34-37.

Свергузова С.В., д-р техн. наук, проф.,  
 Спесивцева С.В., канд. тех. наук, доцент,  
 Чехунова К.В., аспирант  
 (БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия)

## КОБАЛЬТ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

*В работе представлена информация о характеристиках соединений кобальта, их влияния на здоровье человека. Описана информация о содержании соединений кобальта в водных объектах Белгородской области.*

*Ключевые слова: кобальт, загрязнение, вода.*

Присутствие в водных объектах различных загрязняющих веществ является важной экологической проблемой. К широко распространенным загрязнителям водной среды относятся ионы тяжелых металлов. Всасываясь водными растениями и поглощаясь рыбами и другими водными организмами, тяжелые металлы по пищевым цепочкам попадают в организм человека и причиняют вред здоровью.

Среди прочих загрязняющих веществ в воде водных природных объектов Белгородской области часто присутствует кобальт (Co). Кобальт – 27-й элемент VIII группы периодической системы Менделеева. Атомный вес 58,93 а.е., имеет степень окисления +1; +2; +3; +4, +5 [1].

Соединения кобальта попадают в водные объекты окружающей среды в результате антропогенной деятельности. Ниже в таблице указаны некоторые токсикологические характеристики соединения кобальта [2].

Таблица 1 – Токсикологические характеристики соединения кобальта

№ п/п	Наименование	ПДК хоз. быт , мг/дм <sup>3</sup>	ПДК рыб. хоз, мг/дм <sup>3</sup>	ПДК в пище, мг/дм <sup>3</sup>	Класс опасности
1	кобальт	0,1	0,01	0,5	2

По данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Белгородской области в 2023 году» министерства природопользования Белгородской области в 2023 году в некоторых водных объектах Белгородской области содержание соединений кобальта превышало значение ПДК (Рис. 1) [3].



Кобальт при длительном воздействии на организм человека вызывает отравление. Острыми симптомами могут быть отек легких, тошнота, рвота, кровотечение, почечная недостаточность. При хронической интоксикации может возникнуть патология легких, аллергический дерматит, нарушения функции щитовидной железы, кардиомиопатия и сердечная недостаточность [4].

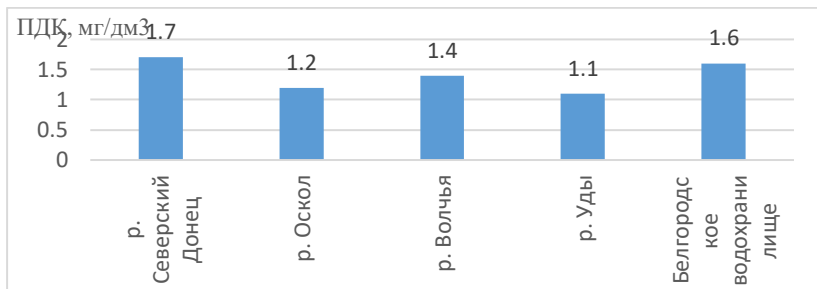


Рис. 1 Значение ПДК кобальта в некоторых водных объектах Белгородской области в 2023 году

Для снижения негативного воздействия соединений кобальта на водные объекты и гидробионтов необходима глубокая очистка сточных вод с использованием разнообразных физико-химических методов.

### Библиографический список

1. Sun X, Treatment Of Phenolic Wastewater By Combined Uf And Nf/ Ro Processes. / Sun X, Wang C, Li Y, Wang W, We J.//Desalination. – 2015 - №355. - P. -68–74.
2. Свергузова С.В. Природоохранные мероприятия по предотвращению негативного воздействия на окружающую среду. Курс лекций: учебное пособие/ Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Воронина Ю.С., Шайхиева К.И./ Белгород.: изд-во БГТУ, Казань, 2023 – 62 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Белгородской области в 2023году». М.: Министерство природопользования Белгородской области, 2024. 49-69 с.
4. Гудиева, И. Р. Физиологические свойства кобальта и его влияние на организм человека / И. Р. Гудиева. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 5 (243). — С. 42-46.

## ФЕНОЛ В ВОДЕ НЕКОТОРЫХ РЕК БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

*В работе представлена информация о характеристиках фенолов. Описана информация о содержании фенолов в сточных водах.*

*Ключевые слова: фенол, загрязнение, вода..*

Фенол относится к опаснейшим химическим веществам, присутствующим в объектах окружающей среды. В семейство фенолов входя:

- одноатомные фенолы (аренолы), например, фенол и его гомологи;
- двухатомные фенолы (арендиолы), в том числе, пирокатехин, резорцин, гидрохинон (соответственно 1,2-, 1,3- и 1,4-дигидроксибензолы);
- трехатомные фенолы (арентриолы), включая пирогаллол, гидроксигидрохинон, флороглюцин (соответственно 1,2,3-, 1,2,4- и 1,3,5-тригидроксибензолы);
- многоатомные фенолы [1].

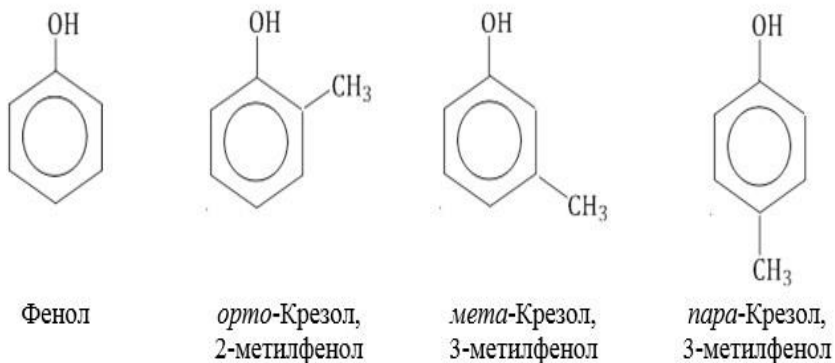


Рис. 1. Виды фенолов

Фенолы представляют собой полярные соединения (диполи). Бензольное кольцо является отрицательным концом диполя, а ОН-

группа — положительным. Дипольный момент направлен в сторону бензольного кольца.

Как известно, гидроксильная группа -ОН является заместителем I рода, то есть она способствует повышению электронной плотности в бензольном кольце (особенно в орто- и пара-положениях).

Это обусловлено тем, что одна из неподелённых пар электронов атома кислорода ОН-группы вступает в сопряжение с  $\pi$ -системой бензольного кольца. Смещение неподелённой пары электронов атома кислорода в сторону бензольного кольца приводит к увеличению полярности связи О—Н.

Таким образом, имеет место взаимное влияние атомов и атомных групп в молекуле фенола

Это взаимное влияние отражается в свойствах фенола [2].

Во-первых, повышается способность к замещению атомов водорода в орто- и пара-положениях бензольного ядра, и в результате реакций замещения обычно образуются три-замещённые производные фенола.

Во-вторых, увеличение полярности связи О—Н под действием бензольного ядра и появление достаточно большого положительного заряда на атоме водорода приводит к тому, что молекулы фенола диссоциируют в водных растворах по кислотному типу.

Фенол является слабой кислотой. В этом состоит главное отличие фенолов от спиртов, которые являются неэлектролитами [3].

Предельная допустимая концентрация (далее – ПДК) фенола в некоторых средах и материалах указана в таблице 1.

Таблица 1 – Предельная допустимая концентрация (далее – ПДК) фенола в не-которых средах и материалах

№ п/п	Наименование вещества	В водной среде		В атмосферном воздухе		
		ПДК хоз. быт, мг/м <sup>3</sup>	ПДК рыб. хоз, мг/м <sup>3</sup>	ПДК м.р., мг/м <sup>3</sup>	ПДК ср.с., мг/м <sup>3</sup>	ПДК с.г., мг/м <sup>3</sup>
1	фенол	0,001	0,001	0,01	0,06	0,003

О токсичности фенола можно судить по значения ПДК в водных объектах рыбохозяйственного значения, которое составляет 0,001 мг/дм<sup>3</sup>.

Целью работы является исследование содержания фенола в воде некоторых водных объектов Белгородской области.

По данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Белгородской области в 2023 году» министерства природопользования Белгородской области в 2022 году в некоторых водных объектах Белгородской области содержание фенолов превышало значение ПДК (таблица 2) [4].

Таблица 2 – Содержание фенолов в некоторых водных объектах Белгородской области

№ п/п	Наименование водного объекта, створ	Содержание фенола, доли ПДК
1	р. Северский Донец, 997 км от устья, входной створ Белгородского водохранилища	1,7 ПДК
2	Белгородское водохранилище, 990 км от устья, выше впадения р. Везелка, мост ж/д вокзала, г. Белгород	1,3 ПДК
3	Белгородское водохранилище, 989 км от устья р. Северский Донец, устьевой створ р. Везелка, г. Белгород, ж/д мост у ООО «Конпрок»	2,3 ПДК
4	Белгородское водохранилище, 988 км от устья р. Северский Донец, ниже впадения р. Везелка, с. Пушкарное	1,8 ПДК
5	Белгородское водохранилище, выше сброса сточных вод ГУП «Белоблводоканал», п. Разумное	2,7 ПДК
6	Белгородское водохранилище, ниже сброса сточных вод ГУП «Белоблводоканал», с. Дорогобужино	2,8 ПДК
7	Белгородское водохранилище, верхний бьеф, 964 от устья р. Северский Донец, с. Графовка	2,8 ПДК
8	Белгородское водохранилище, выходной створ, 963 км от устья р. Северский Донец, с. Графовка	2,7 ПДК
9	Р. Оскол, 430 км. от устья, входной створ Старооскольского водохранилища	1,7 ПДК
10	Старооскольское водохранилище, устьевой створ р. Геросим, на 407 км от устья р. Оскол, с. Бекетово	2,3 ПДК
11	Старооскольское водохранилище, 406 км от устья р. Оскол верхний бьеф, с. Федосеевка	1,7 ПДК
12	Старооскольское водохранилище, выходной створ, 405 км от устья р. Оскол, с. Федосеевка	1,7 ПДК
13	р. Волчья	1,3 ПДК
14	Р. Лопань	1,3 ПДК

Как видно из результатов, представленных в таблице 2, содержание фенола в воде многих водных объектов Белгородской области превышает нормы ПДК.

Величина превышения составила от 1,0 до 2,8 долей ПДК.

Максимальные превышение зафиксированы для Белгородского водохранилища пункты контроля:

- Белгородское водохранилище, ниже сброса сточных вод ГУП «Белоблводоканал», с. Дорогобужино (2,8 ПДК);
- Белгородское водохранилище, верхний бьеф, 964 от устья р. Северский Донец, с. Графовка (28 ПДК) [5].

Таким образом, из краткого анализа аналитических данных следует, что в воде водных объектов Белгородской области наблюдается частое превышение ПДК по фенолу, поэтому природная вода должна подвергаться тщательной очистке.

### **Библиографический список**

1. Sun X, Treatment Of Phenolic Wastewater By Combined Uf And Nf/ Ro Processes. / Sun X, Wang C, Li Y, Wang W, We J.//Desalination. – 2015 - №355. - P. -68–74.
2. Соловьева Ю.А. Влияние эрозионных и русловых процессов на фенольное загрязнение рек // Общие и прикладные вопросы эрозионных и русловых процессов. – М: Географический факультет МГУ, 2006. – С. 216–219.
3. Свергузова, С. В. Фенолы в окружающей среде / С. В. Свергузова, Ю. С. Воронина, К. В. Чехунова // 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. 338-339.
4. Святченко А.В., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А. Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов – 2020. - № 6 (128), 95-105 с.
5. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Белгородской области в 2023году». М.: Министерство природопользования Белгородской области, 2024. 49-69 с.
6. Свергузова С.В. Природоохранные мероприятия по предотвращению негативного воздействия на окружающую среду. Курс лекций: учебное пособие/ Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Воронина Ю.С., Шайхиева К.И./ Белгород.: изд-во БГТУ, Казань, 2023 – 62 с.

Святченко А.В., канд. техн. наук, доц.,  
 Куксов И.С., студент,  
 Красников И.С., студент  
 (БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## СОСТОЯНИЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

*В статье рассмотрено состояние водоснабжения в Новгородской области. Большинство водных объектов Новгородской области оцениваются как «загрязненные» и «грязные». Установлено, что поверхностные источники централизованного питьевого водоснабжения продолжают оставаться неудовлетворительными на протяжении нескольких лет. В первом квартале 2025 г. анализ вод из разводящей сети централизованного питьевого водоснабжения показал несоответствие нормативам по органолептическим, неорганическим и микробиологическим исследованиям.*

*Ключевые слова: экология, загрязнение, питьевая вода, поверхностные воды, подземные источники*

Существует большое количество факторов, влияющих на здоровье людей, среди них как социально-экономические факторы, так и экологические, в частности состояние питьевого водоснабжения.

Качество питьевой воды остается актуальной проблемой и на международном, и на национальном уровнях ввиду того, что загрязнение питьевой воды является фактором негативного влияния на здоровье населения. Анализируя состояние поверхностных источников воды и централизованного водоснабжения, можно оценить риски возникновения инфекционных заболеваний [1].

Согласно данным [2] определение качества вод на станциях водоподготовки и в трубопроводных распределительных системах осуществляется по показателям, представленных в таблицах 1-2.

Таблица 1 – Перечень показателей физико-химических исследований качества воды

№	Наименование исследования	Наименование показателей
1	Органолептические	Запах при 20 °С, Запах при 60 °С, привкус, цветность, мутность

2	Обобщенные	Водородный показатель, жесткость общая, сухой остаток, окисляемость перманганатная, АПАВ, фенолы общие, нефтепродукты
3	Неорганические вещества	$\text{NH}_4^+$ , Al, Ba, Be, B, Feобщ, Fe(III), щелочность, Cd, K, Ca, Si, Li, Mn, Mg, Cu, Mo, As, Na, Ni, Hg, Se, $\text{H}_2\text{S}$ , сульфиды, Pb, Sr, Cr(VI), Zn, анионы ( $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{F}^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ), хлор остаточный активный
4	Органические вещества	Хлороформ, линдан, 2,4Д, гексахлорбензол, гептахлор

Таблица 2 - Перечень показателей микробиологических и радиохимических исследований качества воды

№	Наименование исследования	Наименование показателей
1	Микробиологические	Общее микробное число при 37 °С (и 22 °С), общие колиформные бактерии, термотолерантные колиформные бактерии, число колифагов
2	Радиохимические	Суммарная удельная $\alpha$ -активность и $\beta$ -активность, удельная активность радона-222, активность естественных радионуклидов

Питьевая вода должна быть безопасной для здоровья в эпидемическом отношении, в частности по физико-химическим, радиохимическим, микробиологическим показателям. Употребление воды, соответствующей нормативам, не должно иметь отрицательного влияния не только при краткосрочном, но и при длительном употреблении. Некачественная вода приводит к росту заболеваемости населения [3].

Причин загрязнения питьевой воды централизованного водоснабжения выделяют несколько. Основные из них – это первичное (происходит до поступления на станцию водоподготовки) и вторичное (при транспортировке воды) загрязнения. Также отклонения от норм может происходить на этапе очистки воды [3, 4].

Ситуация с качеством питьевой воды в России разная. Так, в Новгородской области за последние годы состояние как подземных, так и поверхностных источников централизованного питьевого водоснабжения существенно не изменилось и продолжает оставаться неудовлетворительным, что вызывает беспокойство (рисунки 1-3) [3, 5]. Централизованное питьеое водоснабжение населения области осуществляется из 643 водоисточников, из которых 25 имеют водозабор

из поверхностных водоемов и 618 – из подземных источников. При этом поверхностные водоисточники по степени загрязнения относятся ко 2 и 3 классу [5]. Анализ воды в разводящей сети в первом квартале 2025 г. показал низкие результаты по органолептическим, неорганическим и микробиологическим исследованиям. В большинстве проб были обнаружены несоответствия по цветности, мутности, железу, марганцу, алюминию, а также выявлены колифаги и кишечные бактерии в высоких концентрациях [6]. Это создает серьезную угрозу возникновения острых кишечных инфекций, в том числе вспышек заболевания [7]. На начало второго квартала 2025 года качество питьевой воды в регионе не улучшилось.



Рис.1. Объем забранной воды из природных водных объектов



Рис. 2. Динамика забора и использования водных ресурсов по Новгородской области



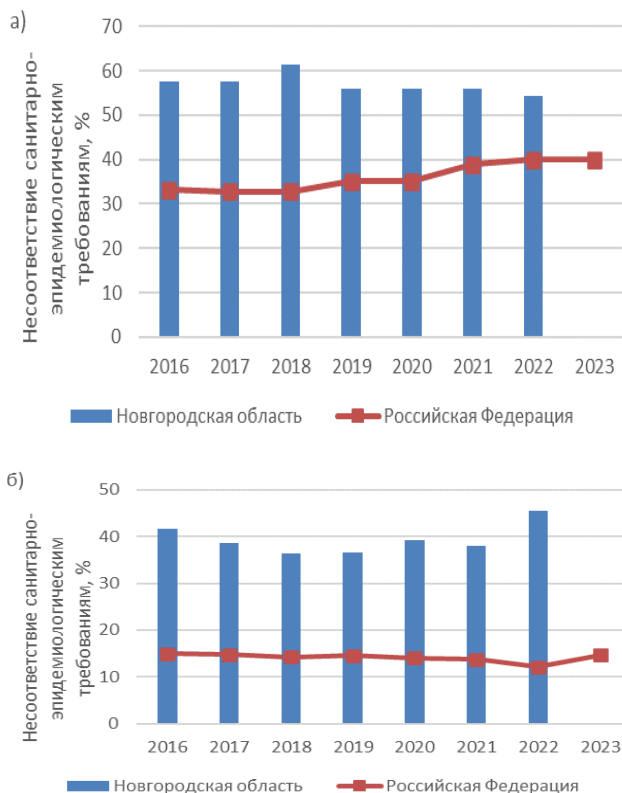


Рис. 3. Динамика состояния источников централизованного водоснабжения Новгородской области в сравнении со средним показателем по Российской Федерации: а) поверхностные источники; б) подземные источники

Большинство водных объектов Новгородской области оцениваются как «загрязненные» и «грязные». Число створов, воды которых характеризуются «загрязненные», снизилось в 2022 г. от 90,3% до 67,7%, а характеризующиеся «грязные» наоборот увеличилось с 9,7% до 32,3%, что говорит о явной отрицательной динамике [8].

Причин, относящихся к данной проблеме, специалисты выделяют много. Это прямое антропогенное загрязнение поверхностных и

подземных вод, в частности сбрасывание промышленных и ливневых сточные воды без очистки, а также недостаточный контроль в зонах санитарной охраны водоисточников, изношенность водозаборных сооружений, разводящих сетей, отсутствие квалифицированного персонала по технологическому обслуживанию водопроводных сооружений, неудовлетворительно организованный производственный лабораторный контроль качества питьевой воды. Отдельно можно выделить загрязнение почвенного покрова в близи водных объектов. Доля проб почв в жилой зоне, не соответствующей гигиеническим нормативам в 2023 г., по санитарно-химическим показателям составила 25,84%, по уровню микробиологического загрязнения – 40,82%, а по уровню паразитологического загрязнения – 1,46% [8].

Загрязненная питьевая вода – это источник многих инфекционных и неинфекционных заболеваний человека. Микробиологическое загрязнение является существенным фактором распространения в первую очередь различных инфекционных заболеваний, например холеры, дизентерии, брюшного тифа, сальмонеллёза. Низкая степень очистки вод подземных и поверхностных источников может повлечь увеличение численности патогенных бактерий в воде, приводя к массовому заражению населения различными инфекционными заболеваниями. Санитарно-химическое загрязнение является фактором проявления хронических заболеваний сердечно-сосудистой, легочной, иммунной, репродуктивной систем [9].

Таким образом, качество питьевой воды напрямую влияет на здоровье населения. Употребление питьевой воды, несоответствующей нормативам [10, 11], грозит большими проблемами со здоровьем и возникновением эпидемий среди населения отдельного региона или целой страны.

### **Библиографический список**

1. Парахонский, А. П. Влияние медицины и экологии окружающей среды на здоровье человека // В мире научных исследований: материалы II Международной научно-практической конференции, Краснодар, 20 апреля 2013 года. – Краснодар: Академия знаний, 2013. – С. 175-181.
2. ГОСТ Р 56237-2014 (ИСО 5667-5:2006) Вода питьевая. Отбор проб на станциях водоподготовки и в трубопроводных распределительных системах.
3. Гладких С.Н., Семчук Н.Н. Влияние состояния источников водоснабжения на здоровье населения Новгородской области // Экологические проблемы региона и пути их разрешения: материалы XVI Международной

научно-практической конференции, Омск, 12–13 мая 2022 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2022. – С. 3-6.

4. Калимуллина Д. Д., Гафуров А. М. Проблема загрязнения водопроводных сетей // Инновационная наука. 2016. №6-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-zagryazneniya-vodoprovodnyh-setey> (дата обращения: 11.04.2025).

5. Обзор о состоянии и об охране окружающей среды новгородской области в 2022 году. Нижний Новгород, 2023. – 434 с.

6. Об итогах контроля качества питьевой воды за 1 квартал 2025 год [электронный ресурс]: <https://www.53.rospotrebnadzor.ru/?p=21379> (дата обращения 02.05.2025).

7. Максимюк Н.Н., Гридасов И.А., Богдашов Д.С. Качество питьевой воды – важная экологическая проблема человечества // Стихия вода: материалы Межрегиональной научно-практической конференции, Петрозаводск, 27 июня 2023 года. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом Стелла», 2023. – С. 41-57.

8. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. – 707 с.

9. Голиков Р.А., Суржигов Д.В., Кислицына В.В., Штайгер В.А. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения (обзор литературы) // Medical sciences. 2017. № 5. С. 20-31.

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

11. 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.

<sup>1</sup>Старостина И.В., канд. техн. наук, доцент,

<sup>1</sup>Лифинцев А.Н., аспирант,

<sup>1</sup>Бек С.С., аспирант,

<sup>2</sup>Гулиев В., преподаватель,

<sup>1</sup>Апри С., студент,

<sup>1</sup>Шевцова Р.Г., канд. хим. наук, доцент,

<sup>1</sup>Лушников А.С., аспирант

(1 – БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия,

2 – ОГАПОУ «Белгородский политехнический  
колледж», Белгород, Россия)

## **КОМПОЗИЦИОННЫЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЙ СОРБЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЭМУЛЬГИРОВАННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД**

*В работе показана возможность использования для извлечения эмульгированных нефтепродуктов из модельных водных сред композиционных углеродсодержащих сорбционных материалов, полученных на основе промышленных отходов – отработанного диатомитового шлама производства рафинированных масел и пыли очистки отходящих газов производства керамзитового гравия.*

*Ключевые слова: диатомитовый шлам, керамзитовая пыль, длительность карбонизации, эмульгированные нефтепродукты, эффективность очистки*

Нефть и нефтепродукты относятся к самым распространенным загрязняющим веществам, оказывающим наибольшее отрицательное воздействие на живые организмы и окружающую среду. Загрязнение водоемов нефтепродуктами является очень стойким и распространяется на большие расстояния. Нефтепродукты образуют на поверхности воды пленку, ухудшающую газообмен в поверхностных слоях, препятствующую проникновению света, и, как следствие, замедляющую процесс фотосинтеза. В толще воды нефтепродукты находятся в эмульгированном и растворенном виде. Тяжелые фракции, образующиеся в водоеме в ходе естественного разложения нефтепродуктов, загрязняют дно, накапливаясь в донных осадках, или в виде «мусса» загрязняют поверхность берегов и узкие расщелины, губительно влияя на все живое. Попав в водную среду нефть распределяется по ее профилю и оказывает влияние на все виды

микроорганизмов, обитающих как в поверхностном слое, так и в толще воды и в ее донных отложениях.

Лимитирующим показателем влияния нефтепродуктов на поверхностные водоемы является органолептический. Исследования показали, что даже при содержании нефти  $0,1 \text{ мг/дм}^3$  придает рыбе привкус и специфический запах нефти, неустранимый ни при каких технологических приемах обработки [1, 2]. Т.е. нефтепродукты способны вызвать изменение органолептических свойств воды в концентрациях значительно меньше предельно-допустимых значений.

Для удаления нефти и нефтепродуктов из водных сред используются различные методы - механические, химические, физико-химические, термические и биологические [3]. Для извлечения эмульгированных нефтепродуктов используют глубокую очистку с применением физико-химических (флотация, коагуляция, флокуляция, сорбция, коалесценция и др.) и химических методов (добавление реагентов - кислот, солей, деэмульгаторов) [4, 5]. На сегодняшний день широкое распространение получил адсорбционный метод, что обусловлено высокой эффективностью очистки, а также низкой стоимостью и доступностью используемых адсорбентов. С этой целью используются разнообразные материалы - как природные, так и синтетические, а также отходы промышленного и сельскохозяйственного производства [6].

В последние годы особое внимание уделяется получению и применению углеродных и углеродсодержащих сорбционных материалов. Для их получения используется преимущественно процесс карбонизации. Источником сырья могут служить минеральные и растительные материалы, отходы растениеводства – мох, бурый уголь, рисовая шелуха, жом сахарного тростника, скорлупа различных орехов, древесные опилки и лиственный опад [7]. Так, для удаления нефти и нефтепродуктов известно использование композиционного сорбционного материала, полученного перемешиванием порошковых компонентов - терморасширенного графита (ТРГ) и полиэтилентерефталат (ПЭТФ) с последующим формованием таблеток при температуре  $250^\circ$  в бескислородной среде [8]. Показано, что при расходе сорбционного материала в количестве  $0,2 \text{ г}$  на  $1 \text{ дм}^3$  сточной воды с начальным содержанием нефтепродуктов до 300 ПДК обеспечивается эффективность очистки 98-99%. Максимальная сорбционная емкость материала составила  $1528 \text{ мг/г}$ .

В работе [9] показано использование в качестве сырья для получения

нефтесорбентов оболочки гречихи. Совместное использование термической обработки и химической модификации 30%-ным раствором тетрафторбората аммония позволило получить материал с сорбционной емкостью по нефти до 6,3 г/г, по отработанному маслу – 5,2 г/г.

В данной работе рассматривается возможность использования композиционных углеродсодержащих сорбционных материалов (КУСМ), полученных из промышленных отходов – отработанного диатомитового шлама маслоэкстракционного производства и пыли очистки отходящих газов обжиговых печей производства керамзитового гравия, для очистки модельных водных сред от эмульгированных нефтепродуктов.

Отработанный диатомитовый шлам – масса грязно-белого цвета, образующаяся на стадии винтеризации - удаления восковых и воскоподобных веществ процесса рафинирования растительных масел. Представляет собой сложную физико-химическую систему из минеральной основы – диатомита и высокомолекулярных органических веществ – растительного масла, растительных восков и воскоподобных веществ.

Минеральная составляющая шлама – диатомит – легкая порода осадочного происхождения, образованная остатками диатомовых водорослей – диатомей и радиолярий с примесями глинистых минералов, представлена в основном (86,54%) аморфными кремнегидратами различной степени обводнения –  $n\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , химический состав показан в табл.1.

Содержание минеральной части (диатомита) в составе отработанного шлама – до 40 - 50%, содержание органических примесей – 50 - 60%.

Таблица 1 – Химический состав минеральных компонентов, мас. %

материал	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
диатомит	5,85	0,54	4,4	0,89	83,54	0,36	2,9	0,06
керамзитовая пыль	1,74	3,01	17,85	9,7	59,12	2,26	0,81	0,93

Керамзитовая пыль (КП) – пылевидный отход, образующийся при очистке отходящих газов обжиговых печей производства керамзитового

гравия, АО «ЖБК-1», г. Белгород. Химический состав представлен в табл.1. Гранулометрический состав керамзитовой пыли определен ситовым методом, результаты которого представлены в табл. 2. К наиболее представительной фракции относятся частицы с диаметром от 0,14 до 1,0 мм, что составляет 84,75 %.

Таблица 2 – Результаты ситового анализа керамзитовой пыли

Размер ячейки сит, мм	Остаток на сите, %
2,000	0,21
1,400	0,82
1,000	5,51
0,630	14,39
0,315	38,15
0,200	18,76
0,140	7,94
0,100	4,26
0,080	1,61
0,063	2,14
менее 0,063	6,17

Диатомитовый шлам смешивали с керамзитовой пылью в количестве 10% от общей массы компонентов, полученную массу обрабатывали при температуре 450°C в течение 15, 30 и 60 минут в условиях недостатка кислорода, охлаждали до комнатной температуры и измельчали до порошкообразного состояния. В качестве сорбционного материала использовали фракцию менее 0,315 мм.

В качестве нефтепродукта применяли минеральное масло марки И-20А. Для исследований в качестве модельной жидкости использовали водномаслянную эмульсию с концентрацией масла 100 мг/дм<sup>3</sup>. Эмульсию готовили перемешиванием дистиллированной воды и масла с помощью шейкера в течение 24 часов. Начальная мутность модельной эмульсии составила 130 NTU. Очистку модельных водных сред от эмульгированных нефтепродуктов производили методом адсорбции в статических условиях: в колбу помещали 100 мл модельного стока, адсорбционный материал, перемешивали шейкером течение 1 час. Массу адсорбента варьировали от 0,5 до 2,0 г. Далее отработанный

адсорбционный материал отделяли центрифугированием и анализировали мутность осветленной воды.

Эффективность чистки модельной эмульсии,  $\mathcal{E}$ , %, определяли по изменению мутности согласно формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{M_n - M_k}{M_n} \cdot 100,$$

где  $M_n$ ,  $M_k$  – соответственно начальная и конечная мутность нефтесодержащей модельной эмульсии, NTU.

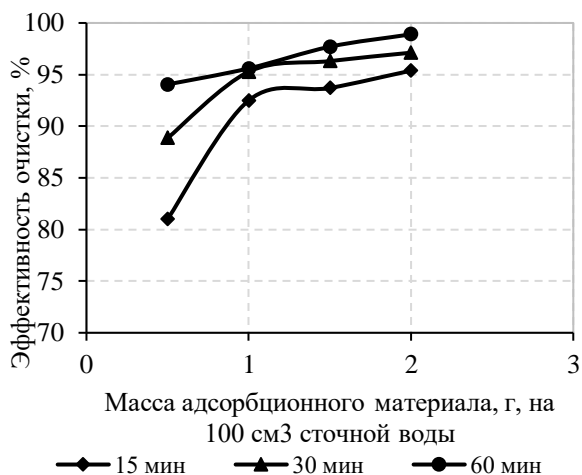


Рис. 1. Зависимость эффективности извлечения эмульгированных НП от расхода сорбционных материалов, полученных при различных условиях термической обработки.

Полученные результаты, представленные на рис. 1 показали, что увеличение длительности термообработки при температуре 450°C КУАМ способствует повышению эффективности извлечения эмульгированных нефтепродуктов из модельной эмульсии на всем анализируемом интервале расхода сорбционных материалов. Но необходимо отметить, что с целью снижения энергоемкости процесса получения сорбционного материала, а, следовательно, и уменьшения его стоимости, длительность термообработки можно рекомендовать в



интервале от 15 до 30 мин. Оптимальный расход сорбента составит 1 г на 100 см<sup>3</sup> модельной эмульсии, что обеспечивает эффективность очистки от 90,5% до 95,6%. При дальнейшем увеличении расхода сорбционного материала эффективность извлечения эмульгированных НП возрастает незначительно.

*Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.*

### **Библиографический список**

1. Лапин А.П., Новиков А.Н., Глухов А.В., Садыков Р.Р. Опасное и вредное воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду // Мир транспорта и технологических машин. 2009. № 1/24 (565) (январь-март). С. 98-106.
2. Демьянова Н.А., Сентюрова М.В., Васильев С.И., Надейкин И.В. Удаление тонких нефтяных пленок с водной поверхности // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 10. С.46-49.
3. Буренин В.В. Новые гидравлические фильтры и устройства для очистки и обезвреживания производственных сточных вод // Экология и промышленность России. 2011. Октябрь. С. 8-11.
4. Шайхиев Т.А. Очистка сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов мембранами, обработанными коронным разрядом: дисс. ...канд. техн. наук: 03.02.08 / Казанский национальный исследовательский технологический университет. Казань, 2017. 157 с.
5. Starostina I.V., Nikitina A.E., Kosukhin M.M., Starostina Y.L. Efficient carbonaceous sorbent based on the waste sludge of oil extraction industry for purifying wastewater from petroleum products // International Journal of Engineering and Technology(UAE). 2018. Vol. 7. № 2. pp. 266-269.
6. Патент RU Способ получения гидрофобного кремнезема 2293057 С2 / Пудовик С.Т., Кадырова А.Р., Харлампики Х.Э., опубл. 10.02.2007, Бюл. № 4.
7. Домрачева В.А., Трусова В.В. Использование углеродного сорбента АБЗ для очистки сточных вод от нефтепродуктов // Водоочистка. 2013. № 3. С. 22-28.
8. Бухаров Е.А., Татаринцева Е.А., Захапевич А.М. Изучение физико-химических и сорбционных свойств на основе ТРГ // Журнал ЭиПБ. 2014. № 1-2. С 18-20.
9. Еремеева Н.М., Ибрагимов А.А., Свешникова Е.С. Панова Л.Г. Углеродные сорбенты нефти и нефтепродуктов на основе вторичного целлюлозосодержащего сырья крупяного производства гречихи // Экология и промышленность России. 2015. Т.19, № 8. С. 39-43.

Файзетдинова Д.И., бакалавр,  
Мартышкин К.Н., аспирант,  
Санатуллова З.Т., канд. техн. наук, доц.,  
Шайхиева К.И., канд. техн. наук, доц.  
(КНИТУ, г. Казань, Россия)

## **ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА НЕФТЕЕМКОСТЬ И ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ОБОЛОЧЕК ЗЕРЕН ГОРОХА (*PISUM SATIVUM*)**

*Исследовано влияние высокочастотной низкотемпературной емкостной плазмы пониженного давления на изменения водопоглощения и нефтеемкости оболочек зерен гороха. Определено, что плазменная обработка способствует снижению водопоглощения и повышению нефтепоглощения плазмобработанных образцов оболочек зерен *Pisum sativum*. Определено, что наилучшие показатели удаления нефти с водной поверхности достигнуты для образца, обработанного плазмой в режиме 3:  $P - 26,6$  Па,  $I - 0,6$  А,  $U_a - 2,5$  кВ,  $T - 10$  мин,  $Q - 0,06$  г/сек.*

*Ключевые слова:* оболочки зерен гороха, водопоглощение, нефтеемкость, плазма, обработка

В настоящее время в мировом пространстве довольно интенсивно развивается новое инновационное направление в области охраны водного бассейна от поступления различных видов поллютантов – использование отходов переработки древесной биомассы и сельскохозяйственного сырья в качестве реагентов для очистки водных сред от загрязняющих веществ [1-10]. Попадание нефти и продуктов ее переработки в природные водоисточники в результате техногенных аварий являются в настоящее время одной из приоритетнейших экологических проблем. Разливы углеводородов на водной поверхности и оседание тяжелых фракций на дно водоемов наносят колоссальный вред гидробионтам, вплоть до гибели последних. Поэтому удалению нефтеразливов в настоящее время уделяется пристальное внимание. Как показал анализ литературных источников, из всех методов ликвидации разливов углеводородов с водной поверхности, сорбционный является наиболее эффективным и употребляемым. Однако, применяемые промышленные нефтесорбенты зачастую имеют низкие показатели нефтепоглощения, дороги и не всегда бывают в месте возникновения аварии. В этой связи, в качестве нефтесорбентов интенсивно

исследовались отходы от переработки сельскохозяйственного сырья, такие как в частности, солома и плодовые оболочки зерен [11-15], сердцевина кукурузных початков [16], банановая кожура [17], багасса сахарного тростника [18], кожура мандаринов [19] и др. Отходы от переработки бобовых культур (оболочки стручков и зерен) также проявляют свойства эффективных сорбционных материалов для удаления различных поллютантов из водных сред [20, 21]. Также выявлено, что оболочки стручков гороха (*Pisum sativum*) могут применяться в качестве нефтесорбентов [22, 23]. При лущении зерен гороха на элеваторах или перерабатывающих предприятиях образуются отходы в виде оболочек зерен *Pisum sativum*. Последние не используются в качестве вторичных материальных ресурсов, а захораниваются на полигонах промышленных отходов или в буртах, где сгнивая ухудшают экологическую обстановку прилегающих территорий. Ранее оболочки зерен гороха (ОЗГ) также исследовались в качестве нефтесорбентов [24]. Однако, как выявлено, сдерживающим фактором является невысокая максимальная сорбционная емкость реагента по нефти (4,46 – для нефти карбонового отложений и 3,2 г/г – для нефти девонского отложений) и высокое значение максимального водопоглощения (5,24 г/г для дистиллированной воды и 4,02 г/г – для морской) [24]. Т.е., при сорбции углеводородов с водной поверхности, большая площадь сорбционного материала будет занята водой, что снижает его сорбционные характеристики по нефтепродуктам. Данное обстоятельство требует усиления гидрофобных характеристик и олеофильности сорбционного материала. Как показывает анализ литературных источников, для снижения гидрофильности используют обработку различными химическими реагентами, такими как силоксановые жидкости [25], жирные кислоты, различные полимеры, кислоты и щелочи. Весьма эффективным способом изменения гидрофильно-гидрофобных свойств поверхности сорбционных материалов является плазменная обработка. Ранее, в ряде публикаций сотрудниками кафедры Инженерной экологии КНИТУ показано, что в зависимости от состава плазмообразующего газа, возможно увеличить или уменьшить гидрофильность того или иного сорбционного материала. В свете вышеизложенного, проводилась обработка ОЗГ высокочастотной емкостной низкотемпературной плазмой пониженного давления в среде метана в качестве плазмообразующего газа. Плазменная обработка проводилась с варьированием параметров процесса, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы плазмообработки оболочек зерен гороха

Режим плазмообработки	Р, Па	I, А	Ua, кВ	T, мин	Q, г/сек
1	26,6	0,6	1,5	1	0,06
2			2,0	5	
3			2,5	10	

Условные обозначения Р – давление в рабочей камере плазмотрона, Па; I – сила тока на аноде, А; U – напряжение на аноде, кВ; Q – расход плазмообразующего газа (метана), г/сек; T – время обработки, мин.

После проведения плазменной обработки, также определялись значения максимального водопоглощения (по дистиллированной воде), которые составили, соответственно: после плазмообработки в 1 режиме – 3,79 г/г, во 2 режиме – 2,49 г/г и в 3 режиме – 1,72. Напомним, что для нативных ОЗГ данный показатель составил по дистиллированной воде 5,24 г/г. Как следует из приведенных данных, обработка плазмой привела к существенному снижению максимального водопоглощения. Наименьшее значение названного параметра наблюдалось при обработке сорбционного материала в 3 режиме. Также определялись значения максимальной нефтеемкости для плазмообработанных образцов ОЗГ. Полученные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения максимальной нефтеемкости нативных и плазмообработанных оболочек зерен *Pisum sativum*

Режим плазмообработки	Вид нефти	
	Карбонового отложения	Девонского отложения
Нативный образец	4,46	3,02
1	6,67	6,72
2	6,99	5,19
3	8,18	6,00

Как следует из приведенных в таблице 2 данных, обработка плазмой образцов сорбционного материала приводит к увеличению значений максимальной нефтеемкости. Наибольшие значения наблюдаются у образца, обработанного плазмой в 3 режиме. Далее проводились эксперименты по определению степени извлечения нефтей девонского и карбонового отложений с водной поверхности. Для этого на

поверхность воды в чашке Петри наливалось по 3 см<sup>3</sup> нефти (масса девонской нефти – 2,69 г, масса карбоновой нефти – 2,73 г) и вносился 1 г сорбционного материала. После 30 минут контактирования сорбата с сорбционным материалом, насыщенные водой и нефтью ОЗГ извлекались и в воде определялось остаточное количество несорбированной нефти. Значения эффективности извлечения нефти с водной поверхности нативными и плазмообработанными образцами сорбционных материалов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения эффективности удаления нефтей девонского и карбонового отложений с водной поверхности нативными и плазмообработанными образцами оболочек зерен гороха

Режим плазмообработки	Эффективность удаления нефти с водной поверхности (объем прилитой нефти – 3 см <sup>3</sup> )	
	Карбонового отложения	Девонского отложения
Нативный образец	85,78	76,15
1	89,73	78,62
2	94,50	84,01
3	95,78	93,31

Как следует из приведенных в таблице 3 данных, эффективность извлечения нефти с водной поверхности плазмообработанными образцами исследуемого сорбционного материала выше такового показателя для нативных образцов ОЗГ. Наилучшие показатели достигнуты для образца, обработанного плазмой в режиме 3: Р -26,6 Па, I -0,6 А, U<sub>a</sub> – 2,5 кВ, Т – 10 мин, Q – 0,06 г/сек.

### Библиографический список

1. Farhadi A., Ameri A., Tamjidi S. Application of agricultural wastes as a low-cost adsorbent for removal of heavy metals and dyes from wastewater: a review study // Physical Chemistry Research. 2021. Vol. 9. No 2. P. 211-226.
2. Topare N.S., Wadgaonkar V.S. A review on application of low-cost adsorbents for heavy metals removal from wastewater // Materials Today: Proceedings. 2023. Vol. 77. P. 8-18.
3. Bio-waste valorisation: Agricultural wastes as biosorbents for removal of (in) organic pollutants in wastewater treatment / N. Karić, A.S. Maia, A. Teodorović et al. // Chemical Engineering Journal Advances. 2022. Vol. 9. Article 100239. P. 1-17.

4. Шайхиев И.Г. Использование отходов сельского хозяйства для очистки сточных вод гальванических производств // Вестник машиностроения. 2006. № 4. С. 73-77.
5. 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.
6. 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.
7. Kainth S., Sharma P., Pandey O.P. Green sorbents from agricultural wastes: A review of sustainable adsorption materials // Applied Surface Science Advances. 2024. Vol. 19. Article 100562. P. 1-21.
8. Asemave K., Thaddeus L., Tarhemba P.T. Lignocellulosic-based sorbents: a review // Sustainable Chemistry. 2021. Vol. 2. No 2. P. 271-285.
9. Valorization of wood waste as biosorbent for the removal of organic and inorganic contaminants in water / N.S.N. Sazman, N.I. Izhar, N.R. Mohamad Azaludin et al. // Wood Waste Management and Products 2023. P. 59-78.
10. Thakur A., Kumar A., Somya A. Forestry and agricultural residues-based wastes: fundamentals, classification, properties, and applications // Biomass Wastes for Sustainable Industrial Applications. 2025. P. 95-139.
11. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводов 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.
12. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводов 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.
13. Ouyang D., Lei X., Zheng H. Recent advances in biomass-based materials for oil spill cleanup // Nanomaterials. 2023. Vol. 13. No 3. Article 620. P. 1-37.
14. A Treatment of oil spills with natural sorbents: A review / O.A. Odunlami, E.O. Odiakaose, I. Owoicho et al. // International Journal of Recent Research in Physics and Chemical Sciences. 2022. Vol. 9. P. 16-25.
15. Использование отходов от переработки злаковых культур для удаления разливов углеводов 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. 27-32-12.

16. Влияние кислотной модификации сердцевины 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.
17. 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.
18. Oil spill sorption using raw and acetylated sugarcane bagasse / R. Behnood, B. Anvaripour, N. Jaafarzadeh, M. Farasati // Journal of Central South University. 2016. Vol. 23. P. 1618-1625.
19. Biocompatible and biodegradable surfactants from orange peel for oil spill remediation / P.S. Wang, A. Ahmad, M. Nazar et al. // Molecules. 2023. Vol. 28. No 15. Article 5794. P. 1-13.
20. Прокопенко Т.А., Степанова С.В., Шайхиев И.Г. Исследование возможности удаления ионов тяжёлых металлов из водных сред отходами от переработки бобовых культур // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 8. С. 60-64.
21. 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 загрязнителей из водных сред (обзор литературы) // Химия растительного сырья. 2021. № 4. С. 47-64.
22. Отход сельскохозяйственного производства в качестве сорбционного материала для ликвидации разливов углеводородов и его экстракт для ингибирования коррозии промышленного оборудования / К.И. Шайхиева, А.С. Макарова, Д.Д. Фазуллин, С.В. Степанова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 2(136). С. 183-195.
23. Шайхиева К.И. Разработка технологии переработки оболочек стручков гороха в сорбционные материалы. Дисс.... канд. техн. наук; Казань, КНИТУ, 2024. 160 с.
24. О возможности использования оболочек зерен гороха (*Pisum sativum*) в качестве нефтесорбента / Д.И. Файзетдинова, К.Н. Мартышкин, З.Т. Санатуллова, К.И. Шайхиева // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности», Казань, 2024. С. 239-244.
25. Sorbent system based on organosilane-coated polyurethane foam for oil spill clean up / M.V.G. Zimmermann, A.J. Zattera, B.R. Fenner, R.M.C. Santana // Polymer Bulletin. 2021. Vol. 78. P. 1423-1440.

Федоров Е.А., студент,  
Кручинина Н.Е., д-р техн. наук, проф.  
(РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

## ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*В статье автор рассматривает процесс интенсификации влагоотдачи и очистки фугата от взвешенных веществ с применением природных сорбентов и коагулянта в поле центробежной силы. Очистки фугата составила 95%, а влагоотдача 64,2%.*

*Ключевые слова: глина, аргиллит, опока, влагоотдача, коагулянт, механическое обезвоживание, центрифугирование, соль титана, минеральная добавка, шлам.*

Современный этап развития человечества и рост объемов производств ведет к увеличению объемов потребляемой воды, что, в свою очередь, увеличивает объемы сточных вод. Очистка сточных вод от различных поллютантов является одним из важнейших направлений в рациональном использовании природных ресурсов и переработки техногенного сырья.

Выбор метода очистки сточных вод напрямую зависит от типа производства. Традиционно все процессы очистки воды разделяют на: механические (центрифугирование, отстаивание и др.), химические (окисление, нейтрализация и др.), биологические (аэробные и анаэробные), физико-химические (коагуляция, флотация и др.) и комбинированные.

В процессе работы предприятий образуются осадки сточных вод и водоподготовки, сложность утилизация которых, несет за собой экологические риски и требует создания новых методов обработки. Внедряемые технологии кондиционирования осадков должны быть не только эффективными, но экономически обоснованными, а главное реализовывать основную цель - минимизацию негативного воздействия на окружающую природную среду. С ростом урбанизации, освоения земель и увеличению объемов сельского хозяйства возрастает стоимость земель, что требует увеличения объема отчуждаемых земель под иловые площадки и полигоны. Использование сооружений накопления и захоронения осадков требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат, а также применения специальных ставок и



плат за негативное воздействие на окружающую среду. Продуктом очистки сточных вод является осадок. Целью обработки осадка является его восстановления из потенциально опасного загрязняющего вещества в полезный рекультивируемый материал (продукт), способствующий улучшению окружающей среды и снижения негативного влияния.

Сточные воды мясоперерабатывающей промышленности представляют собой полидисперсную и многокомпонентную систему, образующиеся при мойке и вымачивании мясного сырья, при душевой отмывке колбас, в агрегатах их термической обработки, при мытье оборудования, тары и пола. Загрязнения присутствуют в стоках во всех видах дисперсного состояния: растворенном, коллоидном, эмульгированном [1]. Они содержат частицы жира, мяса, крови, белков, небольшие количества нитрита, селитры и соли. Кроме того, в сточные воды в больших количествах поступают поваренная соль, нитраты, моющие средства.

Объемы образования осадка флотационной очистки сточных вод пищевой промышленности в России по данным отчета ТП-2 (отходы) Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) за 2024 год составили 21118,18 тыс. тонн, а поступление отходов из других хозяйствующих субъектов 106934,39 тыс. тонн. Большая часть отходов отправлена на обезвреживание и утилизацию, а 3750 тыс. тонн передано для захоронения другим хозяйственным субъектам и 715 тыс. тонн размещены на эксплуатируемых объектах самих производств.

Целью данной работы является разработка технологии обезвреживания осадков процесса флотационной очистки сточных вод мясоперерабатывающей промышленности. Основной задачей исследования является изучение влияния различных минеральных добавок на эффективность процесса влаготдачи осадка сточных вод и очистки фугата от поллютантов.

Объектом исследований является светло-серый, вязкотекучий, дурно пахнущий осадок с влажностью 98% со стадии физико-химической очистки сточной воды мясоперерабатывающего производства (коагуляция/флокуляция+напорная флотация), плотность варьируется от 1,009 до 1,03 г/см<sup>3</sup>, содержанием взвешенных частиц от 700 до 1200 мг/дм<sup>3</sup>.

Для модификации структуры осадка с целью увеличения влаготдачи был применен ряд природных минеральных добавок – палыгорскитовая и бентонитовая глины, сцементированный глинистый

аргиллит, микрозернистая микропористая кремнёвая осадочная горная порода опока [2]. Вскрышные породы не нашли широкого применения и накапливаются ежегодно.

Палыгорскит – гидроксил силикат магния и алюминия из группы слоисто-цепочных силикатов. Данная глина содержит примерно 61%  $\text{SiO}_2$ , 7%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 15%  $\text{MgO}$ , 1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и 30%  $\text{H}_2\text{O}$  и имеет кристаллическую структуру, и высокую гидрофильности. Кроме того, палыгорскит формирует жёсткий скелет на фильтрующей поверхности, препятствует слипанию частиц осадка и их деформации.

Бентониты – это тонкодисперсные и плотные глинистые породы, жирные на ощупь, хорошо разбухающие при гидратации. Сорбционная способность данной породы основывается на их способности обмениваться ионами. В основном бентонит состоит из монтмориллонита –  $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Опока – микропористая кремнистая осадочная горная порода. В состав опоки в основном входит микрозернистого водного аморфного кремнезема (до 97%) с включениями глины, песка, глауконита и др. Для этой породы характерна большая пористость и гигроскопичность. Аргиллит – это твердая порода, является продуктом дегидратации, прессования и перекристаллизации глин, происходящих при диагенезе и эпигенезе. Данные сцементированные глинистые частицы отличаются от глин своей высокой прочностью и неспособностью размокать в воде. Основываясь на том, что эффективность коагулянта тем выше, чем выше валентность коагулирующего иона для дополнительной модификации был использован водный раствор тетрахлорида титана  $\text{TiCl}_4$ . [3,4]. Титаносодержащие коагулянты были исследованы на сточной воде спиртовой промышленности, содержащие в себе большое количество растворенных органических веществ. [5]

Исследования проводились методом центрифугирования марки ОПн-8 (Россия). На основе ряда предварительных экспериментов была определена эффективная скорость центрифугирования ( $3000 \text{ мин}^{-1}$ ) и время равное 5 минутам. Для проведения эксперимента брали осадок объемом 20 мл и взвешивали, после вносили добавки в виде глин, аргиллита, опоки и водного раствора тетрахлорида титана  $\text{TiCl}_4$ . Опытным путем установили эффективную дозу коагулянта –  $5 \text{ мг/дм}^3$ . При совместном использовании коагулянта и добавок в виде глин, аргиллита и опоки – коагулянт вносили после природных сорбентов. В осадок сточных вод вносили природные сорбенты с дозой от  $5 \text{ г/дм}^3$  до  $25 \text{ г/дм}^3$ .

По окончании центрифугирования фугат сливали в цилиндр для фиксации объема с последующим определением оптической плотности на приборе КФК-3 при длине волны  $\lambda = 640$  нм. На основе данных оптической плотности определяли содержание взвешенных веществ, а степень обезвоживания осадка определяли гравиметрическим методом.

Эффективность эксперимента оценивалась по показателю влагоотдачи и величине оптической плотности, определяющая количество взвешенных частиц. Внесение в осадок сточных вод перед механическим обезвоживанием палыгорскитовой и бентонитовой глин, сцементированного глинистого аргиллита, микрозернистой микропористой кремнёвой осадочной горной породы не оказывает существенного влияния на процесс влагоотдачи. В холостой пробе показатель влагоотдачи составил 64,2%. С постепенным увеличением доз с 5 до 22,5 г/л показатель влагоотдачи возрастает и достигает 69% у бентонита, 65,5% у палыгорскита, 66,3% у опоки и 67,9% у аргиллита. Влияние добавок на содержание взвешенных веществ в фугате выражено более ярко. Наибольшее снижение содержания взвешенных веществ наблюдается при использовании аргиллита – степень очистки 42,8% и составила 506,2 мг/дм<sup>3</sup>. Эффективность очистки фугата для других образцов составила для бентонита - 39,2% (547,1 мг/дм<sup>3</sup>), палыгорскита - 32,1% (604,3 мг/дм<sup>3</sup>), и опоки - 40% (547,2 мг/дм<sup>3</sup>). Все данные указаны при добавлении максимальной дозы в 22,5 г/л. Модификация структуры осадка добавками с участием коагулянта на основе соли титана положительно влияет на показатель влагоотдачи и степень очистки от взвешенных частиц. В пробе без добавок содержание взвешенных частиц составило 960,8 мг/дм<sup>3</sup> а влагоотдача 59,2%. Наибольшее влияние при максимальной дозе 25 г/л показал аргиллит – содержание взвешенных веществ уменьшилось на 97% до значения 28,1 мг/дм<sup>3</sup>, влагоотдача возросла до 64,2%. Палыгорскит и опока на очистку фугата от взвешенных веществ повлияли менее эффективно – 78,8% и 85,6% соответственно. Но на объём фугата и влагоотдачу не повлияли. При добавлении бентонита очистка фугата от взвешенных веществ составила 75,4%, влагоотдача выросла до 62,9%. Как положительный факт можно отметить то, что при сравнении результатов проб, где добавили исключительно TiCl<sub>4</sub>, с опытами при совместном добавлении аргиллита с участием коагулянта, влагоотдача и объём фугата, при условии его высокой очистки от взвешенных веществ, растут. Аргиллит повлиял на эти показатели максимально эффективно: влагоотдача выросла на 5,2%, а объём фугата на 7,8%.

Модификация структуры осадка перед механическим обезвоживанием путем внесения природных сорбентов и коагулянта на основе соли титана преобразует вязкотекучий, дурно пахнущий осадок сточных вод в осветленный фугат без запаха и шлам с плотной структурой.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что внесение в осадок сточных вод мясоперерабатывающего производства природного сорбента аргиллита эффективно влияет на процесс влагоотдачи и очистки фугата от взвешенных веществ и может существенно уменьшить объемы осадка сточных вод, вывозимых на полигоны для хранения и захоронения. Несмотря на то, что эффективность других природных сорбентов ниже, это не исключает перспективы их использования для интенсификации влагоотдачи и очистки фугата от взвешенных веществ. Важным в исследовании является еще и то, что внесение водного раствора тетрахлорида титана  $TiCl_4$  при очистке осадка сточных вод, вызывает повышенный интерес [6] в связи с показанной эффективностью. Применение данного коагулянта в совокупности с природными сорбентами может снизить реагентные затраты.

### Библиографический список

1. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник / Ю. В. Воронов [и др.] – изд. 5-е, доп. и перераб. – М.: Академия, 2016. – 702 с.
2. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость [Текст] / С. Грег, К. Синг. – М.: Мир. – 1984. – 310 с.
3. Kuzin, E. N. Titanium-containing coagulants for foundry wastewater treatment / E. N. Kuzin, N. E. Kruchinina // CIS Iron and Steel Review. – 2020. – Vol. 20. – P. 66-69.
4. Кручинина, Н. Е. Использование коагулянтов на основе хлоридов титана и кремния в процессах очистки фильтрата полигона твердых коммунальных отходов / Н. Е. Кручинина, Е. Н. Кузин, С. В. Азопков // Химическая промышленность сегодня. – 2017. – № 8. – С. 36-40.
5. Башмакова О.В., Керселян К.С., Кузин Е.Н., Кручинина Н.Е. Очистка сточных вод спиртовой промышленности комплексными коагулянтами // Успехи в химии и химической технологии. – 2020.
6. Кузин Е. Н. Кручинина Н. Е. Исследование процесса гидролиза и химической активности водных растворов  $TiCl_4$  // Неорганические материалы. – 2019. – Т. 55, № 8. – С. 885-889.

Хабибрахманова Е.Н., аспирант,  
Шайхиев И.Г., д-р. тех. наук, проф.  
(КНИТУ, г. Казань, Россия)

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНОПЛЯНОЙ КОСТРЫ В КАЧЕСТВЕ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИОНОВ НИКЕЛЯ ИЗ МОДЕЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОД.

*Исследован процесс адсорбции ионов  $Ni^{2+}$  с применением конопляной костры в качестве сорбционного материала в нативном и модифицированном виде. Определено, что процесс адсорбции наиболее точно описывается моделью Ленгмюра.*

*Ключевые слова: модельная сточная вода, ионы  $Ni^{2+}$ , измельченная конопляная костра, адсорбция, модель Ленгмюра.*

Загрязнение природных вод ионами тяжелых металлов является проблемой мирового масштаба. Супертоксикианты попадают в воду со сбросами гальванических производств, предприятий черной и цветной металлургии, горнодобывающей промышленности и машиностроительных заводов. Очистка сточных вод от ионов тяжёлых металлов в настоящее время является актуальной и необходимой для здоровья и процветания человеческой жизни. Таким образом, поиск эффективных и экономически выгодных методов очистки сточных вод от супертоксикиантов является на сегодняшний день актуальной задачей. В настоящее время в мировом сообществе интенсивно развивается новое направление в области охраны окружающей среды, в частности, водных сред – использование отходов сельскохозяйственного и промышленного производства в качестве реагентов для удаления различных поллютантов из природных и сточных вод [2-5]. Данная тема настолько популярна и актуальна, поэтому существует большое количество публикаций и научных работ. Анализируя исследования, мы выяснили, что подавляющее большинство сельскохозяйственных отходов исследованы в качестве сорбционных материалов (СМ) различных поллютантов из водных сред. В этой связи, формируется новое направление в вышеуказанной области – использование в качестве СМ биомассы и отходов от переработки прядильных культур [6–7]. Костра – это одревесневшие части стеблей прядильных растений, получаемые при мятье и трепании льна, конопли, кенафа, кендыря.

Костра составляет 65-70 % массы лубяного стебля и, в основном, состоит из целлюлозы (45-58 %), лигнина (21-29 %) и пентозанов (23-26 %) [7]. Конопляная костра широко применяется в промышленности для изготовления эпоксидных композиционных материалов [6]. Так же успешно применяется в строительстве (костробетон), садоводстве (мульча), получении гуматно-фульватного комплекса (ГФК) и т.д. Благодаря своим физико-химическим свойствам, конопляная костра также может являться хорошим сырьем для производства мелиорантов и биосорбентов. В свете вышеизложенного, исследовалась возможность использования конопляной костры в качестве сорбционного материала для удаления ионов тяжелых металлов из водных сред. Мы определили, что конопляная костра имеет значение насыпной плотности  $0,12 \text{ г/см}^3$ . Влажность конопляной костры составляет 6,5 %, значение зольности – 18%. Первостепенной задачей являлось построение изотермы адсорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  нативной и модифицированной конопляной кострой. Для этого были приготовлены растворы с концентрацией ионов меди от 5 до 2000  $\text{мг/дм}^3$ . При различных равновесных концентрациях ионов  $\text{Ni(II)}$  по полученным значениям сорбционной емкости (А) были построены изотермы адсорбции. Проводилась обработка конопляной костры 3%-ными растворами серной кислоты и гидроксида натрия при 20 °С. Модификацию проводили в плоскодонных колбах на лабораторном шейкере в течение 5 часов. Изотермы адсорбции ионов  $\text{Ni(II)}$  конопляной кострой представлены на рисунке 1.

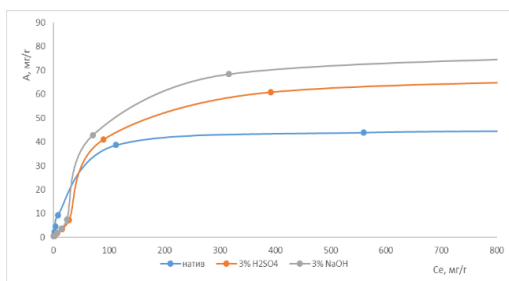


Рис. 1. Изотерма сорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  в режиме статической адсорбции

Согласно классификации Брунауэра, Деминга, Деминга и Теллера (БДДТ) изотермы адсорбции относятся к I типу. По классификации Гильса изотермы можно отнести к L-классу. Описывается

мономолекулярная адсорбция ионов  $\text{Ni}^{2+}$  на биомассе конопляной костры. Общеизвестно, что I тип изотерм характерен для микропористых твердых тел с относительно малой долей внешней поверхности. Стоит отметить, что при модификации сорбционного материала емкость по ионам  $\text{Ni}(\text{II})$  повышается. Наибольшее значение сорбционной емкости  $A = 77,6$  мг/г достигается при использовании в качестве сорбционного материала конопляной костры, обработанной 3% водным раствором гидроксида натрия. Для выявления механизма сорбционного взаимодействия, полученная изотерма адсорбции обрабатывалась с использованием двухпараметровых моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Флори-Хаггинса и Френкеля-Хелси-Хилла [10]. Значения полученных уравнений регрессии и коэффициента аппроксимации  $R^2$  приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Уравнения регрессии и коэффициенты аппроксимации ( $R^2$ ) моделей адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  конопляной кострой

	Изотерма Ленгмюра	Изотерма Фрейндлиха	Изотерма Темкина	Изотерма Френкеля- Хелси-Хилла
Натив.	$y = 0,9211x - 0,0469$	$y = 0,6339x + 0,1565$	$y = 6,9491x + 0,7832$	$y = 1,423x - 0,3217$
	$R^2 = 0,9567$	$R^2 = 0,9021$	$R^2 = 0,9554$	$R^2 = 0,9021$
3% $\text{H}_2\text{SO}_4$	$y = 0,8635x + 0,1222$	$y = 0,7785x - 0,5909$	$y = 6,9591x - 4,1659$	$y = 1,4133x + 0,5625$
	$R^2 = 0,9735$	$R^2 = 0,9607$	$R^2 = 0,8132$	$R^2 = 0,9607$
3% NaOH	$y = 0,6333x + 0,1626$	$y = 0,7282x - 0,1377$	$y = 10,899x - 7,8783$	$y = 1,3095x - 0,6683$
	$R^2 = 0,9334$	$R^2 = 0,9271$	$R^2 = 0,797$	$R^2 = 0,9271$

По анализу данных, приведенных в таблице 1, видно, что во всех трех случаях наиболее точно процесс адсорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  описывается моделью Ленгмюра. Адсорбция происходит на поверхности твердого тела, которая состоит из элементарных участков, каждый из которых может адсорбировать только одну молекулу сорбата. При этом, адсорбция является обратимой. Количество сорбционных центров эквивалентно количеству сорбируемого вещества и способно присоединять сорбат, независимо от того, заняты соседние участки или нет. По адекватности описания изотермы адсорбции ионов  $\text{Ni}^{2+}$  биомассой конопли расположились в следующий

ряд: Ленгмюра > Фрейндлиха = Френкеля-Хелси-Хилла > Темкина. Таким образом, показано, что конопляная костра является хорошим сорбционным материалом, позволяющим в перспективе использовать ее для удаления ИТМ из водных сред. Построена изотерма адсорбции и обчислена в рамках двухпараметровых моделей Ленгмюра, Фрейндлиха, Темкина и Френкеля-Хелси-Хилла. Выявлено, что изотерма адсорбции наиболее точно описывается моделью Ленгмюра. Термодинамические параметры процесса указывают на протекание физической адсорбции. Планируется дальнейшее углубленное изучение данного сорбционного материала.

### Библиографический список

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Минздрав России, 2002. – 62с.
2. Singh S., Chaudhary I.J., Kumar P. Utilization of low-cost agricultural waste for removal of toxic metals from environment: A review // International Journal of Scientific Research in Biological Sciences. - 2019. - vol. 6. - No 4. - P. 56-61.
3. Hemphased adsorbents for sequestration of metals: a review / N. Morin-Crini, S. Loiacono, V. Placet et al. // Environmental Chemistry Letters. - 2019. vol. 17. - No 1. - P. 393-408.
4. Отходы от переработки бахчевых культур в качестве реагентов для удаления загрязняющих веществ из водных сред / И.Г. Шайхiev и др. // Экономика строительства и природопользования. - 2020. - № 3(76). - С. 108-126.
5. Хабибрахманова Е.Н., Шайхiev И.Г. Исследование конопляной костры в качестве сорбционного материала для удаления ионов меди из водных сред // Сборник докладов Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология», Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. - С. 169-174.
6. Домрачев О.А., Хабибрахманова Е.Н., Шайхiev И.Г. Использование конопляной костры в качестве нефтесорбента // Сборник докладов Всероссийской научной конференции «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования», Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. - С. 49-52.
7. Хабибрахманова Е.Н., Шайхiev И.Г., Галимова Р.З., Санатуллова З.Т. Адсорбция ионов меди нативной и модифицированной конопляной кострой // Российский химический журнал, Москва: Ивановский государственный химико-технологический университет, Московское химическое общество им. Д.И. Менделеева, 2024. - С. 31-37.



Халимова К.Р., бакалавр,  
Сафиуллина И.Ф., аспирант,  
Санатуллова З.Т., канд. техн. наук, доц.,  
Шайхиев И.Г., д-р. техн. наук, проф.  
(КНИТУ, г. Казань, Россия)

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАРУЖНЫХ ОБОЛОЧЕК ЛУКОВИЦ В КАЧЕСТВЕ НЕФТЕ- И МАСЛОСОРБЕНТА

*Исследована возможность использования наружных оболочек (шелуха) луковиц в качестве сорбционного материала для извлечения нефти и минеральных масел с водной поверхности вследствие техногенных аварий. Определено, что шелуха лука репчатого (Allium cepa) обладает высокими значениями максимальной нефтеемкости по нефти карбонового отложений и максимальной маслосорбции по маслам*

*Ключевые слова: луковая шелуха, максимальная нефте- маслосорбция, водопоглощение, плазма, обработка*

В настоящее время в мировом пространстве довольно интенсивно развивается новое инновационное направление в области охраны окружающей среды и, в частности, гидросферы – использование многотоннажных отходов от переработки сельскохозяйственного сырья в качестве реагентов для очистки водных сред от загрязняющих веществ [1-10].

Попадание нефти и продуктов ее переработки в природные водоисточники в результате техногенных аварий являются в настоящее время одной из актуальнейших экологических проблем. Разливы углеводородов на водной поверхности и оседание тяжелых фракций на дно водоемов наносят колоссальный вред гидробионтам, вплоть до гибели последних. Ярким примером негативного воздействия нефти и продуктов ее переработки на водные гидробионты и прибрежную береговую зону являются недавние аварии двух танкеров в Азовском море. Экономический ущерб, нанесенный окружающей среде, был оценен в миллиарды рублей. В этой связи, удалению разливов углеводородов с водной поверхности в настоящее время уделяется пристальное внимание.

Как показал анализ литературных источников, из всех методов ликвидации разливов углеводородов с водной поверхности, сорбционный является наиболее эффективным и наиболее часто употребляемым. Однако, применяемые промышленные нефтесорбенты зачастую имеют низкие показатели нефтепоглощения, дороги и не всегда бывают в месте возникновения аварии.

В этой связи, в качестве нефтесорбентов интенсивно исследовались отходы от переработки сельскохозяйственного сырья, такие как в частности, солома и плодовые оболочки зерен [11-14], льняная костра [15], сердцевина кукурузных початков [16], банановая кожура [17], багасса сахарного тростника [18], кожура мандаринов [19], оболочки стручков гороха [20] и др., которые показали неплохие нефтепоглощающие характеристики.

Одним из массовых овощей, который выращивается на всех континентах, кроме Антарктиды, является лук репчатый (*Allium cepa*). В Европе, объемы выращивания лука занимают второе место после томатов. В настоящее время мировой объем его производства превысил 100 млн. тонн. В результате переработки луковицы, образуются различные отходы, такие как верхняя и нижняя часть луковицы, корешки, наружная оболочка луковицы (шелуха) и др. Определено, что объем образующейся луковой шелухи составляет в мире в настоящее время более 1 млн. тонн в год [21].

Шелуха лука, как отход производства сельскохозяйственной продукции, практически не используется, как правило выбрасывается, в лучшем случае на организованные площадки, где гнивая ухудшает экологическую обстановку в местах захоронения.

В этой связи, нами исследована возможность использования луковой шелухи в качестве сорбционного материала для удаления нефти и продуктов ее переработки с водной поверхности. Выбор данного сорбционного материала обусловлен его невысокой плотностью, что, предположительно, хорошо влияет на сорбционные характеристики по углеводородам. Ранее нами было определено, что отходы сельскохозяйственного производства, такие как шерсть [22, 23], перья птиц [24-26] ввиду своей малой плотности и, соответственно, развитой поверхностью на единицу массы, показывали довольно высокие сорбционные характеристики по нефти и продуктам ее переработки. В этой связи первоначально были определены некоторые физико-химические показатели измельченной шелухи луковиц *Allium cepa*. Найдено, что влажность материала довольно мала и составляет

1,12 %, плотность – 0,023 г/см<sup>3</sup>, зольность – 0,46 %, плавучесть (72 часа) – 82,8 %. Как следует из приведенных данных, плотность луковой шелухи весьма мала, но зато материал отличается высокой плавучестью, что делает его перспективным сорбционным материалом в перспективе для извлечения углеводородов с водной поверхности без риска погружения насыщенного нефтесорбента в толщу и на дно водоема. В последующем определялись значения максимальной нефтеемкости и маслосорбции нативной шелухи лука. Проведенными экспериментами найдено, что значение максимальной нефтеемкости по нефти карбонового отложений составили 7,88 г/г, максимальной маслосорбции: по моторному маслу марки «10W-40» - 7,05 г/г, по индустриальному маслу марки «И-20» - 3,92 г/г, по трансмиссионному маслу марки «75W-90» - 8,19 г/г. Полученные значения максимальной нефтеемкости и маслосорбции коррелируют со значениями вязкости нефтепродуктов: чем выше вязкость масла, тем выше сорбционная емкость по нему. Определенное значение максимального водопоглощения составило 3,84 г/г, что ниже чем у многих целлюлозосодержащих отходов сельскохозяйственного производства.

Последующие эксперименты будут направлены на исследование удаления пленок углеводородов с водной поверхности и последующую модификацию сорбционного материала с целью более полного извлечения пленок нефти и масел с поверхности воды.

### Библиографический список

1. Farhadi A., Ameri A., Tamjidi S. Application of agricultural wastes as a low-cost adsorbent for removal of heavy metals and dyes from wastewater: a review study // *Physical Chemistry Research*. 2021. Vol. 9. No 2. P. 211-226.
2. Topare N.S., Wadgaonkar V.S. A review on application of low-cost adsorbents for heavy metals removal from wastewater // *Materials Today: Proceedings*. 2023. Vol. 77. P. 8-18.
3. Bio-waste valorisation: Agricultural wastes as biosorbents for removal of (in) organic pollutants in wastewater treatment / N. Karić, A.S. Maia, A. Teodorović et al. // *Chemical Engineering Journal Advances*. 2022. Vol. 9. Article 100239. P. 1-17.
4. Шайхиев И.Г. Использование отходов сельского хозяйства для очистки сточных вод гальванических производств // *Вестник машиностроения*. 2006. № 4. С. 73-77.
5. 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.

6. 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.
7. Kainth S., Sharma P., Pandey O.P. Green sorbents from agricultural wastes: A review of sustainable adsorption materials // *Applied Surface Science Advances*. 2024. Vol. 19. Article 100562. P. 1-21.
8. Asemave K., Thaddeus L., Tarhemba P.T. Lignocellulosic-based sorbents: a review // *Sustainable Chemistry*. 2021. Vol. 2. No 2. P. 271-285.
9. Bankole D.T., Oluyori A.P., Inyinbor A.A. The removal of pharmaceutical pollutants from aqueous solution by agro-waste // *Arabian Journal of Chemistry*. 2023. Vol. 16. No 5. Article 104699. P. 1-21.
10. Mashkoor F., Nasar A. Environmental application of agro-waste derived materials for the treatment of dye-polluted water: a review // *Current Analytical Chemistry*. 2021. Vol. 17. No 7. P. 904-916.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Влияние кислотной модификации сердцевин 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.

17. 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.
18. Oil spill sorption using raw and acetylated sugarcane bagasse / R. Behnood, B. Anvaripour, N. Jaafarzadeh, M. Farasati // Journal of Central South University. 2016. Vol. 23. P. 1618-1625.
19. Biocompatible and biodegradable surfactants from orange peel for oil spill remediation / P.S. Wang, A. Ahmad, M. Nazar et al. // Molecules. 2023. Vol. 28. No 15. Article 5794. P. 1-13.
20. Отход сельскохозяйственного производства в качестве сорбционного материала для ликвидации разливов углеводородов и его экстракт для ингибирования коррозии промышленного оборудования / К.И. Шайхиев, А.С. Макарова, Д.Д. Фазуллин, С.В. Степанова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 2(136). С. 183-195.
21. Jaganmohanrao L. Valorization of onion wastes and by-products using deep eutectic solvents as alternate green technology solvents for isolation of bioactive phytochemicals // Food Research International. 2025. Vol. 206. Article 115980.
22. 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.
23. Shaikhiev I, Nizamov R., Shmykov A. Research into wool processing waste materials as sorbents of oil products // Environmental Protection in Oil and Gas Complex. 2008. № 3. С. 9-12.
24. Шайхиев И.Г., Шмоткина А.Н., Санатуллова З.Т. очистка водных сред от нефти и масел отходом птицеводства - гусиным пухом // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 14. С. 180-184.
25. Шмоткина А.Н., Шайхиев И.Г., Санатуллова З.Т. исследование утиного пуха для удаления нефти и масел с твердой и водной поверхности // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 3. С. 190-193.
26. Филиппова Д.И., Санатуллова З.Т., Шайхиев И.Г. Удаление пленок нефти с водной поверхности отходом птицеводства - куриными перьями // Сборник материалов Международной научно-технической конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология», Белгород. 2022. С. 303-307.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕШЕВСКОЙ ГЛИНЫ БОРЩЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ОТНОШЕНИИ МЕДИ

*Проведено исследование сорбционных характеристик Стешевской глины Борщевского месторождения. Определена высокая эффективность удаления ионов меди, максимальная сорбционная ёмкость -  $A_{\text{макс}}$ , составившая 23 мг/г. Материал перспективен для очистки сточных вод от тяжёлых металлов.*

*Ключевые слова:* глина, сорбция, метиленовый голубой, сорбционная ёмкость, удельная поверхность, природный сорбент, модель Ленгмюра

Очистка сточных вод от тяжёлых металлов остаётся одной из ключевых задач. В условиях роста промышленного загрязнения особую актуальность приобретают доступные и экологически безопасные материалы для очистки водных сред. Минеральные сорбенты, в частности природные глины, представляют собой перспективные и дешёвые средства для удаления поллютантов из сточных вод [1, 2, 5]. Настоящая работа посвящена исследованию Стешевской глины Борщевского месторождения как потенциального сорбента тяжёлых металлов, с использованием катиона меди (II) в качестве модельного представителя группы тяжёлых металлов.

Объектом исследования выступала природная Стешевская глина в воздушно-сухом состоянии. Данная глина представляет собой мелкодисперсный алюмосиликатный материал с характерным буровато-серым цветом и умеренной влажностью (8,85%). Согласно данным рентгенофлуоресцентного анализа, основными компонентами являются кремнезём ( $\text{SiO}_2$  – 45,78%), оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 22,83%), оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 15,7%) и другие оксиды:  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ , что указывает на наличие минералов монтмориллонитовой и гидрослюдистой групп.

Для оценки сорбционных свойств использованы следующие методы: определение удельной поверхности ( $S_{\text{уд}}$ ) по методу титрования метиленовым голубым (МГ); построение изотерм сорбции меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ) при различных начальных концентрациях; анализ полученных данных с использованием модели Ленгмюра.

Для оценки удельной поверхности применён метод метиленового голубого, который позволяет определить удельную поверхность сорбента по количеству сорбированного красителя [3, 4]. Определение  $S_{уд}$  по методу адсорбции МГ проведено на воздушно-сухом образце глины. Полученное значение составило  $165,9 \text{ м}^2/\text{г}$ . Это значение сопоставимо с характеристиками активных природных ионитов и указывает на наличие развитой микропористой структуры. Такая высокая поверхность свидетельствует о потенциально высокой сорбционной активности [3, 4]. Для изучения сорбционных свойств применён метод статической сорбции: в растворы с различной концентрацией  $\text{Cu}^{2+}$  добавляли навески сорбента (Т:Ж - 1:1000), встряхивали в течение двух часов для достижения сорбционного равновесия, после чего определяли остаточную концентрацию металла. Для определения концентрации меди использовали колориметрический метод по ГОСТ 10554-74.

На основании экспериментальных данных (рис. 1) построена изотерма сорбции и рассчитаны параметры модели Ленгмюра [6, 7, 8].

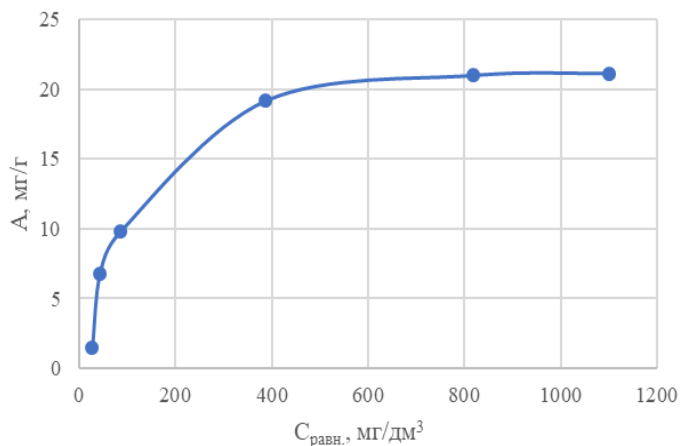


Рис. 1 Изотерма сорбции катиона  $\text{Cu}^{2+}$  на Стешевской глине

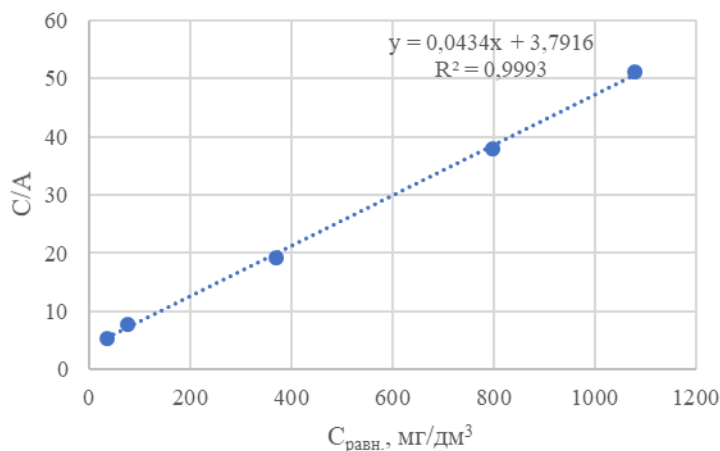
На основании полученных данных о сорбции ионов меди была построена изотерма сорбции по уравнению Ленгмюра в линейных координатах (рис. 2).

Основное уравнение Ленгмюра (формула 1):

$$A = \frac{A_{\text{макс.}} * K_L * C_{\text{равн}}}{1 + K_L * C_{\text{равн}}} \quad (1)$$

где:

- $A$  - равновесное величина адсорбции (мг/г),



- $A_{\text{макс.}}$  - максимальная сорбционная ёмкость (мг/г),
- $K_L$  - константа Ленгмюра (дм³/мг),
- $C_{\text{равн}}$  - равновесная концентрация в растворе (мг/дм³).

Рис. 2 Изотерма адсорбции  $\text{Cu}^{2+}$  на Стешевской глине в линейной форме уравнения Ленгмюра

Определены максимальная сорбционная ёмкость и константа Ленгмюра, составившие 23 мг/г и  $11 \cdot 10^{-3}$  дм³/мг соответственно.



Проведенные исследования свидетельствуют о том, что Стешевская глина имеет высокую удельную поверхность  $S_{\text{уд}} = 165,9 \text{ м}^2/\text{г}$  и статическую сорбционную емкость по ионам меди  $A_{\text{макс}} = 23 \text{ мг/г}$ .

Результаты подтверждают возможность применения данного материала в качестве природного минерального сорбента для очистки сточных вод от других тяжёлых металлов, что требует дополнительных исследований. Исследование применение Стешевской глины в качестве минерального сорбента перспективно в силу её доступности, экологической безопасности и эффективности [1, 2, 5].

### Библиографический список

1. Панасюгин Д. А. Модифицированные бентонитовые глины как сорбенты: дис. ... канд. техн. наук / Д. А. Панасюгин. — Белгород, 2019. — 142 с.
2. Боева Д. В. Исследование сорбционных свойств природных глин // Геохимия и экология. — 2018. — № 1. — С. 45–53.
3. Кузьмина И. В. Сорбционные материалы на основе глин: современные подходы // Universum: химия и биология. — 2023. — № 2 (89). — С. 12–18.
4. Соколова Н. В. Сорбционные свойства природных алюмосиликатов // Химический журнал Воронежского государственного университета. — 2012. — Т. 14, № 3. — С. 97–103.
5. Байбурдов Т. А. Глины в процессах очистки сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. — 2017. — № 20. — С. 120–125.
6. Чернышев А. А., Волкова Е. С. Природные сорбенты: свойства и применение // Вестник Воронежского государственного университета. — 2018. — Т. 24, № 4. — С. 45–50.
7. Классификация сорбентов // Экология и промышленность России. — 2021. — № 5. — С. 32–37
8. Гаврилова Н. Н., Назаров В. В. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных. — 2015.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛЫ ОТ СЖИГАНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ КРАСИТЕЛЯ МЕТИЛЕНОВЫЙ ГОЛУБОЙ

*В статье представлены результаты по применению сорбционного материала, полученного при совместном сжигании на производстве в котельном оборудовании отработанной отбеливающей глины, содержащей растительные масла, отхода механической очистки масличных семян и подсолнечной лузги для очистки от красителя метиленовый голубой (МГ). Данный материал подвергали модификации, которую проводили растворами гидроксида натрия с концентрацией – 5 % и 20 %, времени модификации – 24 часа с дальнейшим отмывкой от модификаторов до нейтрального значения pH.*

*Ключевые слова: адсорбция; десорбция, зола от сжигания растительных и минеральных отходов; краситель метиленовый голубой; сорбционный материал.*

В настоящее время красители – это одни из самых распространенных загрязняющих веществ [1]. Для очистки сточных вод от красителей используют различные методы: фильтрование; адсорбция; коагуляция; очистка реагентами и др. методы, с применением различных материалов – природных материалов или отходов производства.

Сорбционные методы очистки являются более экологичные методы. [2] Стоимость и возможность применения сорбционных методов очистки зависит от типа используемого сорбента. Высокая степень очищения сточной воды может быть получена при использовании адсорбции активированным углем [3], но из-за высокой стоимости массовое применение данного материала невозможно [4]. Сорбенты, получаемые из отходов имеют практически неограниченный запас, низкую стоимость [5, 6]. В настоящее время идет поиск альтернативных сорбционных материалов – получаемых их из отходов растительного происхождения [7].

Зола от сжигания лузги подсолнечной, отработанной отбеливающей глины, содержащей растительные масла и отходов механической очистки масличных семян, представляет собой

несгораемый остаток, состоящий из смеси минеральных оксидов (рис. 1). Поверхность отхода не однородная – микропористая, следовательно отход можно использовать в качестве сорбционного материала очистки сточных вод от красителя. Физико-химические свойства отхода представлены в табл. 1.



Рис. 1. Зола от сжигания лузги подсолнечной, отработанной отбеливающей глины, содержащей растительные масла и отходов механической очистки масличных семян

Таблица 1 - Физико-химические свойства золы от сжигания

№ п/п	Показатель, ед. изм.	Значение
1	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2157
2	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	922
3	pH водной вытяжки, ед. pH	10,48
4	Растворимость в дистил. воде (pH = 7,0), %	0,08
5	Растворимость в р-ре HCl (pH = 1,0), %	21,03
6	Растворимость в р-ре NaOH (pH = 14,0), %	17,14

В работе использовали измельченный до порошкообразного состояния с размером частиц 1 мм модифицированный отход.

Модификацию проводили различными растворами: гидроксидом натрия – 5 % и 20 %.

Отношение массы сухого отхода к объему модифицирующего раствора составляет  $T : Ж = 1 : 10$ .

Время взаимодействия 24 часа, далее пробы отфильтровывались через обеззоленный фильтр «Белая лента», отмыли дистиллированной водой до нейтрального значения pH и высушили при температуре 105 °С. Полуценные образцы использовались в качестве адсорбционного материала, для очистки сточных вод от красителя – метиленового голубого (МГ) (начальные концентрации равны 50; 150; 300; 500; 1000; 1500 мг/л).

Метиленовый голубой – токсичный катионный краситель, используется в текстильной промышленности [8]. Значение водородного показателя вытяжки из золы равно 10,35 ед. pH, что характеризует отход как щелочной. Водородный показатель является важным фактором при удалении красителей из-за присутствия водорода и гидроксильных ионов в растворе.

Величину адсорбции определяют при помощи спектрофотометрического измерения концентрации красителя в модельном растворе. Адсорбционную активность по метиленовому голубому X (мг/г) вычисляют по формуле:

$$X = \frac{(C_{\text{нач}} - C_{\text{рав}}) \times V}{m} \quad (1)$$

где  $C_{\text{нач}}$  – начальная концентрация МГ в модельном растворе, мг/л;  $C_{\text{рав}}$  – конечная концентрация МГ в модельном растворе после установления равновесия, мг/л;  $V$  – объем раствора, л;  $m$  – масса навески, г.

При максимальных концентрациях метиленового голубого предельная адсорбция составляет 10,53 мг/г при модификации исходной золы 20%-ным раствором NaOH, при модификации исходной золы 5%-ным раствором NaOH предельная адсорбция значительно ниже и равна 7,20 мг/г. Изотермы адсорбции имеют S-образную форму, это свидетельствует о том, что краситель сорбируется на материале в полимолекулярной форме (рис. 2) [9].

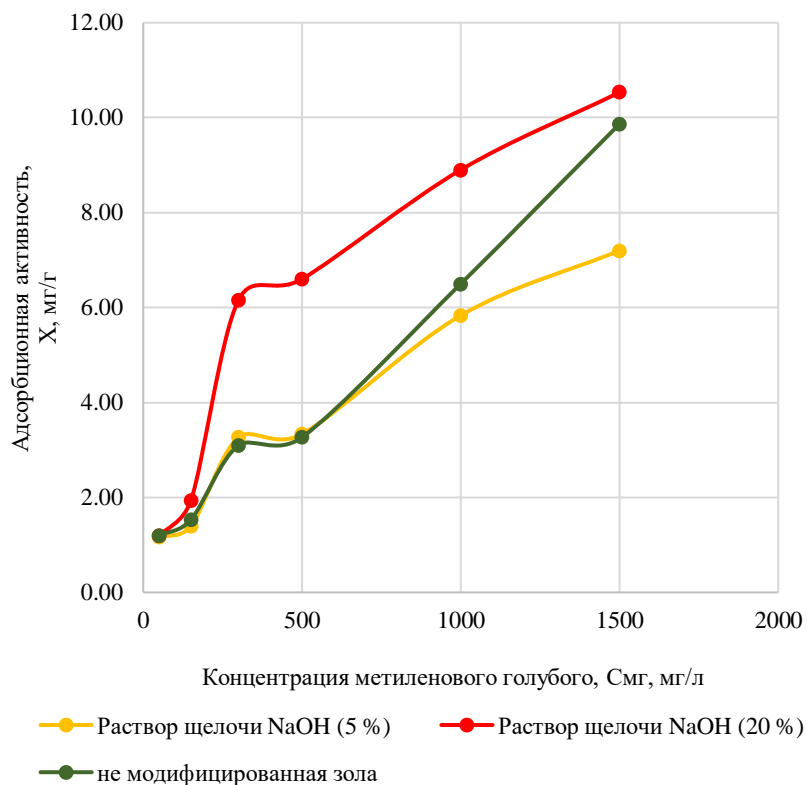


Рис. 2. Изотерма адсорбции красителя МГ на исходной и модифицированной золе

Следовательно, что отход – зола от сжигания лузги подсолнечной, отработанной отбеливающей глины, содержащей растительные масла и отходов механической очистки масличных семян можно считать перспективным материалом, пригодным к использованию его в водоочистке в качестве сорбента для извлечения красителя метиленового голубого.

## Библиографический список

1. Вафина А. Р., Шайхиев И. Г. Исследование сорбции красителя «Анионный ярко-зеленый» из модельных растворов с использованием оболочек зерен ячменя // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №3. С. 119 – 122.
2. Ahmed Abou-Shady, Heba El-Araby. Electro-agric, a novel environmental engineering perspective to overcome the global water crisis via marginal water reuse // Natural Hazards Research, 1 (4) (2021), pp. 202 – 226. doi: 10.1016/j.nhres.2021.10.004
3. Дмитриева Т. В. Виды осадков и современные способы очистки воды // Вектор ГеоНаук. 2018. №4. С. 42 – 47
4. Saleh H.M., Eskander S.B., Mahmoud H.H., Abdou M.I. Groundwater quality and health assessments based on heavy metals and trace elements content in Dakhlā Osis, New Valley Governorate, Egypt // Water Sci, 36 (2022), pp. 1 – 12. doi: 10.1080/23570008.2021.2018540.
5. Свергузова С. В., Сапронова Ж. А., Шайхиев И. Г., Сапронов Д. В. Использование отходов переработки кукурузы для очистки водных сред от красителя «Метиленовый голубой» // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 5. С. 173 – 175.
6. Получение активированных углей из гидролизного лигнина с использованием отходов стадии карбонизации / В. В. Самонин, Е. А. Спиридонова, М. Л. Подвизников [и др.] // Экология и промышленность России. – 2022. – № 26(9). – С. 4–9.
7. Половнева Д.О., Старостина И.В. Изучение влияния условий кислотной модификации углеродсодержащего материала на его сорбционные свойства в отношении красителя метиленового голубого: сб. докл. Междунар. научн. конф., Алушта-Белгород, 5-9 июня 2023 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. С. 137-141.
8. Белый В.А., Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Сапронова Ж.А., Воронина Ю.С. Извлечение красителя метиленовый голубой из растворов биомассой опилок платана // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2023. №5. С. 139 – 145.
9. Гаврилова Н. Н. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных: учеб. пособие / Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. – 132 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕЛОВЫХ (*PICEA*) ШИШЕК В КАЧЕСТВЕ  
СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИОНОВ  
МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

*Обобщены сведения литературных источников по использованию биомассы еловых шишек в качестве сорбционных материалов для удаления ионов металлов из водных сред. Анализ литературных сведений выявил малый объем информации по исследованию сорбционных процессов с использованием биомассы шишек елей в качестве сорбентов. Найдено лишь несколько публикации по изучению адсорбции ионов Cr(VI) шишками елей.*

*Ключевые слова:* ионы Cr(VI), еловые шишки, удаление

При заготовке деловой древесины на вырубках остаются многочисленные отходы. В том случае, если вырубке подвергаются деревья лиственных пород, основными отходами являются ветки, щепы, листья, при заготовке древесины хвойных пород – ветки, иглы и шишки. Как правило, отходы от рубки древесины практически не используются в качестве вторичных материальных ресурсов и, как правило, сгнивают в местах образования. Хотя из древесной биомассы возможно получать большую гамму ценных продуктов для использования в различных отраслях промышленности.

Также одним из направлений использования компонентов биомассы и отходов, образующихся при заготовке древесины, является их использование в качестве сорбционных материалов для извлечения из сточных и природных вод различных поллютантов. Ранее было показано, что компоненты биомассы деревьев хвойных пород (иглы, шишки, кора) и отходы от деревозаготовки и деревопереработки (опилки, стружки, щепы) являются эффективными сорбционными материалами [1-13].

При вырубке деревьев хвойных пород, на местах заготовок древесины в качестве отходов часто остаются шишки. Последние, в лучшем случае, служат источником пищи для мелких грызунов или птиц, или являются источником для роста молодых деревьев; в худшем случае просто сгнивают в течение времени. Тем не менее, шишки хвойных деревьев также являются эффективными сорбционными материалами для сорбции и извлечения поллютантов из

сточных и природных вод. Ранее в обзоре [14] показано, что шишки деревьев сосновых видов могут эффективно удалять из водных сред многие виды загрязнений.

В настоящем обзоре кратко обобщены литературные сведения по использованию шишек еловых деревьев в качестве сорбционных материалов для извлечения ионов металлов из водных сред.

Шишки ели обыкновенной (*Picea abies*) продолговато-цилиндрические, заострённые, не рассыпающиеся, опадают по созревании семян целыми в первый год оплодотворения. Зрелые шишки висячие, сухие, кожистые или деревянистые, длиной до 15 см, диаметром 3-4 см. Шишки состоят из оси, на которой расположены многочисленные кроющие чешуи, а в их пазухах - семенные чешуи, на верхней поверхности которых обычно развивается по 2 семяпочки, снабжённых так называемым ложным крылом. Семена созревают в октябре, разносятся ветром. Не теряют всхожести 8-10 лет [15, 16] (рис. 1).

Морфологическое описание шишек ели восточной (*Picea orientalis*), в частности, собранных из 25 мест в Турции, приведены в работе [17].

У ели Смита (*Picea smithiana*) семенные шишки зеленые, созревающие коричневые, блестящие, цилиндрические или веретеновидно-цилиндрические, 10-18 × 4,5-5 см. Семенные чешуи широко-обратнояйцевидные, толстые, около 3 × 2,4 см, жесткие, основание клиновидное, вершина цельная, широко-треугольно-тупая. Семена темно-коричневые, около 5 мм; крыло яйцевидно-продолговатое, 1-1,5 см, вершина заостренная [18].

Определен элементный состав шишек ели (*Picea abies*) после извлечения семян: С -  $37.46 \pm 2.51\%$ , Н -  $6.08 \pm 1.12\%$ , N -  $0.69 \pm 0.11\%$ , S -  $0.07 \pm 0.01\%$ , ash -  $1.8 \pm 0.1\%$ , теплотворная способность -  $18.45 \pm 0.34$  MJ/kg [19]. В этой же работе определено содержание металлов в шишках ели; выявлено, что более всего в них содержится (мг/кг): К -  $2747 \pm 22$ , Mg -  $537 \pm 5$ , Na -  $137 \pm 1$ , Mn -  $67 \pm 1$ , Fe -  $63 \pm 1$ , Ca -  $30 \pm 1$ , Zn -  $22,6 \pm 0.5$ . Содержание остальных металлов - менее 20 мг/кг [19].

Также установлен состав еловых шишек. Содержание целлюлозы составило  $43.8 \pm 2.0\%$ , гемицеллюлозы -  $27.2 \pm 0.1\%$ , лигнина Классона -  $21.5 \pm 1.2\%$ , кислоторастворимого лигнина -  $0.6 \pm 0.1\%$ , экстрактивные вещества -  $5.2 \pm 0.5\%$  [20].

Несмотря на наличие в составе еловых шишек высокого содержания целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина, в составе которых присутствует большое количество функциональных группировок, в основном О-Н,



которые могут взаимодействовать с ионами тяжелых металлов и металлоидами, не удалось обнаружить большого количества публикаций по сорбции последних шишками ели. Выявлено всего несколько статей по исследованию адсорбции ионов Cr(VI) еловыми шишками [21-26].



Рис. 1. Шишка ели обыкновенной (*Picea abies*)

Так, в диссертации [21] было проведено исследование периодической адсорбции биомассой шишек ели Смита (*Picea smithiana*) ионов Cr(VI) из водного раствора по сравнению с наиболее широко используемым адсорбентом - активированным углем. Влияние различных параметров (дозы адсорбента, времени контакта, pH и начальной концентрации ионов металла) на адсорбцию ионов Cr(VI) изучалось в экспериментах по периодической адсорбции с целью максимизации удаления ионов хрома из модельных водных растворов. Определено, что максимальное удаление ионов Cr(VI) достигается при  $\text{pH} = 1$ , времени контакта  $t = 2$  часа, дозе адсорбента  $1 \text{ г/дм}^3$  и температуре  $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  с использованием шишек и активированного угля. Значения максимальной сорбционной емкости составили  $234,9 \text{ мг/г}$  и  $268,7 \text{ мг/г}$  соответственно. Изотермы адсорбции в обоих случаях, как выявлено, хорошо описываются моделью Ленгмюра.

Эффективность извлечения ионов  $\text{Cr(VI)}$  шишками ели лишь на 12 % уступает таковому показателю с активированным углем. Определено, что термическое сжигание является эффективным методом утилизации отработанной биомассы шишек. Содержание золы в этом случае не превышает 13 % [22]. В [23] также сообщается об адсорбции ионов  $\text{Cr(VI)}$  из водного раствора еловыми шишками. Для изучения кинетики обоих процессов были использованы три конкретных размера фракций - < 0,5, 0,5-1 и 1-2 мм. Было обнаружено, что адсорбенты, химически модифицированные  $\text{HCl}$  (2 моль/дм<sup>3</sup> и 60 мин), продемонстрировали лучшую способность к удалению ионов  $\text{Cr(VI)}$  по сравнению с чистыми адсорбентами. Оптимальными условиями для удаления ионов  $\text{Cr(VI)}$  были: конкретный размер < 0,5 мм,  $\text{pH} = 1$ , время контакта  $t = 10$  мин, дозировка адсорбента - 20 г/дм<sup>3</sup>, концентрация ионов  $\text{Cr(VI)}$  - 100 мг/дм<sup>3</sup> и температура  $T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$ . Эффективность удаления поллютанта при этих условиях составила 100 %. Максимальная поглощающая способность для биомассы шишек составила 40,98 мг/г. Модель Ленгмюра лучше соответствовала данным равновесия, чем изотерма Фрейндлиха [23]. Найдено, что кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка ( $R^2 = 1$ ). Вычисленные термодинамические параметры ( $\Delta G^0 = -5.57 - -9.47$  кДж/моль при 293-313 К,  $\Delta H^0 = -62$  кДж/моль and  $\Delta S^0 = 17.9$  Дж/моль·К) свидетельствуют о протекании физической адсорбции [24].

Также было изучено удаление ионов  $\text{Cr(VI)}$  в динамических условиях смесью шишек сосны и ели в колонке. Значения параметров колонны были предсказаны как функция скорости потока (5-15 см<sup>3</sup>/мин), толщины сорбционного слоя (5-15 см), размера частиц (1-2 мм) и концентрации ионов хрома на входе (100 мг/дм<sup>3</sup>). Модели Томаса и Юна-Нельсона были применены для предсказания различных параметров колонны, таких как адсорбционная емкость (модель Томаса) и время, необходимое для 50 % проскока (модель Юна-Нельсона). Также была получена теоретическая кривая адсорбции проскока. Эти модели хорошо соответствовали данным по адсорбции с коэффициентом корреляции  $R^2 > 0,9$  при различных условиях [25].

Несмотря на широкое распространение еловых деревьев, найти в мировой литературе сведений об использовании биомассы еловых шишек в качестве сорбционных материалов, кроме ионов  $\text{Cr(VI)}$ , не удалось. Данное обстоятельство способствует интересу к биомассе еловых шишек в качестве сорбентов различных поллютантов.

## Библиографический список

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. 4. Лиственничные // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 11. С. 201-204.
5. 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. 77-179.
6. 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.
7. Шайхиев И.Г., Шайхиева К.И. Использование компонентов хвойных деревьев для удаления поллютантов из водных сред. 7. Псевдотсуговые // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 2. С. 165-167.
8. 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.
9. Шайхиев И.Г., Степанова С.В., Шайхиева К.И. Исследование хвои сосновых деревьев в качестве сорбционных материалов для удаления нефтей и масел с водной поверхности // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 3. С. 183-186.
10. Using leaves and needles of trees as sorption materials for the extraction of oil and petroleum products from solid and water surfaces / A.V. Svyatchenko, I.G. Shaikhiev, S.V. Sverguzova, E.V. Fomina // Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future: Selected Papers. 2021. P. 299-306.
11. Tree bark as a promising sorption material to extract hydrocarbons from aquatic environments: a review / I.G. Shaikhiev, D.N. Khamatgalimova, T.R. Deberdeev, S.V. Sverguzova // Polymer Science, Series D. 2024. Vol. 17. No 3. P. 691-697.
12. 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 Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 17. С. 121-126.

13. Влияние pH среды на протекание процессов адсорбции ионов меди, никеля и цинка иглоками лиственницы сибирской (*Larix Sibirica*) / Р.З. Галимова, И.Г. Шайхиев, Н.А. Камалова, С.В. Свергузова // Сорбционные и хроматографические процессы. 2020. Т. 20. № 3. С. 400-407.
14. Shaikhiev I.G.; Kraysman N.V.; Sverguзова S.V. World experience in using pine cones to remove various pollutants from aquatic environments // Materials International. 2025, vol. 7, No 1. P. 1-29.
15. Andersson E. Cone and seed studies in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) // Studia Forestalia Suecica. 1965. Vol. 23. 278 p.
16. Chylarecki H.; Giertych M. Variability of *Picea abies* (L.) Karst. Cones in Poland // Arboretum Kórnickie. 1969. Vol. 14. P. 39-71.
17. Turna I. Variation of morphological characters of oriental spruce (*Picea orientalis*) in Turkey // Biologia-Bratislava. 2004. Vol. 59. No 4. P. 519-526.
18. *Picea smithiana* (Wall.) Boiss. Pinaceae / D.K. Thapa-Magar, K.B. Thapa-Magar, R.M. Kunwar et al. // Ethnobotany of the Himalayas. 2021. P. 1507-1514.
19. Assessment of the composition of forest waste in terms of its further use / M. Bozym, A. Gendek, G. Siemiatkowski et al. // Materials. 2021. Vol. 14. Art. 973. P. 1-17.
20. Optimal resource utilization and advanced water treatment solutions / M. Karabayeva, S. Mirsalimova, O. Rakhmonov et al. // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 525. Art. 02002. P. 1-6.
21. Najar G.N. Removal of hexavalent chromium from aqueous solution using cone biomass of *Picea smithiana* as adsorbent. A dissertation for the award of master of philosophy. Central University of Punjab, Bathinda, India. 2013. 68 p.
22. Removal of hexavalent chromium from aqueous solution: a comparative study of cone biomass of “*Picea smithiana*” and activated charcoal / S. Mittal, U. Vaid, G.N. Najar, J.N. Babu // Desalination and Water Treatment. 2016. Vol. 57. No 24. P. 11081-11095.
23. Pertile E., Zamarsky P. An alternative method of removing Cr (VI) from aquatic solution using chemically modified cone biomass and *Fomitopsis pinicola* // IOP Conference Series: Earth Environmental Science. 2020. Vol. 444. No 1. Art. 012043. P. 1-7.
24. Use of different types of biosorbents to remove Cr (VI) from aqueous solution / E. Pertile, T. Dvorský, V. Václavík, S. Heviánková // Life. 2021. Vol. 11. No 3. Art. 240. P. 1-22.
25. Adsorption of hexavalent chromium using cones of conifers in a fixed-bed column study / E. Pertile, D. Surovka, E. Sarčáková et al. // International Multidisciplinary Science GeoConference: SGEM. 2015. Vol. 5. No 1. P. 25-32.

Шайхиева К.И., канд. тех. наук, доц.  
(КНИТУ, г. Казань, Россия)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ И ОТХОДОВ ОТ ПЕРЕРАБОТКИ ЧЕЧЕВИЦЫ В КАЧЕСТВЕ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

*Приведены сведения литературных источников по использованию оболочек стручков чечевицы в качестве сорбционного материала ионов тяжелых металлов ( $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) и красителей из водных сред. Выявлено, что изотермы во всех случаях подчиняются модели Ленгмюра, а кинетика процессов соответствует модели псевдо-второго порядка. Сделан вывод, что малый объем мировых исследований в этой области и все возрастающее количество образующихся оболочек стручков чечевицы в связи с увеличением объемов производства самой чечевицы делают данное направление перспективной областью исследований*

*Ключевые слова: оболочки стручков чечевицы, ионы металлов, красители, сорбция, водная среда.*

Количество загрязняющих веществ, попадающих в природные водоемы, имеет тенденцию к ежегодному увеличению. Для предотвращения массового загрязнения поллютантами водных объектов применяются различные методы очистки сточных и загрязненных природных вод. Однако, для извлечения или утилизации каждого вида загрязнений необходимо использование конкретного способа, что приводит к применению большого количества аппаратов для очистки сточных вод, что приводит к увеличению стоимости очистки.

Тем не менее, существует способ, который позволяет извлекать практически все виды поллютантов из водных сред – адсорбция. Но применяемые в промышленном производстве активированные угли имеют существенный недостаток – высокая цена и необходимость рекуперации, что также способствует увеличению стоимости процесса.

Выходом из создавшейся ситуации является использование в качестве сорбентов эффективных, многотоннажных, доступных и дешевых отходов промышленного и сельскохозяйственного производств. Последние привлекательны в связи с отсутствием в их

составе токсичных соединений. Многочисленными исследованиями и обзорными работами [1-10] показано, что отходы и биомасса от переработки сельскохозяйственного сырья являются эффективными сорбционными материалами для извлечения практически всей палитры поллютантов из водных сред.

Вторыми по значимости, объемам использования и посевным площадям в мире после зерновых культур являются бобовые (*Fabaceae*) - семейство двудольных растений порядка Бобовоцветные. Некоторые растения этого семейства являются важными продуктами питания. К таковым относятся соя, горох, фасоль, бобы садовые, чечевица, нут и др. Как правило, в пищу человеком употребляются бобы, которые вырезают, как правило, в стручках растений.

Одной из бобовых культур, бобы которой широко употребляются в мире в качестве продукта питания, является чечевица обыкновенная (*Lens culinaris*) - травянистое растение; вид рода Чечевица (*Lens*) семейства Бобовые (*Fabaceae*). Стебель 15-75 см высотой, опушённый, прямостоячий, гранистый, сильно ветвистый. Листья очерёдные, короткочерешковые, парноперистые, заканчиваются простым или немного ветвистым усиком. Прилистники полукопьевидные, цельнокрайные. Листочки 3-7-парные на коротких черешках, овальные, узкоэллиптические или линейные, тупые, но на конце с остриём, 1-2 см длиной и 0,3-0,8 см шириной. Бобы повислые, ромбические, длиной около 1 см, шириной около 8 мм. Семян 1-3, они сплюснутые, с почти острым краем. Окраска семян может отличаться в зависимости от сорта (рис. 1) [11]. Крупнейшими производителями чечевицы являются Канада (2300598 т), Индия (1268 830т) и Австралия (999500 т) (данные на 2022 г) [11]. Россия в списке занимает 5 место; в 2023 г было выращено 345000 т., лидирующие позиции занимали Алтайский край и Саратовская область [11].

Бобы чечевицы содержат 24,6% белка, 63,4% углеводов, 2,7% золы и 1,1% общего жира. Высокое содержание пищевых волокон, медленно усваиваемого крахмала и калия, а также низкое содержание натрия в чечевице делают ее нутрицевтическим продуктом, способствующем снижению некоторых заболеваний таких как гипертония, сердечно-сосудистые болезни, сахарный диабет и рак. Кроме того, в составе бобов чечевицы выявлены такие химические элементы как Ca, Cu, Mg, P, K, Na, Zn, Fe, а также некоторые витамины. Как и для всех бобовых, бобам чечевицы присуще высокое содержание в них аминокислот [12].

После шелушения на перерабатывающих предприятиях, оболочки стручков бобовых, как правило, не используются вторично, а сгнивают в буртах, ухудшая экологическую обстановку в местах складирования.

Тем не менее, оболочки стручков бобовых культур являются эффективными сорбционными материалами для удаления поллютантов из водных сред [13-18]. Оболочки стручков чечевицы (ОСЧ) также исследовались в качестве сорбционных материалов для извлечения ионов тяжелых металлов и красителей из водных сред. Однако, следует отметить, что объем проведенных исследований по использованию ОСЧ в качестве сорбционных материалов, уступает объему информации по оболочкам стручков гороха и фасоли [13].

Так, изучалась адсорбция ионов  $\text{Cd}^{2+}$  измельченными ОСЧ в статических условиях. Определено, что максимальное значение сорбционной емкости, равное 107,31 мг/г, достигается при  $\text{pH} = 5,0$  в течение 60 минут. Найдено, что изотерма адсорбции хорошо описывается моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка [19].



Рис. 1. *Lens culinaris*

Также исследовалась адсорбция ионов  $\text{Cu}^{2+}$  ОСЧ и определено, что максимальная сорбционная емкость по названным ионам ниже, чем по ионам  $\text{Cd}^{2+}$  и при температурах 293, 313 и 333 К составили 8,98, 7,39 и

1,85 мг/г, соответственно. Выявлено, что изотермы адсорбции в зависимости от температуры процесса описываются моделями Фрейндлиха (293 К) и Ленгмюра (313 и 333 К), а кинетика процесса при всех температурах больше соответствует модели псевдо-второго порядка. Вычисленные термодинамические параметры ( $\Delta G^0 = 17,27-21,78$  кДж/моль при 293-33 К,  $\Delta H^0 = 15,373$  кДж/моль и  $\Delta S^0 = 111$  Дж/моль·К) свидетельствуют о протекании физической спонтанной эндотермической адсорбции [20]. Проведено несколько исследований по изучению адсорбции ионов  $Pb^{2+}$  ОСЧ. Выявлено, что максимальное значение сорбционной емкости сорбционного материала по ионам свинца, равное 81,43 мг/г, достигается при pH = 5,0 в течение 60 минут при температуре среды 30 °С. Найдено, что изотерма адсорбции хорошо описывается моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка [21]. Несколько иные данные получены при исследовании адсорбции ионов  $Pb^{2+}$  оболочками стручков некоторых бобовых растений, в том числе и ОСЧ. Выявлено, что при начальной концентрации ионов свинца в растворе 4000 мг/дм<sup>3</sup>, сорбционная емкость по ним ОСЧ составила 95,2 мг/г. При начальной концентрации ионов  $Pb^{2+}$  1000 мг/дм<sup>3</sup>, дозировке ОСЧ 33,3 г/дм<sup>3</sup>, эффективность удаления названных ионов достигла 97,7 %. Как и в предыдущих случаях, изотерма адсорбции хорошо описывается моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка [22]. Также проводились исследования по извлечению ионов  $Pb^{2+}$  ОСЧ в динамических условиях в колонном реакторе. Параметры конструкции колонки значительно контролировали производительность реактора, среди которых высота неподвижного слоя и скорость потока имели решающее значение для достижения более высокой эффективности. Выявлено, что адсорбционная способность достигла уровня 205,87 мг/г при высоте слоя сорбционного материала 10 см, начальной концентрации сорбата 100 мг/дм<sup>3</sup> и скорости потока 20 см<sup>3</sup>/мин. Кинетическое исследование, проведенное через регулярные интервалы времени, показало высокий процент удаления ионов свинца (99–96 %) на протяжении всего периода работы реактора. Экспериментальные данные были хорошо интерпретированы с помощью модели Томаса и модели Юна-Нельсона. Реакторный слой регенерировался после каждого цикла адсорбции, и загруженный металл был извлечен до степени ~96 % [23]. С использованием целлюлозы, полученной из ОСЧ, поливинилового спирта и  $Fe_3O_4$ , получен композиционный сорбционный материал, который



использовался для сорбции красителей марок «Crystal Violet» (CV), «Methylene Blue» (MB) и «Malachite Green» (MG). Определено, что площадь поверхности полученного композита составила 22,308 м<sup>2</sup>/г, а объем пор 0,074 см<sup>3</sup>/г. Выявлено, что наибольшая степень извлечения красителя «Crystal Violet» достигается при pH = 8, двух остальных – при pH = 8 при достижении сорбционного равновесия в течение 120 минут. Композиционный сорбционный материал показал хорошую адсорбционную способность по исследуемым красителям: CV (357 мг/г) > MB (112,35 мг/г) > MG (111,11 мг/г). Найдено, что изотермы сорбции более адекватно описываются моделью Ленгмюра, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка. Термодинамические исследования показали, что процесс является эндотермическим и самопроизвольным по своей природе со значением  $\Delta G^0 < 20$  кДж/моль при соответствующих температурах, что указывает на протекание физической адсорбции [24]. Кроме ОСЧ, при переработке чечевичной биомассы, образуются отходы в виде стеблей растения. Последние, в основном, используются для выращивания животных и птиц на фермах в качестве корма. Однако, стебли чечевицы также можно использовать в виде сорбционных материалов для извлечения различных поллютантов из водных сред. В частности, приведены сведения по извлечению некоторых красителей, таких как «Methylene blue» [25] и «Lanased red» [26].

Таким образом, приведены сведения литературных источников об использовании ОСЧ в качестве сорбционного материала для удаления некоторых ионов тяжелых металлов и красителей из водных сред. Малый объем исследований в этой области и все возрастающее количество ОСЧ в связи с увеличением объемов производства товарной чечевицы делают данное направление перспективной областью исследований.

### Библиографический список

1. Шайхиев И.Г. Использование отходов сельского хозяйства для очистки сточных вод гальванических производств // Вестник машиностроения. 2006. № 4. С. 73.
2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. Agro-industrial wastes and their application perspectives in metal decontamination using biocomposites and bacterial biomass: a review / J. Parades-Aguilar, S. Agustin-Salazar, P. Cerruti et al. // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2025. Vol. 41. No 1. Art. 16. P. 1-31.

6. Kainth S., Sharma P., Pandey O.P. Green sorbents from agricultural wastes: A review of sustainable adsorption materials // Applied Surface Science Advances. 2024. Vol. 19. Art. 100562. P. 1-21.

7. Using wastes of buckwheat processing as sorption materials for the removal of pollutants from aqueous media: a review / I.G. Shaikhiev, S.V. Sverguзова, R.Z. Galimova, A.S. Grechina // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. P. 1-11.

8. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguзова S.V. Using cucurbits by-products as reagents for disposal of pollutants from water environments (a literature review) // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2021. Vol. 11. No 5. P. 12689-12705.

9. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguзова S.V. Use of garlic processing by-products to remove pollutants from aqueous media // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2022. Vol. 12. No 4. P. 4518-4528.

10. 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.

11. [https://ru.wikipedia.org/wiki/чечевица\\_пищевая](https://ru.wikipedia.org/wiki/чечевица_пищевая).

12. Dhull S.B., Kinabo J., Uebersax M.A. Nutrient profile and effect of processing methods on the composition and functional properties of lentils (*Lens culinaris* Medik): A review // Legume Science. 2023. Vol. 5. No 1. Art. e156. P. 1-14.

13. 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.

14. Шайхиева К.И., Степанова С.В., Фазуллин А.Р. Новые данные по использованию отходов от переработки гороха посевного (*Pisum sativum*) в качестве сорбционного материала различных поллютантов из водных сред (обзор литературы за 2021-2023 годы) // Сборник докладов Международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и

переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология». Белгород, 2023. С. 258-264.

15. Шайхиева К.И. Разработка технологии переработки оболочек стручков гороха в сорбционные материалы. Дисс. ... канд. техн. наук, Казань. КНИТУ. 2024. 160 с.

16. Влияние реагентной модификации оболочек стручков гороха (*Pisum sativum*) на сорбционные характеристики по ионам тяжелых металлов / Б.Г. Зиганшин, К.И. Шайхиева, С.В. Степанова и др. // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 3 (47). С. 52-61.

17. Отход сельскохозяйственного производства в качестве сорбционного материала для ликвидации разливов углеводородов и его экстракт для ингибирования коррозии промышленного оборудования / К.И. Шайхиева, А.С. Макарова, Д.Д. Фазуллин, С.В. Степанова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 2 (136). С. 183-195.

18. Прокопенко Т.А., Степанова С.В., Шайхиев И.Г. Исследование возможности удаления ионов тяжелых металлов из водных сред отходами от переработки бобовых культур // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 8. С. 60-64.

19. Basu M., Guha A.K., Ray L. Adsorption behavior of cadmium on husk of lentil // Process Safety and Environmental Protection. 2017. Vol. 106. P. 11-22.

20. Aydin H., Bulut Y., Yerlikaya Ç. Removal of copper (II) from aqueous solution by adsorption onto low-cost adsorbents // Journal of Environmental Management. 2008. Vol. 87. No 1. P. 37-45.

21. Basu M., Guha A.K., Ray L. Biosorptive removal of lead by lentil husk // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2015. Vol. 3. No 2. P. 1088-1095.

22. Valorization of fava, lentil, pea, and soya husks as sustainable adsorbents for lead removal from contaminated water: characterization, adsorption kinetics, and isotherms / Z. Raji, A. Karim, A. Karam et al. // Biomass Conversion and Biorefinery. 2024. P. 1-17.

23. Basu M., Guha A.K., Ray L. Adsorption of lead on lentil husk in fixed bed column bioreactor // Bioresource Technology. 2019. Vol. 283. P. 86-95.

24. Khatoon A., Siddiqui S., Haq N. Cellulose-polyvinylalcohol supported magnetic nanocomposites from lentil husk for sequestration of cationic dyes from the aqueous solution: Kinetics, isotherm and reusability studies // Journal of Contaminant Hydrology. 2025. Vol. 269. Art. 104503. P. 1-16.

25. Giakoumatos S.D.V., Kopsidas O.N. Biomass as adsorbent—A depollution cost effective material in a promising market // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1123. No. 1. Art. 012070. P. 1-10.

26. Çelekli A., Tanrıverdi B., Bozkurt H. Lentil Straw: a novel adsorbent for removing of hazardous dye—Sorption behavior studies // Clean—Soil, Air, Water. 2012. Vol. 40. No 5. P. 515-522.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК СТРУЧКОВ НУТА В КАЧЕСТВЕ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

*Приведены сведения литературных источников по использованию оболочек стручков бараньего нута (*Cicer arietinum*) в качестве сорбционного материала для извлечения ионов тяжелых металлов из водных сред. Выявлено, что изотермы адсорбции в большинстве случаев соответствуют модели Ленгмюра, а кинетика процессов соответствует модели псевдо-второго порядка. Приведены значения максимальной сорбционной емкости и эффективности извлечения ионов металлов нативными и модифицированными оболочками стручков гороха.*

*Ключевые слова: оболочки стручков нута, ионы металлов, красители, сорбция, водная среда.*

Количество загрязняющих веществ, попадающих в природные водоемы, имеет тенденцию к ежегодному увеличению. Для предотвращения массового загрязнения поллютантами водных объектов применяются различные методы очистки сточных и загрязненных природных вод. Однако, для извлечения или утилизации каждого вида загрязнений необходимо использование конкретного способа, что приводит к применению большого количества аппаратов для очистки сточных вод, что приводит к увеличению стоимости очистки. Тем не менее, существует способ, который позволяет извлекать практически все виды поллютантов из водных сред – адсорбция. Но применяемые в промышленном производстве активированные угли имеют существенный недостаток – высокая цена и необходимость рекуперации, что также способствует увеличению стоимости процесса.

Выходом из создавшейся ситуации является использование в качестве сорбентов эффективных, многотоннажных, доступных и дешевых отходов промышленного и сельскохозяйственного производств. Последние привлекательны в связи с отсутствием в их составе токсичных соединений. Многочисленными исследованиями и обзорными работами [1-10] показано, что отходы и биомасса от

переработки сельскохозяйственного сырья являются эффективными сорбционными материалами для извлечения практически всей палитры поллютантов из водных сред.

Вторыми по значимости, объемам использования и посевным площадям в мире после зерновых культур являются бобовые (*Fabaceae*) - семейство двудольных растений порядка Бобовоцветные. Некоторые растения этого семейства являются важными продуктами питания. К таковым относятся соя, горох, фасоль, бобы садовые, чечевица, нут и др. Одной из древнейших бобовых культур, возделываемых человеком, является нут или бараний горох (*Cicer arietinum*), растение, относящееся к роду однолетних и многолетних растений семейства бобовых. Зернобобовая пищевая и кормовая культура.

Растение имеет стержневой разветвлённый корень, проникающий в почву на глубину до 1 м; около 50 % корневой системы развивается на глубине до 20 см. Стебли ребристые, прямостоячие, разветвлённые, сжатой или раскидистой формы (высота 20–70 см). Стебли, листья и бобы покрыты железистым опушением, выделяющим органические кислоты, поэтому зелёная и сухая масса животными (кроме овец) не поедается. Листья сложные, непарноперистые, короткочерешковые. Цветки мелкие, одиночные, пазушные, белого, розового, голубого или жёлто-зелёного цвета. Плод – боб, обычно с 1–2 семенами. Бобы вздутые, короткие. Створки бобов всегда с пергаментным слоем различной толщины. Бобы при созревании растрескиваются слабо (у многих сортов вовсе не растрескиваются), при движении созревших растений раздаётся характерный гремящий звук. Поверхность зерна сморщенная или гладкая. В зернах содержится до 30 % белка, 4,7–8,2 % жира, до 60 % крахмала, 3 % клетчатки и др. Зерно нута – ценный источник минеральных веществ: Zn, Fe, P, Ca, Mg и K; а также витаминов: A, C, E, K и группы B. По питательной ценности нут превосходит все другие зернобобовые культуры (329 ккал/100 г зерен).

По данным FAO, в мире в 2020 г под нутом было занято около 15 млн. га; было собрано около 15 млн. т зерна (из них около 13 млн. т – в Азии). Основной производитель – Индия (11 млн. т); в РФ собрали около 291 тыс. т зерна. Зерна употребляют в пищу обычно в варёном виде и используется для приготовления супов, пюре, каш, гарниров, салатов, пирожков и национальных блюд. Проростки и молодые бобы употребляют подобно шпинату, зелёные семена едят как овощи. Нут является диетическим продуктом питания и может употребляться диабетиками. Нут и продукты его переработки широко применяют в

качестве функциональной добавки в отраслях пищевой промышленности: хлебобулочной, кондитерской, мукомольно-крупяной; а также в макаронном производстве, мясной промышленности, производстве заменителей молочного сырья, производстве овощных консервов и профилактических добавок к пище [11]. При шелушении стручков нута для выделения зерен, образуются отходы производства в виде оболочек стручков нута (ОСН). Как правило, последние в качестве вторичных материальных ресурсов практически не используются и, как правило, сгнивают в буртах, ухудшая экологическую обстановку в местах захоронения.

Одним из путей использования биомассы оболочек стручков бобовых является их использование в качестве сорбционных материалов для удаления различных поллютантов из водных сред [12-15]. В связи с вышеизложенным, в настоящей работе проанализированы данные литературных источников по использованию ОСН в качестве сорбционных материалов для извлечения ионов металлов из водных сред. Так, в частности, исследована сорбция ионов  $As(III)$  с использованием различных отходов, таких как стружка голубой сосны (*Pinus wallichiana*), скорлупа грецкого ореха и ОСН. Эксперименты проводились при начальной концентрации ионов мышьяка 25-500  $мкг/дм^3$ , дозировке сорбентов 1-50  $г/дм^3$  с варьированием значений pH от 2 до 13 и времени контактирования 20-60 минут при 20 °С. Определено, что наибольшей эффективностью удаления ионов  $As(III)$  при оптимальных условиях обладает стружка сосны (97 %), наихудшей эффективностью обладают ОСН – 35 % [16].

Также исследована адсорбция ионов  $Cd^{2+}$  ОСН в статических условиях в реакторе с перемешиванием. Биосорбция ионов  $Cd^{2+}$  на ОСН увеличивалась с исходными концентрациями ионов металла и биосорбента. Выявлено, что сорбция протекает в течение первых 20 минут контактирования, а остаточная концентрация зависит от числа оборотов мешалки. Остаточная концентрация ионов  $Cd^{2+}$  в 2 % может быть достигнута через 30 минут при 1000 об/мин, через 45 мин при 750 об/мин или через 60 мин при 500 об/мин. Установлено, что биосорбция  $Cd$  является pH-зависимой, а максимальная адсорбция ионов  $Cd^{2+}$  наблюдается при pH = 4-6. Определено, что максимальная сорбционная емкость составила 46,52  $мг/г$ , а изотермы описываются моделями Ленгмюра и Фрейндлиха. Определено, что эффективность удаления ионов  $Cd^{2+}$  из бинарных и тройных растворов в присутствии ионов  $Pb^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  существенно не влияла [17].

Этими же авторами ранее исследовалась биосорбция ионов  $\text{Cd}^{2+}$  ОСН в динамических условиях при начальной концентрации сорбата  $10 \text{ мг/дм}^3$ . Определено, что для достижения 99,99 % эффективности очистки, масса биосорбента составляет  $0,8 \text{ г ОСН/мг } \text{Cd}^{2+}$ . Отмечено, что адсорбция протекала быстро и сорбционное равновесие достигалось за 30 мин контактирования. Определено, что при начальной концентрации ионов  $\text{Cd}^{2+}$   $10 \text{ мг/дм}^3$  для достижения остаточной концентрации ионов металла  $0,1 \text{ мг/дм}^3$  необходимо пропустить  $35,3 \text{ дм}^3$  раствора через  $10 \text{ г ОСН}$  [18]. В работе [19] исследована адсорбция ионов  $\text{Cr(VI)}$  ОСН. Определено, что изотерма адсорбции одинаково точно описывается моделями Ленгмюра, Фрейндлиха и Дубинина-Радushkevича, а максимальная сорбционная емкость, вычисленная по уравнению Ленгмюра, составляет  $6,5 \text{ ммоль/г}$ . Вычисленные термодинамические параметры ( $E = 7,84 \text{ кДж/моль}$ ,  $\Delta H = -34,51 \text{ кДж/моль}$ ,  $\Delta S = -114 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$ ) свидетельствуют о протекании физической адсорбции. Данные экспериментов по извлечению ионов  $\text{Cr(VI)}$  с начальными концентрациями  $10\text{--}100 \text{ мкг/дм}^3$  нативными ОСН приведены в работе [20]. Определено, что изотермы адсорбции более точно соответствует модели Ленгмюра. Адсорбционная емкость, рассчитанная по изотерме Ленгмюра, составила  $91,64 \text{ мг Cr(VI)/г}$  при  $\text{pH} = 2$ . Адсорбционная емкость увеличивалась с повышением скорости перемешивания и достигала наибольшего значения при  $120 \text{ об/мин}$  после  $180 \text{ минут}$  контактирования. Исследовано влияние модификации ОСН различными щелочными ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) и кислотными ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , лимонная кислота) реагентами, а также растворителями ( $\text{CCl}_4$ , гексан, ацетон, смесь этанола с метанолом и этилацетат) на эффективность удаления ионов  $\text{Cr(VI)}$  из модельных растворов. Выявлено, что наибольшая ( $\sim 80 \%$ ) эффективность извлечения ионов  $\text{Cr(VI)}$  достигается при модификации биосорбента раствором  $\text{HNO}_3$ , наименьшая ( $\sim 28 \%$ ) – при обработке  $\text{HCl}$ . Также определено, что наибольшая эффективность удаления сорбата достигается образцом ОСН, модифицированного этилацетатом ( $90 \%$ ). Обработанные щелочными реагентами ОСН показали эффективность извлечения ионов  $\text{Cr(VI)}$   $0 \%$  [21].

Обсуждено использование ОСН для биосорбции ионов  $\text{Fe}^{3+}$  из модельных растворов. Выявлено, что данные по адсорбции хорошо согласуются с моделью Ленгмюра ( $R^2 = 0,9897$ ). Адсорбционная емкость ( $Q_{\text{max}}$ ), рассчитанная по изотерме Ленгмюра, составила  $72,16 \text{ мг/г}$  при оптимальном  $\text{pH} = 2,5$ . Исследования по десорбции

проводились при различных концентрациях соляной кислоты, показывая, что количественное извлечение иона металла возможно. Инфракрасные спектры биомассы до и после сорбции показали, что в поглощении ионов  $\text{Fe}^{3+}$  участвуют гидроксильные, карбоксильные и амидные группы [22]. Исследовалось удаление ионов  $\text{Hg}^{2+}$  из водных растворов химически обработанной биомассой оболочек стручков *Cicer arietinum* в условиях периодического процесса. Определены данные кинетики и изотермы адсорбции, а также изучено влияние различных параметров, таких как время контакта, доза сорбента, pH и температура. Выявлено, что процесс сорбции лучше всего объясняется моделью псевдо-второго порядка с коэффициентами детерминации  $R^2 = 0,997$  при всех экспериментальных условиях. Для определения механизма процесса использовалась модель внутричастичной диффузии Вебера и Морриса [23]. Также исследовалась эффективность удаления ионов  $\text{Pb}^{2+}$  нативными и кислотно-модифицированными ОСН. Определено, что извлечение ионов свинца увеличивалось в результате модификации и максимальная сорбционная емкость  $Q_{\max} = 171,28$  мг/г при pH = 4 показана образцом сорбционного материала, обработанного раствором  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Сорбционная емкость увеличивалась в порядке модификаторов:  $\text{H}_3\text{PO}_4 > \text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl} > \text{нативная}$ , с увеличением концентрации металла. Показали, что модель Дубинина–Радushкевича хорошо соответствует экспериментальным данным. Скорость сорбции была низкой и сорбционное равновесие достигалось в течение 7 ч. Кинетика процесса лучше всего описывалась моделями псевдо-первого и псевдо-второго порядка, второго порядка, моделями Бэнгама и внутричастичной диффузии [24]. Листья, стебли и ОСН использовались для сорбции ионов  $\text{Pb}^{2+}$  из водных растворов. Определено, что скорость и степень накопления сорбата зависели от значений pH, размера частиц биосорбентов, времени контакта и начальной концентрации ионов  $\text{Pb}^{2+}$ . Определено, что изотермы адсорбции описываются моделями Ленгмюра (листья и стебли) и Фрейндлиха (ОСН). Найдено, что при начальной концентрации ионов  $\text{Pb}^{2+}$  200 мг/дм<sup>3</sup> эффективность их удаления составили 81,30, 80,10 и 53,26 %, соответственно, при pH = 6,0, размере частиц биосорбентов 0,354 мм и времени контакта 120 мин. Уравнение Бэнгама использовалось для выражения механизма адсорбции. Было обнаружено, что значения максимальной сорбционной емкости по ионам  $\text{Pb}^{2+}$  располагаются в следующем порядке: листья (25,59 мг/г) > стебли (25,51 мг/г) > ОСН (9,17 мг/г). Возможные взаимодействия биосорбентов и ионов  $\text{Pb}^{2+}$  обусловлены участием



групп  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$  и  $-\text{NH}$  в процессе сорбции [25]. В работе [26] ОСН использовались для удаления ионов  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  из водных растворов. Определено, что максимальное удаление ионов  $\text{Cu}^{2+}$  достигалось при  $\text{pH} = 5$ , для ионов  $\text{Cd}^{2+}$  - при  $\text{pH} = 7$ . Изотермы адсорбции более точно описывались моделью Ленгмюра, что указывает на монослойную адсорбцию. Максимальная сорбционная способность нативных ОСН с использованием адсорбционных графиков Ленгмюра составляла 8,58 и 9,70 мг/г-1 для ионов  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ , соответственно. Определено, что сорбционное равновесие достигалось за 120 мин, а кинетика процесса соответствовала модели псевдо-второго порядка [26]. В работе [27] сообщается об удалении ионов тяжелых металлов, когда они присутствуют по отдельности, в бинарных или тройных системах с использованием ОСН в качестве биосорбента. Выявлено, что биосорбция ионов металлов ОСН увеличивалась по мере увеличения начальной концентрации металла. Выявлено, что сорбционное равновесие устанавливалось в течение 30 мин, а изотермы адсорбции более точно описывались моделью Ленгмюра. Определено, что по значениям максимальной сорбционной емкости исследуемые ионы металлов расположились в следующий ряд, мг/г:  $\text{Pb}$  (49,97) >  $\text{Cd}$  (39,99) >  $\text{Zn}$  (33,81) >  $\text{Cu}$  (25,73) >  $\text{Ni}$  (19,56). Было обнаружено, что биосорбционные емкости зависят от  $\text{pH}$ , и максимальная адсорбция достигалась при  $\text{pH} = 5$ . Эффективность удаления ионов  $\text{Pb}^{2+}$  из бинарных и тройных растворов с ионами  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  была на том же уровне, что и при его отдельном присутствии. Присутствие ионов  $\text{Pb}^{2+}$  в бинарных и тройных растворах также не оказало существенного влияния на адсорбцию других ионов металлов [27].

Таким образом, в настоящем кратком обзоре приведены сведения из мировых литературных источников по исследованию адсорбции ионов тяжелых металлов оболочками стручков нута бараньего (*Cicer arietinum*). Приведены значения максимальной сорбционной емкости и показано, что увеличить последние возможно модификацией сорбционного материала.

### Библиографический список

1. Шайхиев И.Г. Использование отходов сельского хозяйства для очистки сточных вод гальванических производств // Вестник машиностроения. 2006. № 4. С. 73.
2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. Afroze S., Sen T.K. A review on heavy metal ions and dye adsorption from water by agricultural solid waste adsorbents // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2018. Vol. 229. P. 1-50.

6. Sen T.K. Agricultural solid wastes based adsorbent materials in the remediation of heavy metal ions from water and wastewater by adsorption: a review // *Molecules*. 2023. Vol. 28. No 14. Article 5575. P. 1-22.

7. Using wastes of buckwheat processing as sorption materials for the removal of pollutants from aqueous media: a review / I.G. Shaikhiev, S.V. Sverguzova, R.Z. Galimova, A.S. Grechina // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 945. P. 1-11.

8. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzova S.V. Using cucurbits by-products as reagents for disposal of pollutants from water environments (a literature review) // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2021. Vol. 11. No 5. P. 12689-12705.

9. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzova S.V. Use of garlic processing by-products to remove pollutants from aqueous media // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2022. Vol. 12. No 4. P. 4518-4528.

10. 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.

11. <https://bigenc.ru/c/nut-a9c91f>.

12. 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.

13. Влияние реагентной модификации оболочек стручков гороха (*Pisum sativum*) на сорбционные характеристики по ионам тяжелых металлов / Б.Г. Зиганшин, К.И. Шайхиева, С.В. Степанова и др. // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 3 (47). С. 52-61.

14. Отход сельскохозяйственного производства в качестве сорбционного материала для ликвидации разливов углеводородов и его экстракт для ингибирования коррозии промышленного оборудования / К.И. Шайхиева, А.С.

Макарова, Д.Д. Фазуллин, С.В. Степанова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 2 (136). С. 183-195.

15. Прокопенко Т.А., Степанова С.В., Шайхиев И.Г. Исследование возможности удаления ионов тяжёлых металлов из водных сред отходами от переработки бобовых культур // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 8. С. 60-64.

16. Arsenic bioremediation by low cost materials derived from Blue Pine (*Pinus wallichiana*) and Walnut (*Juglans regia*) / A.N.S. Saqib, A. Waseem, A.F. Khan et al. // Ecological Engineering. 2013. Vol. 51. P. 88-94.

17. Scaled-up biosorption of Cd in single, binary (Cd + Pb, Cd + Ni), and ternary (Cd + Pb + Ni) solutions by black gram (*Cicer arietinum*) husk in a stirred tank bioreactor / A.A.S. Saeed, M.I. Iqbal, R.G. Edyvean, S.I. Zafar // Fresenius Ecological Bulletin. 2007. Vol. 16. No 12a. P. 1600-1607.

18. Saeed A., Iqbal M. Bioremoval of cadmium from aqueous solution by black gram husk (*Cicer arietinum*) // Water Research. 2003. Vol. 37. No 14. P. 3472-3480.

19. Chick-pea husk a natural green waste material and its application for removal of hexavalent chromium oxyanion from water / A.K. Farooque, J.R. Memon, I.B. Solangi et al. // Sindh University Research Journal. 2024. Vol. 56. P. 63-70.

20. Ahalya N., Kanamadi R.D., Ramachandra T.V. Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by the husk of Bengal gram (*Cicer arietinum*) // Electronic Journal of Biotechnology. 2005. Vol. 8. No 3. P. 258-264.

21. Biosorption of chromium (VI) a low cost milling agro waste black gram (*Cicer arietinum*) husk by flash column process // D. Ahmad, M. Hassan, H.N. Khalid et al. // Journal of Scientific Research. 2009. Vol. 39. No 2. P. 1-8.

22. Ahalya N., Kanamadi R.D., Ramachandra T.V. (2006). Biosorption of iron (III) from aqueous solutions using the husk of *Cicer arietinum* // Indian Journal of Chemical Technology. 2006. Vol. 13. P. 122-127.

23. Kinetics and thermodynamics study of biosorption of  $Hg^{2+}$  by sulphonated biomass of *Cicer arietinum*-batch studies / A.A. Kale, A.S. Burungle, N.R. Deshpande, R.V. Kashalkar // Der Pharma Chemica. 2010. Vol. 2 No 6. P. 117-124.

24. Nadeem R., Nasir M.H., Hanif M.S. Pb (II) sorption by acidically modified *Cicer arietinum* biomass // Chemical Engineering Journal. 2009. Vol. 150. No 1. P. 40-48.

25. Sorption of lead ions from aqueous solution by chickpea leaves, stems and fruit peelings / M. Nadeem, I.B. Tan, M.R.U. Haq et al. // Adsorption Science & Technology. 2006. Vol. 24. No 3. P. 269-282.

26. Pandey G. Removal of Cd (II) and Cu (II) from aqueous solution using Bengal gram husk as a biosorbent // Desalination and Water Treatment. 2016. Vol. 57. No 16. P. 7270-7279.

27. Saeed A., Iqbal M., Akhtar M.W. Removal and recovery of lead (II) from single and multimetal (Cd, Cu, Ni, Zn) solutions by crop milling waste (black gram husk) // Journal of Hazardous Materials. 2005. Vol. 117. No 1. P. 65-73.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК СТРУЧКОВ ГОЛУБИНОГО ГОРОХА (*CAJANUS CAJAN*) В КАЧЕСТВЕ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

*Приведены сведения литературных источников по использованию оболочек стручков голубиногo гороха (*Cajanus cajan*) в качестве сорбционного материала для извлечения ионов тяжелых металлов и органических поллутантов из водных сред. Выявлено, что изотермы адсорбции в большинстве случаев соответствуют моделям Ленгмюра и Фрейндлиха, а кинетика процессов соответствует модели псевдо-второго порядка. Приведены значения максимальной сорбционной емкости и эффективности извлечения поллутантов нативными оболочками стручков голубиногo гороха.*

*Ключевые слова: голубиный горох, *Cajanus cajan*, оболочки стручков, поллутанты, адсорбция, водная среда.*

В настоящее время в мировом пространстве стремительно развивается инновационное направление в области охраны окружающей среды – использование отходов промышленного и сельскохозяйственного производства в качестве реагентов для очистки сточных и природных вод от различных поллутантов [1-10]. Многочисленными исследованиями и обзорными работами [1-10] показано, что отходы от переработки сельскохозяйственного сырья (солома, оболочки зерен и плодов, жом, костра и др.) являются эффективными сорбционными материалами (СМ) для извлечения практически всей палитры поллутантов из водных сред. Вторыми по значимости, объемам использования и посевным площадям в мире после зерновых культур являются бобовые (*Fabáceae*) - семейство двудольных растений порядка Бобовоцветные. Некоторые растения этого семейства являются важными продуктами питания. К таковым относятся соя, горох, фасоль, бобы садовые, чечевица, нут и др. Пятое место в мире по объемам выращивания и потребления среди бобовых культур занимает голубиный горох (*Cajanus cajan*) - вид растений из рода Каянус (*Cajanus*) семейства Бобовые (*Fabaceae*), культивируемый повсеместно в странах с тропическим и субтропическим климатом. Кустарник высотой 1-4 метра с одревесневающими ветвями. Листья

очерёдные, сложные, состоят из трёх кожистых листочков, ланцетовидных с заострённым концом. В основании каждого листочка находится прилистничек. Листовые пластинки покрыты жёлтыми точковидными желёзками, сверху они имеют бархатистый налёт, снизу - густое шелковистое опушение. Имеют небольшие яйцевидной формы прилистники. Цветки жёлтые, собраны по 2-6 штук в кисти в пазухах листьев. Плоды - плоско-цилиндрические бобы длиной 4—9 см, прямые или серповидной формы, с клювиком, в спелом состоянии от палевой до тёмно-коричневой или фиолетовой окраски. Содержат от 3 до 10 округлых или овальных семян различной цветовой окраски диаметром 5-8 мм (рис. 1).

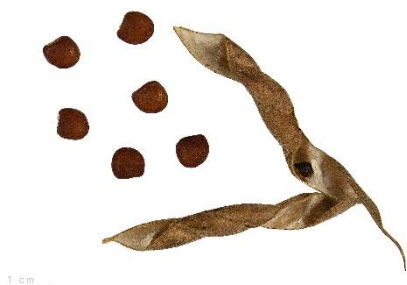


Рис.1. Семена и оболочки стручков *Cajanus cajan*

Незрелые бобы и семена голубиногороха используют в супы, семена консервируют как обычный зелёный горошек. Из спелых семян варят гороховую кашу (дхал), муку из них используют для выпечки. В некоторых странах употребляют в пищу также молодые верхушки побегов и листья, но чаще вегетативная масса растения используется на корм для скота [11]. После шелушения для извлечения семян растения, в качестве отхода остаются оболочки стручков, которые не нашли должного применения и, зачастую, выбрасываются. Хотя экстракт из оболочек стручков голубиногороха (ОСГГ) возможно использовать в качестве красителя [12], а сами оболочки обладают терапевтической активностью [13]. В литературных источниках указывается, что оболочки стручков бобовых могут использоваться в различных отраслях промышленности и здравоохранения [14, 15], в том числе и в качестве СМ для извлечения различных поллютантов из водных сред [16-19]. ОСГГ также использовались для извлечения различных поллютантов из модельных стоков. Так, в работе [20] исследовалось

удаление ионов Cr(VI) ОСГГ в диапазоне дозировок СМ от 2 до 14 г/дм<sup>3</sup> при рН = 2 и концентрации ионов металла 20 мг/дм<sup>3</sup>, времени перемешивания 120 минут при 150 об/мин при комнатной температуре. Результаты показывают, что скорость сорбции ионов Cr(VI) увеличивается с 66,72% до 94,56% при увеличении дозировки СМ с 2 до 14 г/дм<sup>3</sup>. Выявлено, что изотерма адсорбции хорошо ( $R^2 = 0,913$ ) описывается моделью Фрейндлиха. Проведена оптимизация параметров процесса для оптимизации сорбционного взаимодействия методом Тагучи. Исследование показало, что оптимальный отклик для удаления ионов Cr(VI) достигается при значении рН = 1,0, дозе адсорбента 14 г/дм<sup>3</sup> и начальной концентрации иона металла 15,5 мг/дм<sup>3</sup>. Результаты исследования также показывают, что рН раствора является наиболее влиятельным параметром для адсорбции ионов Cr(VI) ОСГГ [21].

Изучено влияние ключевых физико-химических параметров, таких как время контакта, начальная концентрация ионов металла, дозировка адсорбента и рН на удаление ионов Ni<sup>2+</sup>. Выявлено, что наилучшее удаление ионов никеля было получено при времени контакта 45 мин, рН = 8,0 и дозе адсорбента 4 г/дм<sup>3</sup>. Определено, что максимальная сорбционная емкость по ионам Ni<sup>2+</sup> составила 19,23 мг/г. Найдено, что изотермы адсорбции более точно описываются моделью Фрейндлиха, а кинетика процесса соответствует модели псевдо-второго порядка. Вычисленные термодинамические параметры ( $\Delta G = -7,16 - -8,97$  кДж/моль при 303-323 К,  $\Delta H = 19,21$  кДж/моль и  $\Delta S = 86,96$  Дж/моль·К) свидетельствуют о протекании физической адсорбции в начальный период времени [22]. Поиск оптимальной комбинации ключевых переменных был изучен с помощью методологии поверхности отклика для максимального удаления ионов Ni<sup>2+</sup>. Эксперимент, охватывающий 17 факторов, был установлен с помощью метода Бокса-Бенкена. Найдено, что квадратичная модель дает наиболее подходящее соотношение между переменными и откликом функций. Определено, что полученная оптимальная точка находилась в допустимой области, а оптимальные параметры адсорбции были предсказаны как начальная концентрация ионов Ni<sup>2+</sup> 60 мг/дм<sup>3</sup>, значение рН = 9,0 и время контактирования 75 мин. При этих условиях адсорбции было продемонстрировано максимальное удаление 96,54 % от начальной концентрации иона металла [23]. Также в литературных источниках выявлено несколько публикаций по сорбции двух ионов металлов ОСГГ. В частности, в работе [24] оценивалось влияние

различных параметров, таких как влияние pH, доза адсорбента, время контакта, начальная концентрация ионов  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  и температуры на сорбционные характеристики СМ. Эксперименты показали, что удаление ионов металлов следовало кинетической модели псевдо-второго порядка, а исследования адсорбции равновесия подтвердили, что модель Ленгмюра обеспечивает лучшее соответствие. Аналогичные данные получены в работе [25] по исследованию сорбционного взаимодействия ионов  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  с биомассой ОСГГ. Также изучалось поглощение ионов  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  ОСГГ с варьированием некоторых параметров процесса. Выявлено, что биосорбция ионов цинка и кадмия зависела от pH раствора и концентрации ионов металлов в растворе. Максимальная адсорбция названных ионов наблюдалась при pH = 4 и уменьшалась с увеличением последнего. Определено, что увеличением начальной концентрации ионов  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  с 10 до 100 ppm, эффективность извлечения последних СМ уменьшалась, что вполне закономерно [26]. Кроме того, ОСГГ исследовались в качестве нового биосорбента для удаления ионов  $\text{Cr(VI)}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  и из водных растворов. Определено, что сорбционная емкость исследуемого СМ зависела от pH раствора и для ионов  $\text{Cr(VI)}$  составила pH = 2,0, для ионов  $\text{Fe}^{3+}$  - pH = 2,5. Также выявлено, что данные по адсорбции хорошо согласуются с моделями изотерм Ленгмюра и Фрейндлиха. Максимальная сорбционная емкость ( $Q_{\max}$ ), рассчитанная по изотерме Ленгмюра, составила  $Q_{\max} = 96,05$  мг/г по ионам хрома (VI) и  $Q_{\max} = 66,65$  мг/г по ионам железа (III) при вышеназванных значениях pH [27]. Выявлены несколько публикаций по использованию ОСГГ для извлечения органических поллютантов различной природы из водных сред. В частности, указывается, что данный СМ использовался для сорбции красителя Indigo Carmine из модельных растворов. Было изучено влияние различных факторов, таких как исходная концентрация красителя, доза ОСГГ, время контакта, pH и температура, на адсорбцию красителя. Данные кинетики реакции и данные равновесия биосорбции были хорошо представлены кинетической моделью для псевдо-второго порядка и изотермической моделью Ленгмюра. Также были определены термодинамические критерии, такие как изменение свободной энергии Гиббса ( $\Delta G = 25,976$  кДж/моль), изменение энтальпии ( $\Delta H = 24,3$  кДж/моль) и изменение энтропии ( $\Delta S = 85,75$  Дж/моль·К) [28]. Исследовано для удаления фармацевтических препаратов триметоприм и атенолол, которые являются одними из наиболее часто обнаруживаемых поллютантами в индийских водах. Определено, что

значения максимальной сорбционной емкости составили для триметоприма  $Q_{\max} = 22,7$  мг/г, для атенолола -  $Q_{\max} = 29,8$  мг/г. Изотермы адсорбции были обработаны в рамках нескольких моделей и по коэффициенту аппроксимации более точно описывались моделью Ленгмюра в обоих случаях. Исследование кинетики адсорбции с использованием модели внешнего массопереноса показало, что сопротивление диффузии пленки регулировало процесс адсорбции названных фармпрепаратов на ОСГГ.

Практически все выполненные исследования осуществлены индийскими учеными ввиду того, что Индия является основным источником выращивания *Sajanus sajan* в мире. Определено, что ежегодно в Индии образуется не менее 230000 т ОСГГ в год [29] и проблема его утилизации является актуальной задачей. Практически все исследователи высказались за перспективность использования ОСГГ в качестве эффективного, дешевого, многотоннажного СМ для извлечения различных загрязнителей из водных сред.

### Библиографический список

1. Шайхиев И.Г. Использование отходов сельского хозяйства для очистки сточных вод гальванических производств // Вестник машиностроения. 2006. № 4. С. 73.
2. 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.
3. 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.
4. Mashkoo F., Nasar, A. Environmental application of agro-waste derived materials for the treatment of dye-polluted water: A review // Current Analytical Chemistry. 2021. Vol. 17. No 7. P. 904-916.
5. A review on agro-industrial waste (AIW) derived adsorbents for water and wastewater treatment / J. Mo, Q. Yang, N. Zhang et al. // Journal of Environmental Management. 2018. Vol. 227. P. 395-405.
6. Shrivastava R., Singh N.K. Agro-wastes sustainable materials for wastewater treatment: Review of current scenario and approaches for India // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 60. P. 552-558.



7. Afroze S., Sen T.K. A review on heavy metal ions and dye adsorption from water by agricultural solid waste adsorbents // Water, Air, & Soil Pollution. 2018. Vol. 229. P. 1-50.
8. Sen T.K. Agricultural solid wastes based adsorbent materials in the remediation of heavy metal ions from water and wastewater by adsorption: a review // Molecules. 2023. Vol. 28. No 14. Article 5575. P. 1-22.
9. 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 // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. P. 1-11.
10. 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.
11. Abebe B.K. The dietary use of pigeon pea for human and animal diets // The Scientific World Journal. 2022. Article ID 4873008. P. 1-12.
12. Khonde R.D. Amol A. Bhusari A.A. Exploration of *Cajanus cajan* husk for natural dye extraction: its characterization and application on cotton fabric // Journal of the Institution of Engineers India. Series E. 2024. Vol. 105. No 2. P.137–144.
13. Pigeon pea seed husks as potent natural resource of anti-oxidant and anti-hyperglycaemic activity / A.K. Tiwari, B. Abhinay, K.S. Babu et al. // International Journal of Green Pharmacy. 2013. Vol. 7. No 3. P. 252-257.
14. Pulse by-products / I. Luzardo-Ocampo, M.L. Cuellar-Núñez, B.D. Oomah, G. Loarca-Piña // Food Wastes and By-products: Nutraceutical and Health Potential. 2020. P. 59-92.
15. Selvamuthukumaran M. Value addition of pulse processing industrial waste // Wealth out of Food Processing Waste. 2024. P. 78-83.
16. 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 загрязнителей из водных сред (обзор литературы) // Химия растительного сырья. 2021. № 4. С. 47-64.
17. Влияние реагентной модификации оболочек стручков гороха (*Pisum sativum*) на сорбционные характеристики по ионам тяжелых металлов / Б.Г. Зиганшин, К.И. Шайхиева, С.В. Степанова и др. // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 3 (47). С. 52-61.

18. Отход сельскохозяйственного производства в качестве сорбционного материала для ликвидации разливов углеводородов и его экстракт для ингибирования коррозии промышленного оборудования / К.И. Шайхиева, А.С. Макарова, Д.Д. Фазуллин, С.В. Степанова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. № 2 (136). С. 183-195.

19. Прокопенко Т.А., Степанова С.В., Шайхиев И.Г. Исследование возможности удаления ионов тяжёлых металлов из водных сред отходами от переработки бобовых культур // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 8. С. 60-64.

20. Chauhan B.S., Singh A.K., Kaushik A. Bioremediation of Cr (VI) from aqueous solution using modified bagasse fly ash, husk of *Cajanus cajan* and waste carbon // Environment & We an International Journal of Science & Technology. 2012. Vol. 7. P. 91-98.

21. Kaushik A., Chauhan B.S., Singh A.K. Application of Taguchi optimization approach for the removal of Cr (VI) from aqueous solution using husk of *Cajanus cajan* // Research Journal of Chemistry and Environment. 2014. Vol. 18. No 10. P. 1-9.

22. Pigeon pea (*Cajanus cajan*) pod as a novel eco-friendly biosorbent: a study on equilibrium and kinetics of Ni (II) biosorption / J. Aravind, S. Muthusamy, S.H. Sunderraj et al. // International Journal of Industrial Chemistry. 2013. Vol. 4. P. 1-9.

23. Response surface methodology optimization of nickel (II) removal using pigeon pea pod biosorbent / J. Aravind, C. Lenin, C. Nancyflavia et al. // International Journal of Environmental Science and Technology. 2015. Vol. 12. P. 105-114.

24. Venkata Ramana D. K., Min K. Activated carbon produced from pigeon peas hulls waste as a low-cost agro-waste adsorbent for Cu (II) and Cd (II) removal // Desalination and Water Treatment. 2016. Vol. 57. No 15. P. 6967-6980.

25. Pigeon peas hulls waste as potential adsorbent for removal of Pb (II) and Ni (II) from water / D.V. Ramana, D.H.K. Reddy, J.S. Yu, K. Sessaiah // Chemical Engineering Journal. 2012. Vol. 197. P. 24-33.

26. Removal of cadmium and zinc ions from aqueous solution by using two type of husks / K.P. Patel, S.K. Tank, K.M. Patel, P. Patel // APCBEE Procedia. 2013. Vol. 5. P. 141-144.

27. Ahalya N., Kanamadi R.D., Ramachandra T.V. Cr (VI) and Fe (III) removal using *Cajanus cajan* husk // Journal of Environmental Biology. 2007. Vol. 28. No 4. P. 765-769.

28. Biosorption studies of indigo carmine dye from its aqueous solution using agro-waste / P. Raut, D.S. Pattanayak, P.D. Patil et al. // Sustainable Engineering, Energy, and the Environment. 2022. P. 415-432.

<sup>1</sup>Шинкевич П.С.

<sup>1</sup>Вельможина К.А.

<sup>1</sup>Политаева Н.А., д-р техн. наук, проф.

<sup>1</sup>Чусов А.Н., канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup>Зибарев Н.В., канд. техн. наук

<sup>1</sup>Опарина А.М.

(1 - СПбПУ, г. Санкт-Петербург, Россия)

## РОЛЬ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В ТРАНСФОРМАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

*Рассмотрены возможности применения микроводорослей для комплексного улавливания  $CO_2$ ,  $SO_x$ ,  $NO_x$  из промышленных газов. Проведён сравнительный анализ штаммов *Chlorella kessleri*, *Chlamydomonas* sp., *Chloromonas typhlos* и *Aphanothece microscopic Nageli* в закрытых фотобиореакторах.*

*Ключевые слова: микроводоросли, промышленные выбросы, газовые смеси, углекислый газ, эмиссии  $CO_2$ , улавливание  $CO_2$ , фотобиореакторы,  $SO_x$ ,  $NO_x$ , питательная среда, биомасса микроводорослей.*

В настоящее время промышленные выбросы обеспечивают примерно 20 % глобальных эмиссий  $CO_2$  и сопровождаются выделением оксидов серы и азота, что приводит к образованию кислотных дождей и заметному ухудшению качества атмосферного воздуха. Микроводоросли способны одновременно улавливать  $CO_2$ ,  $SO_x$  и  $NO_x$  из дымовых газов и направлять часть углерода в биомассу для дальнейшей переработки [1]. Однако,  $NO_x$  и  $SO_x$  в составе флюгаза оказывают двойственное влияние: при низких концентрациях служат доп-олнительным источником N-питания, но при превышении порога ( $>50$  ppm) подавляют рост и фотосинтез [2]. Согласно приблизительным данным, 100 тонн микроводорослей фиксируют 183 тонны углекислого газа в период максимального роста биомассы при культивировании в течение 8–10 дней [3,4]. Цель данной работы – проанализировать потенциал микроводорослей для эффективного улавливания и биотрансформации углекислого газа совместно с оксидами серы и азота в условиях промышленных выбросов, а также обосновать научно-

инженерные подходы к созданию интегрированных систем геохимического мониторинга и биоремедиации для снижения нагрузки на атмосферу. Для оценки использовали герметичные фотобиореакторы объёмом 5,4 л, оснащённые системой барботажа, теплообменником и LED-осветителем. Биомасса микроводорослей в питательной среде, фотопериодом 16 ч освещения/8 ч затемнения, приблизительной интенсивности освещения 5405 Люкс, температуры 20 °C-25 °C, pH в пределах 6-8,3 и постоянной подаче газовой смеси (CO<sub>2</sub> 15 %, SO<sub>x</sub> 60 мг/л, NO<sub>x</sub> 100 ppm) [5]. Газовая смесь циркулировала по замкнутому контуру, а её состав контролировался газоанализатором GEOTECH ga200plus. Увеличение биомассы оценивали по оптической плотности при  $\lambda = 750$  нм, а поглощённый объём CO<sub>2</sub> по уравнению состояния идеального газа. В результате сравнения штаммов *Chlorella kessleri*, *Chlamydomonas sp.* и *Chloromonas typhlos* было выявлено, что *Chlorella kessleri* обеспечивает максимальную скорость поглощения CO<sub>2</sub> — 0,187 г\*л<sup>-1</sup>\*день<sup>-1</sup> [6]. Отсутствие аэрации или дефицит азота снижали этот показатель до 0,042 г\*л<sup>-1</sup>\*день<sup>-1</sup> [7]. При культивировании микроводорослей *Aphanothece microscopic Nageli* была зафиксирована высокая продуктивность поглощения CO<sub>2</sub> — 1250 мг\*л<sup>-1</sup>\*сутки, что позволило зафиксировать 5435 мг CO<sub>2</sub>\*л<sup>-1</sup>\*сутки. Следует отметить также, что модель «азотного голодания» (концентрацию KNO<sub>3</sub> в питательной среде снижали с 0,2 до 0,02 мг/л) тормозила общий прирост биомассы, но стимулировала накопление липидов, создавая условия для реализации комбинированной технологии, сочетающей не только очистку промышленных газов, но и получение биотоплива из биомассы микроводорослей [8]. Таким образом, подход, объединяющий лабораторные фотобиореакторы и полевые сенсорные комплексы для контроля состава газовой фазы, позволит не только количественно оценивать эффективность улавливания CO<sub>2</sub>, но и отслеживать динамику его трансформации в биосфере. В перспективе гибридные решения — сочетание фотобиореакторов с газоанализаторами и системой подачи и контроля газовой смеси — смогут стать ключевым элементом промышленных установок по снижению углеродного следа и очистке выбросов. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (Соглашение № 24-17-20004 от 12.04.2024 г.).

### Библиографический список

1. Scapini T, Woiciechowski AL, Manzoki MC, Molina-Aulestia DT, Martinez-Burgos WJ, Fanka LS, Duda LJ, Vale ADS, de Carvalho JC, Soccol CR. Microalgae-

mediated biofixation as an innovative technology for flue gases towards carbon neutrality: A comprehensive review. *J Environ Manage.* 2024 Jul;363:121329. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.121329. Epub 2024 Jun 8. PMID: 38852420.

2. Singh Chauhan D, Sahoo L, Mohanty K. Maximize microalgal carbon dioxide utilization and lipid productivity by using toxic flue gas compounds as nutrient source. *Bioresour Technol.* 2022 Mar;348:126784. doi: 10.1016/j.biortech.2022.126784. Epub 2022 Jan 29. PMID: 35104656.

3. Politaeva, N. Carbon Dioxide Utilization Using Chlorella Microalgae / N. Politaeva, I. Ilin, K. Velmozhdina, P. Shinkevich // *Environments.* – 2023. – Vol. 10, No. 7. – P. 109.

4. Velmozhdina, K.A. Development of a technological scheme for the utilization of carbon dioxide and the production of biohydrogen using microalgae / K.A. Velmozhdina, P.S. Shinkevich, N.A. Politaeva, P.Yu. Mikheev, A.N. Chusov // *International Journal of Hydrogen Energy.* – 2025. – Vol. 121, No. 1. – P. 827-830.

5. Шинкевич, П.С. Роль микроводорослей в современных технологиях фиксации и утилизации углекислого газа / П.С. Шинкевич, К.А. Вельможина, Н.А. Политаева, А.Н. Чусов // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология.* – 2024. – № 10(427). – С. 154-166. – DOI 10.15518/isjaee.2024.10.154-166. – EDN CQZYWB.

6. Политаева, Н.А. Влияние стрессовых условий на поглощающую способность микроводорослей при декарбонизации выбросов / Н.А. Политаева, А.Н. Чусов, К.А. Вельможина, П.С. Шинкевич // *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. 109-114.

7. Шинкевич, П. С. Оценка способности микроводорослей к поглощению углекислого газа в различных условиях на примере *Chlorella kessleri* и других видов / П. С. Шинкевич, К. А. Вельможина, Н. А. Политаева // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология.* – 2024. – № 10(427). – С. 141-153. – DOI 10.15518/isjaee.2024.10.141-153.

8. Zibarev, Nikita & Amira, Toumi & Politaeva, Natalia & Iljin, Igor. (2024). Nutrients recovery from dairy wastewater by *Chlorella vulgaris* and comparison of the lipid's composition with various chlorella strains for biodiesel production. *PLOS ONE.* 19. e0297464. 10.1371/journal.pone.0297464.

## **ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО**

*В работе рассмотрено влияние плотности тока на эффективность электрохимического окисления метиленового синего при использовании электродов Ti/Pt и Ru/Ir. Доказано, что при наибольшей плотности тока в обоих случаях эффективность деструкции достигает 94 %.*

*Ключевые слова: метиленовый синий, электрохимическое окисление, плотность тока, электроды, краситель, деструкция, эффективность.*

Быстрый темп роста различных сфер промышленности сопряжен с образованием больших объемов сточных вод, загрязненных органическими соединениями [1]. Такие стоки представляют экологическую угрозу, поскольку многие органические молекулы обладают стабильной структурой, что усложняет задачу эффективной деструкции этих веществ [2].

Одним из примеров производств, содержащих стойкие органические соединения, является текстильная промышленность. Сточные воды таких предприятий могут содержать красители, металлы и другие загрязняющие вещества [3, 4].

Наличие в сточных водах красителей негативно влияет на флору и фауну [4,5]. Поэтому такие стоки необходимо обязательно подвергать очистке перед сбросом в поверхностные и подземные воды.

Для удаления красителей из сточных вод используют различные методы. Однако одними из наиболее эффективных методов деструкции органических соединений являются передовые окислительные процессы (AOPs – Advanced Oxidation Processes), в частности EAOPS – Electrochemical Advanced Oxidation Processes - электрохимические передовые окислительные процессы. Они являются экологически чистыми, не требуют дорогих реагентов, помогают достичь практически полной деструкции сложных органических молекул [6].

Цель данной работы – изучение влияния плотности тока на эффективность электрохимического окисления метиленового синего при использовании различных электродов.

Исследования по электрохимическому окислению проводились на установке, представленной в работе [7]. Электролиз проводился с помощью электродов Ti/Pt и Ru/Ir в течение 10 минут при непрерывном перемешивании. В качестве электролита во всех экспериментах использовался NaCl (3,3 моль/л) в дозе 3 мл на 150 мл раствора красителя. Плотность тока варьировалась от 250 до 1250 А/м<sup>2</sup>.

Объектом исследования являлся модельный раствор метиленового синего с концентрацией 5 мг/л и объемом 150 мл. Определение концентрации красителя осуществлялось с помощью метода прямой фотометрии по калибровочному уравнению для данного вещества.

В ходе первого эксперимента был проведен электролиз на электродах Ti/Pt при плотности тока равной 250, 625 и 1250 А/м<sup>2</sup>. Время обработки раствора составило 10 минут. Наибольшая эффективность деструкции достигалась при наибольшей плотности тока и составила 94,6 %. Во втором эксперименте электролиз проводился на электродах Ru/Ir при тех же плотностях тока и времени обработки красителя. Наибольшая эффективность окисления наблюдалась при наибольшей плотности тока и составила 94,1 %. На рисунке 1 приведены данные, полученные в двух экспериментах.

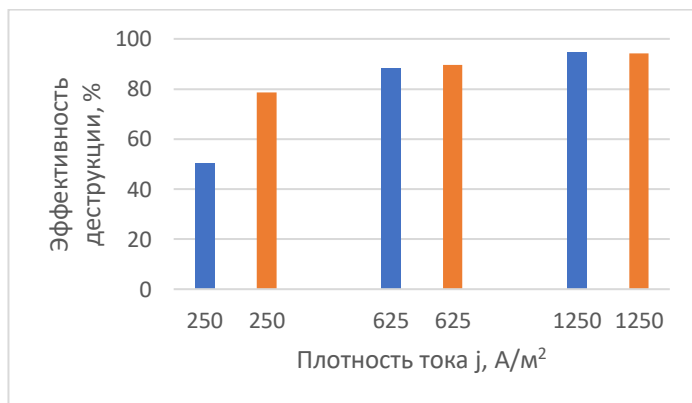


Рис. 1. Зависимость эффективности деструкции метиленового синего от плотности тока и вида электродов (Синий цвет – электроды Ti/Pt; оранжевый цвет – электроды Ru/Ir).

По полученным результатам видно, что с увеличением плотности тока достигается большая степень деструкции молекулы красителя.

Электроды Ti/Pt эффективнее работают в области больших плотностей тока. В области меньших плотностей целесообразнее использовать – Ru/Ir. Определено, что эффективность электродеструкции метиленового синего значительно разнится (на 28 %) при низких плотностях тока в зависимости от материала электрода. Электроды на основе рутения и иридия (Ru/Ir) демонстрируют превосходство над титано-платиновыми (Ti/Pt) электродами. Вероятно, электроды Ru/Ir обладают более высокой каталитической активностью по отношению к реакциям выделения кислорода и образования активных кислородсодержащих радикалов, которые являются ключевыми в процессе окисления метиленового синего.

### Библиографический список

1. Харламова Т.А., Алафердов А.Ф., Маслова О.В. Влияние электрохимического воздействия на деструкцию органических соединений // *Kimya Problemleri*. – 2016. – № 3. С. 244-270.
2. Желовицкая А.В., Дресвянников А.Ф. Электрохимическая деструкция ароматических соединений // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2014. – Т.17. № 9. – С. 262-266.
3. Kumari S. Innovative strategies for dye removal from textile wastewater: a comprehensive review of treatment approaches and challenges / S. Kumari, R. Singh, J. Jahangeer, M. Garg // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2024. – V. 235. N. 720.
4. Исаев А.Б. Кинетика окисления азокрасителя хромового темно-синего реактивом фентона / А.Б. Исаев, М.А. Алиева, А.Ш. Шахабудинов, А.Л. Идрисова // *Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1. Естественные науки*. – 2016. – Т. 31. № 4. – С. 84-91.
5. Исаев А.Б. Кинетика окисления азокрасителя хромового коричневого гипохлоритом натрия / А.Б. Исаев, З.М. Алиев, М.А. Алиева, А.Ш. Шахабудинов, А.Л. Идрисова // *Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1. Естественные науки*. – 2016. – Т. 31. № 4. – С. 87-91.
6. Oturan M.A., Brillas E. Electrochemical advanced oxidation processes (EAOPs) for environmental application // *Portugaliae Electrochimica Acta*. – 2007. – V. 25. – P. 1-18.
7. Kabanov M.A. Evaluation of the influence of drug complex formation on the efficiency of water conditioning with reagents for tetracycline / M.A. Kabanov, N.A. Ivantsova, E.N. Kuzin, E.D. Murzina, A.Y. Korobov // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. – 2022. – V. 55. N 11. – P. 1245-1249.



## СЕКЦИЯ 4. ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

УДК 628.477.6:691

<sup>1</sup>Валеев Р.Р., канд. техн. наук, гл. специалист

<sup>2</sup>Шайхиев И.Г., д-р. тех. наук, проф.,

(1- ООО «АСП-АКВА», г. Москва, Россия;

2- КНИТУ, г. Казань, Россия)

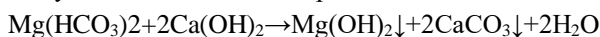
### О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАМА ХИМВОДООЧИСТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛИТОК (КРАТКИЙ АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ)

*Кратко обобщены сведения литературных источников по использованию шлама химводоочистки (ХВО) в производстве керамических плиток. Приведен состав шламов ХВО некоторых теплоэнергоцентралей. Кратко приведены сведения о путях использования шламов в различных отраслях народного хозяйства. Показано, что введение шлама ХВО в состав рецептур для изготовления терракотовых плиток позволяет снизить температуру спекания и улучшить некоторые физико-химические и механические показатели готовых изделий.*

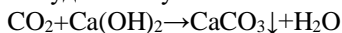
*Ключевые слова: шлам ХВО, керамические плитки, рецептура, свойства изделий.*

При производстве тепловой энергии на ТЭЦ образуются 2 вида крупнотоннажных отходов – зола от сжигания топлива и осадок от умягчения воды, подаваемой на котлы. Шлам химводоочистки, образуется в процессе умягчения воды за счет операций известкования и коагуляции мелкодисперсных дисперсных частиц. При известковании, в процессе удаления диоксида углерода, кальциевой и магниевой карбонатной жесткости, происходит образование соединений в виде шлама, который затем направляется на долгосрочное хранение в соответствующие шламонакопители. Процесс умягчения природной воды выглядит следующим образом: - удаление кальциевой карбонатной жесткости:  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$

- удаление магниевой карбонатной жесткости:



- удаление углекислоты:



Кроме того, требуется предварительное удаление из речной воды грубых и тонкодисперсных примесей размером  $0,01 \div 0,001$  мм (пески, глины, продукты коррозии и т.д.), а также дисперсно-коллоидных частиц с размером  $0,001 \div 0,00001$  мм (органические соединения, оксиды металлов и т.д.). Удаление последних, как правило, осуществляется посредством коагуляции. В качестве коагулянтов используются в большинстве своем неорганические соединения двух- и трехвалентного железа или алюминия. Как показывают данные многочисленных литературных источников, основным компонентом шлама ХВО является карбонат кальция (кальцит). Его содержание, в частности, в шламе ХВО Казанской ТЭЦ-1, составляет 68,9-71,7 %. Кроме  $\text{CaCO}_3$ , в составе шламов ХВО идентифицированы  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  – 8,8-11,0 %,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – 1,7-1,9 %,  $\text{SiO}_2$  – 0,68-0,8 %, другие вещества, в том числе и органические – 12,0-18,0 % [1]. Результаты количественного минерального рентгенофазового анализа, в частности, шлама ХВО Белгородской ТЭЦ показали высокую массовую долю  $\text{CaCO}_3$  (92,9 %), незначительное содержание  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (2,1 %);  $\text{SiO}_2$  (2,01 %);  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (3,0 %) [2]. Как показывает обзор мировой литературы, основными видами утилизации шлама ХВО является его использование в качестве мелиоранта [1] и для подщелачивания кислых почв [3]. Наибольшее количество исследований посвящено использованию шламов ХВО в составе различных строительных материалов [3-10] и укрепленных грунтов для дорожного строительства [11]. Показано, что введение шлама ХВО в состав штукатурных смесей [12-14], керамзита [15], асфальта [16] и других битумных материалов [17], бетонных изделий [18] улучшает в большинстве случаев механические и эксплуатационные характеристики последних. Весьма перспективным и интересным является использование шлама ХВО в рецептурах для изготовления отделочных керамических плиток, применяемых в домашнем и уличном строительстве. Обзоров по данной тематике не обнаружено в мировой литературе. Керамическая плитка – изготовленное из керамической массы плоское тонкостенное глазурованное или неглазурованное изделие, применяемое для внутренней облицовки стен и стеновых панелей [19]. Как правило, для изготовления керамической плитки используется природная глина с введением в состав композиции различных добавок природного и техногенного происхождения [20]. В работе [19] исследована возможность изготовления терракотовой плитки включением в рецептуру шлама ХВО, содержащего в своем составе 75 %  $\text{CaCO}_3$ , в

количестве 5-15 %. Терракотовая плитка является одним из лучших материалом для облицовки каминов по своим теплотехническим свойствам и привлекательности. Также она используется как экологически чистая, жаростойкая, долговечная, эстетичная облицовка для домовых печей, печей-барбекю, мангальных зон, защитных экранов в парной вокруг печи-каменки, отделки и защиты зоны топки банной печи [20]. Изготовление плиток производилось путем набора температуры по 50 °С через 20 минут до температуры 960 °С. После обжига печь остывает естественным путем, охлаждаясь до температуры 50–80 °С. Выявлено, что замена традиционных отошающих добавок (шамот) шламовыми осадками ХВО показали, что при использовании этих отходов качество продукции не ухудшается. Установлено, что по гранулометрическому составу шламы ХВО могут использоваться в качестве добавки в составе сырья для производства плитки [19, 20].

Следует отметить, что шлам ХВО относительно давно используется в составе керамических композиций, применяемых для изготовления различных изделий отделочного и санитарно-технического назначения. Например, описано использование шлама ХВО в рецептуре керамической массы для изготовления фаянсовых изделий. Известковый шлам вводился в количестве 30-35 % от общей массы композиции. Также в состав керамической массы также вводился нефелин-сиенит в количестве 10-15 %. Введение указанных добавок способствует некоторому увеличению прочности и снижению водопоглощения. Указывается, что введение шлама ХВО более 35 %, приводит к снижению интервала обжига изделия и их деформации, но способствует сокращению стоимости конечного продукта за счет включения в состав керамического изделия антропогенного отхода [21]. Также включение шлама ХВО в состав стандартной рецептуры для изготовления тонкокерамических изделий культурно-бытового и санитарно-гигиенического назначения в количестве 5-20 % способствует снижению температуры обжига изделий до 1050-1100 °С, усадки – до 5 %. Указывается, что полученные изделия имеют низкую стоимость, т.к. в состав композиции входят и другие отходы – фаянсовый бой (5-15 %) и стеклобой (5-10 %) [22]. Также шлам ХВО входит в состав рецептуры, включающей глину (40-60 %), супесь (10-30 %), шлам умягчения – (15-25 %), пигмент (2-12 %) и литиевый отход производства химического волокна. Указывается, что применение различных пигментов позволяет получать плитки различной палитры в зависимости от температуры обжига (600-900 °С), а также

использование отходов снизить температуру и затраты на обжиг и декорирование изделий [23]. Работами Н.Д. Яценко с сотрудниками проведен определенный цикл работ по исследованию влияния шлама ХВО на свойства керамических материалов. Указывается, что кальцийсодержащие природные минеральные соединений, такие как мел, известняк и доломит в классических керамических составах используются в качестве плавней. В этих случаях спекание керамики происходит в результате образования легкоплавких эвтектических расплавов, но при этом изделия получаются с очень большой усадкой, что недопустимо для большинства видов строительной керамики и является одной из причин сдерживания кальцийсодержащих материалов в керамической промышленности [24]. Установлено, что включение шлама ХВО в рецептуру керамики в количестве 15-45 % уменьшает связующую способность и пластичность масс. Поэтому шлам ХВО лучше использовать в массах непластичного формирования. Свойства изделий после обжига показали, что оптимальная температура спекания 920-950 °С, когда наблюдается снижение усадки. При этом содержание шлама ХВО в смеси не должно превышать 30 %. Авторами выявлено, что в массах, включающих в свой состав шлам ХВО, при обжиге формируются крупнокристаллические зерна анортита и псевдоволластонита с высокой плотностью и протекают процессы преимущественно твердофазового спекания, обеспечивающие образование малоусадочной с необходимой плотностью. Резюмируя проблему рационального использования шлама ХВО, авторами [24] сделан вывод, что проблема промышленного использования шлама ХВО остается нерешенной; предложения по утилизации шлама носят эпизодический характер и требуют дальнейшего изучения. Несмотря на технологическое разнообразие известных эпизодических методов утилизации и минимизации сбросных вод ХВО и шламов электростанций основным их недостатком является обособленность и одноцелевое решение проблемы в электроэнергетике. В этой связи, приоритетной задачей является перевод шламов ХВО из разряда отходов в разряд вторичных материальных ресурсов для получения дополнительной товарной продукции.

### **Библиографический список**

1. Королев В.И., Зверева Э.Р. Российский опыт применения отходов химводоподготовки в хозяйственной деятельности: перспективы

использования при обработке осадков сточных вод (обзорная статья). Известия высших учебных заведений // Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 6. С. 47-62.

2. Исследование физико-химических свойств шлама водоочистки Белгородской ТЭЦ / С.В. Свергузова, А.В. Внуков, В.А. Юрченко, И.Г. Шайхиев // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 18. С. 164-166.

3. Стальмах Д.В. Анализ технологий утилизации шламов химводоподготовки ТЭЦ // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета. 2021. № 40(110). С. 150-152.

4. Физико-химические свойства шламов химической очистки питательной воды котлоагрегатов и пути их использования / Т.И. Красненко, Т.П. Сирина, В.В. Викторов и др. // Вестник КазНУ. Серия химическая. 2013. №4(72). С. 192-197.

5. Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge: A review / S.D.C. Gomes, J.L. Zhou, W. Li, G. Long // Resources, Conservation and Recycling. 2019. Vol. 145. P. 148-159.

6. Zhang L. Production of bricks from waste materials – A review // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 47. P. 643-655.

7. Yadav M., Sinha S. Waste to wealth: Overview of waste and recycled materials in construction industry // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 65. P. 2042-2052.

8. Meda S.R., Sharma S.K., Tyagi G.D. Utilization of waste sludge as a construction material - a review // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 46. P. 4195-4202.

9. Monteiro S.N., Vieira C.M.F. On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 68. P. 599-610.

10. Состав и свойства цементобетонных смесей для дорожного строительства с использованием тонкодисперсных отходов ТЭЦ / А.В. Корончик, Е.М. Жуковский, С.Е. Кравченко, О.В. Гайдук // Автомобильные дороги и мосты. 2022. №1 (29) С. 71-81.

11. Валеев Р.Ш., Шайхиев И.Г. Утилизация шламовых отходов теплоэнергетических центральных при производстве строительных материалов. Экология и промышленность России. 2010. № 2. С. 28-29.

12. Валеев Р.Ш., Шайхиев И.Г. Способ применения шламовых отходов водоподготовки в строительных материалах с использованием суперпластификатора MELFLUX 1641F // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15 № 10. С. 111-113.

13. Валеев Р.Ш., Шайхиев И.Г. Рекуперативная технология утилизации шламовых отходов водоподготовки в строительных материалах с использованием суперпластификатора Melment 15G // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 6. С. 35-37.

14. Патент 2520593, Россия. МПК C04B 14/12, C04B 33/13, C04B 38/06.

Сырьевая смесь для изготовления керамзита / Н.Г. Митрофанов, М.В. Кудоманов, И.В. Панов, Д.А. Румянцев. Патентообладатель - ФГБОУ ВПО «ТюмГАСУ». Заявл. 03.09.2012; опубл. 10.03.2014.

15. Патент 2277519, Россия. МПК C04B 26/26, E01C 7/18. Асфальтобетонная смесь и способ ее изготовления / Ю.В. Штефан, Г.Е. Штефан, Б.А. Бондарев. Патентообладатель – Липецкий государственный технический университет. Заявл. 08.12.2003; опубл. 10.06.2006.

16. Валеев Р.Ш., Шайхиев И.Г. Шламовый осадок умягчения воды на ТЭЦ в качестве добавки к битумсодержащим композициям // Сборник докладов международной научной конференции «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология». Белгород, 2024. С. 164-168.

17. Валеев Р.Ш., Шайхиев И.Г. Утилизация шлама химводоочистки в составе бетонов (обзор мировой литературы) // Академический Вестник ЕЛРПГ. 2024. Т. 9. № 2(28). С. 28-40.

18. Разработка технологии производства террактотовой керамической плитки с использованием техногенных продуктов энергетического комплекса / А.С. Ковчур, В.Г. Шелег, С.Г. Ковчур и др. // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2017. № 2(33). С. 86-94.

19. Общие вопросы технологии тонкой керамики: учеб. пособие / А.С. Толкачева, И.А. Павлова. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 184 с.

20. Авторское свидетельство СССР 1106805, МКИ С 04 В 33/24. Керамическая смесь / В.П. Евдокимова. Заявл. 21.07.1982; опубл. 07.09.1984.

21. Патент 2116986, Российская Федерация, МПК6, С 04 В 33/24. Керамическая масса / А.А. Мадоян, А.В. Нубарьян, В.П. Ратькова, Н.Д. Яценко. Патентообладатель – А.А. Мадоян. Заявл. 28.02.1997; опубл. 10.08.1998.

22. Патент 2223927, Российская Федерация, МПК7 С 04 В 33/00. Керамическая масса / А.П. Зубехин, Н.Д. Яценко, О.В. Лихота и др. Патентообладатель – Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт). Заявл. 17.06.2002; опубл. 20.02.2004.

23. Использование шламов химводоочистки электростанций при изготовлении керамических изделий по новым экологически чистым технологиям / А.А. Мадоян, В.П. Ратькова, А.В. Нубарьян, Н.Д. Яценко // Технология. Межотраслевой научно-технический сборник. Серия «Конструкции из композиционных материалов»1998. № 1-2. С. 38-44.

24. Использование шламов ХВО для производства народнохозяйственной продукции / А.В. Нубарьян, Н.Д. Яценко, К.С. Сонин, А.К. Голубых // Теплоэнергетика. 1999. № 11. С. 40-42.

## ОЗОНИРОВАНИЕ НПАВ В ПРИСУТСТВИИ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

*Актуальность работы обусловлена широким распространением НПАВ в промышленности и быту, а также необходимостью разработки эффективных и экологически безопасных методов их удаления из водных сред. Показан синергетический эффект озона и пероксида водорода, обеспечивающий высокую эффективность (до 95%) окисления нПАВ.*

*Ключевые слова: нПАВ, озонирование, окисление, детергенты, загрязняющее вещество, водоочистка.*

Демографическая проблема, а именно высокий рост населения, приводит к увеличению потребления различных продуктов, и, следовательно, к росту промышленных и бытовых отходов. Появление и неправильное использование синтетических соединений может негативно сказаться на экосистеме и привести к гибели животного мира. Одними из таких синтетических загрязняющих веществ являются поверхностно-активные вещества (ПАВы) – органические соединения, которые благодаря своему дифинильному строению и способности адсорбироваться на поверхности вещества снижают поверхностное натяжение [1]. Классифицировать их можно на 4 группы: анионные, неионогенные, катионные и амфолитные. Наиболее опасные – это синтетические ПАВы. Именно они, попадая в водоемы, нарушают органолептические свойства воды, что приводит к эвтрофикации. В контексте растущей экологической обеспокоенности, утилизация поверхностно-активных веществ (ПАВ) представляет собой насущную проблему.

Основной путь попадания детергентов (ПАВ) в сточные воды городских и бытовых сооружений – это промышленные прачечные. Так как ПАВ имеют дифинильное строение, они нашли широкое применение в порошках для стирки, средствах для мытья посуды и бытовой химии [2].

Наукой предложено огромное количество различных способов очистки сточных вод от синтетических моющих средств. Наиболее

часто в литературе можно найти информацию о регенеративных и деструктивных методах.

Для борьбы с ПАВ разрабатываются и исследуются высокоинтенсивные окислительные процессы (Advanced Oxidation Processes) [3], они относятся к группе деструктивных. К ним относится озонирование, УФ-обработка, хлорирование и другие. Особенность окислительных методов заключается в том, что происходит полное удаление загрязняющего вещества из воды. Применение озона вместе с сильным окислителем пероксидом водорода широко применяется в водоочистке.

Совместное использование помогает добиться высокой эффективности в процессе очистки. Это обусловлено образованием высокореакционных гидроксильных радикалов ( $\bullet\text{OH}$ ) в результате реакции озона с пероксидом водорода, которые инициируют окисление поллютантов.

Целью исследования была оценка эффективности процесса озонирования нПАВ в присутствии  $\text{H}_2\text{O}_2$ . В качестве объекта исследования было выбрано смачивающее вещество (нПАВ) ОП-10 с исходной концентрацией 10 мг/л. Исследование проводилось на озонирующей установке, подробно описанной в [4]

Метод спектрофотометрического количественного определения нПАВ был основан на взаимодействии его с йодидом в кислой среде в присутствии хлористого бария. Время обработки ( $t$ , мин) варьировалось в диапазоне от 5 до 60 минут. Для интенсификации процесса озонирования в обрабатываемые растворы добавляли 3 мл пероксида водорода (3 %).

На рис. 1 представлены данные по эффективности окисления нПАВ. Показано, что с увеличением времени воздействия окислителей на молекулу нПАВ эффективность окисления. Так, например, при  $t=5$  минут она составляла  $\leq 5\%$ , а уже при  $t=30$  минут она возросла до 55 % (т.е. в 11 раз). Максимальная эффективность (95%) наблюдалась при 60 мин обработки водного раствора нПАВ.





Рис. 1. Диаграмма эффективности окисления нПАВ

Таким образом, проведен анализ кинетики процесса деструкции нПАВ. Результаты исследования демонстрируют перспективность использования комбинации озона и пероксида водорода для очистки сточных вод, содержащих нПАВ, и могут быть использованы для разработки новых технологий в водоочистке.

### Библиографический список

1. Кюрегян Г. П. Классификация поверхностно-активных веществ / Г. П. Кюрегян, Н. В. Комаров, О. Д. Кюрегян // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. – 2021. – № 1-2. – С. 57-58. – DOI 10.25812/VNIIG.2021.43.74.004. – EDN MZDUNQ.
2. Студенова Д. Изучение качества синтетических моющих средств. Их влияние на окружающую среду и живые организмы // Вестник Московского государственного университета печати. – 2014. – №. 3. – С. 30-34.
3. Karci A., Arslan-Alaton I., Bekbolet M. Advanced oxidation of a commercially important nonionic surfactant: investigation of degradation products and toxicity // Journal of Hazardous Materials. 2013. December 15. Vol. 263, Pt 2. P. 275-282. doi: 10.1016/j.jhazmat.2013.03.052. Epub 2013 Mar 28. PMID: 23608751.
4. Иванцова Н. А., Каратаева П. Р. Каталитическое озонирование водного раствора парацетамола // Экологическая химия. – 2022. – том 31. - №. 1. – С. 34-39.

Игумнова В.В., студентка,  
Спельников В.Н., студент,  
Латыпова М.М., доц., канд. хим. наук  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН ДЛЯ ОЧИСТКИ ДРЕНАЖНЫХ ВОД

*Рассмотрены экологические проблемы горнодобывающей промышленности, исследованы состав дренажных вод и способ их очистки.*

*Ключевые слова: дренажные воды, горнодобывающая промышленность, адсорбция, глина.*

Для горнодобывающей промышленности характерно интенсивное воздействие на окружающую природную среду, неизбежно вызывающее ее изменение. В процессе производства нарушаются полностью или частично сложившиеся экологическое состояние в зонах размещения промышленных объектов (шахт, рудников, обогащательных фабрик).

Эти изменения проявляются в различных сочетаниях негативных явлений, важнейшими из которых являются отчуждение для производства горных работ нужных для сельского хозяйства территорий, истощение и загрязнение подземных и поверхностных вод, затопление и заболачивание подработанных территорий, обезвоживание и засоление почв, загрязнение вредными веществами и химическими элементами атмосферного воздуха неблагоприятные для местных экологических систем гидрогеологические и геохимические изменения, изменение микроклимата [1].

Ущерб, наносимый окружающей среде горными работами, также усугубляется многообразием отрицательно влияющих факторов, порождаемых другими отраслями промышленности, развиваемыми в этом же районе, градостроительными работами, транспортными коммуникациями и т.п. [2].

Главным фактором преобразования окружающей среды являются техногенные процессы, формирующиеся при эксплуатации различных объектов горнодобывающего производства.

Применение в производственном цикле ГОКа бессточной системы водопользования, исключающей сброс сточных вод в природные водоемы делает объектами исследования систему водопользования Лебединского горно-обогатительного комбината, исследование дренажных вод и способы их очистки.

Водоносный Альб-сеноманский терригенный горизонт K2al-s имеет повсеместное распространение на изучаемой территории и приурочен к толще мелко- и среднезернистых песков, мощность которых изменяется от 14 до 40 м, а в среднем составляет 23–26 м, в сторону водоразделов.

Подземные воды характеризуются напорным режимом, величина напора достигает 36–40 м. Горизонт изучается при разведке подземных вод для водоснабжения города Старый Оскол и ОЭМК (долины рек Оскол, Убля и др.), Губкин (долина реки Оскол), где в настоящее время построены и функционируют водозаборы. По данным разведочных работ коэффициенты фильтрации песков горизонта изменяются от 1 до 71,8 м/сут, водопроводимость от 3 до 1780 м<sup>2</sup>/сут. По химическому составу воды пресные гидрокарбонатные кальциевые, с минерализацией от 0,3 до 0,54 г/дм<sup>3</sup>. Альб-сеноманский водоносный горизонт является одним из основных источников водоснабжения города Старый Оскол и Губкин по средствам централизованный водозабор.

В горном деле дренаж применяется для защиты шахт и карьеров от подземных вод путём перехвата их при помощи дренажных устройств в период строительства и эксплуатации горных предприятий. Дренажные устройства разделяются на поверхностные, подземные и комбинированные. К поверхностным относятся вертикальные водопонижающие и поглощающие скважины, горизонтальные дренажные скважины, иглофильтровые установки и опережающие поверхностные траншеи, к подземным — дренажные штреки, сквозные фильтры, восстающие скважины, водопонижающие колодцы, а также опережающие выработки (горизонтальные и наклонные скважины).

Известно, что при разработке месторождений полезных ископаемых, на которых применяют взрывные работы для предварительного рыхления горной массы, в сточные воды попадают соединения азота в количестве равном 3–4% от массы азота, находящегося во взрывчатом веществе [3, 4].

В карьерные сточные воды неорганические соединения азота попадают тремя способами: 1) В процессе зарядания обводненных скважин нитрат аммония растворяется, способствуя попаданию

аммонийного азота в карьерные сточные воды. 2) Нитритный азот попадает в карьерные сточные воды за счет образования оксидов азота после взрыва. Оксиды азота оседают на поверхности взорванной горной массы, затем за счет атмосферных осадков вымываются в карьерный водоотлив. 3). Нитратный азот попадает в карьерные сточные воды за счет процессов, упомянутых выше [5].

Для анализа дренажных вод использовали стандартные методики. В табл. 1 приведен состав карьерных вод. Процесс очистки сточных вод проводили на модельных лабораторных установках с использованием реальных карьерных вод.

Таблица 1 - Состав карьерных вод

Место отбора пробы	pH	Химический состав, мг/дм <sup>3</sup>								
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Fe <sub>общ</sub>	Mn	сухой остаток
Карьер	7,05	10,02	36,2	2,68	250,3	38,2	196,4	54,2	0,34	968,3

Для снижения содержания нитратов, применяют анаэробные методы очистки, а также физико-химические и химические методы с использованием геохимических барьеров, адсорбционных технологий с применением природных сорбентов [6–9].

Нами исследована возможность использования бентонитовых глин для создания геохимического барьера.

Бентонитовая глина, из которой производится материал бентонит, содержит высокодисперсный алюмосиликат монтмориллонит, который обеспечивает весьма значительные гидрофильные свойства бентонита.

При контакте с водой бентонит набухает и образует вязкую суспензию с высокими устойчивыми характеристиками. Бентониты не являются истинными минералами и наряду с основной фазой монтмориллонита, в зависимости от месторождения, в них присутствуют примеси различных минералов.

С целью установления минералогического состава для бентонитов был проведен рентгенофазовый анализ.

Эксперименты, проведенные в статических условиях, показали принципиальную возможность использования бентонитовых глин для очистки карьерных вод от нитрат-ионов и ионов тяжелых металлов.

### Библиографический список

1. Кочуров, Б.И. География экологических ситуаций (экодиагностика территорий) / Б.И. Кочуров. – М., 1997. – 131 с.
2. Железные руды КМА /под ред. В.П. Орлова, И.А. Шевырева, Н.А. Соколова. – М.: ЗАО «Геоинформмак», 2001. – 616 с.
3. 1. Studenok A. G., Studenok G. A., Revvo A. V. Evaluation of wastewater treatment methods from nitrogen compounds for drainage waters of mining enterprises. *Izvestiya ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2013, no. 2, pp. 26–30.
4. Evdokimova G. A., Ivanova L. A., Mozgova N. P., Myazin V. A., Fokina N. V. Floating bioplato for purification of quarry waste water from mineral nitrogen compounds in arctic conditions. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2015, no. 9, pp. 35–41. [In Russ].
5. Studenok A. G., Studenok G. A. Purification of open pit drainage waters of mining enterprises from nitrogen compounds at botanical sites with higher aquatic vegetation. *Aktual'nye problemy ekonomiki i upravleniya. Sbornik nauchnykh statey Shestoy vsrossiyskoy nauchnoprakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Actual problems of economics and management. Collection of scientific articles of the Sixth All-Russian scientific and Practical conference with international participation], Ekaterinburg, Izd-vo UGGU, 2018, pp. 193—195. [In Russ].
6. Obiri-Nyarko F., Grajales-Mesa S. J., Malina G. An overview of permeable reactive barriers for in situ sustainable groundwater remediation. *Chemosphere*. 2014, vol. 111, pp. 243—259. DOI: [org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.112](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.03.112).
7. Vodyanitskiy Yu. N., Shoba S. A. Biogeochemical barriers for soil remediation and soilgroundwater treatment. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2016, no. 3, pp. 3—15. [In Russ].
8. . Ziajahromi S., Khanizadeh M., Khiadani M. Experimental evaluation of nitrate reduction from water using synthesis nanoscale zero-valent iron (NZVI) under aerobic conditions. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2013, vol. 16, no. 2, pp. 205—209. DOI: [10.5829/idosi.mejsr.2013.16.02.11661](https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2013.16.02.11661).
9. Sicilian A. Use of nanoscale zero-valent iron (NZVI) particles for chemical denitrification under different operating conditions. *Metals*. 2015, vol. 5, no. 3, pp. 1507—1519. DOI: [10.3390/met5031507](https://doi.org/10.3390/met5031507).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКОНОВОГО ЗАЛИВОЧНОГО КОМПАУНДА

Заливочные компаунды – это группа защитных материалов, используемых в качестве изоляторов электроники от действия неблагоприятных факторов. С помощью компаундов проводится полная герметизация электроники, – такая защита обеспечивает отличные рабочие параметры даже в условиях экстремальной окружающей среды.

Для защиты микросхем и герметизации электронных изделий применяются заливочные компаунды разного химического состава. Все зависит от того, в каких условиях предполагается использование электроприбора [1].

Силиконовые компаунды, как правило, применяют только для тех электронных устройств, которые используются при постоянных низких или высоких рабочих температурах, например – 40 или 180 °С. Кроме того, такие композиционные материалы обеспечивают электроизоляцию компонентов с минимальным изменением коэффициента рассеивания и электрической проводимости на разных частотах [2], что является важным диэлектрическим свойством.

Согласно исследованиям [3], срок службы силиконовых герметиков 15-25 лет, что также является их преимуществом. К достоинствам также можно отнести химическую устойчивость, амортизирующую способность к механическим нагрузкам, отвердевание без образования пустот.

По химическому составу силиконовые заливочные компаунды состоят из силиконового связующего, наполнителя, катализатора, ингибитора и прочих модифицирующих добавок [4].

В качестве наполнителей в силиконовых заливочных компаундах наиболее часто применяются: сажа (для улучшения электропроводимости), оксид цинка и кремнезем (как инертные вещества обеспечивают электроизоляцию), карбиды и бориды (поглощающие наполнители). Для более правильного по структуре материала и достижения оптимальных свойств используются сочетания наполнителей. Важным

является чтобы наполнители имели разную форму и размер частиц.

Катализаторы, используемые в заливочных силиконовых компаундах, позволяют регулировать скорость отверждения.

Ингибиторы в составе способствуют равномерному затвердеванию силиконового компаунда, а также приобретению технических характеристик [5].

Рассмотрим одну из технологий получения силиконового заливочного компаунда.

Технологию условно можно поделить на несколько этапов: подготовка сырья, смешивание со связующим и пластификатором, диспергирование, смешивание с полимерной основой, добавление катализатора. Технологическая схема представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Технологическая схема производства заливочного силиконового компаунда

Очень важным этапом в технологии производства силиконового компаунда является предварительная подготовка сырья, которая

позволяет удалить лишнюю влагу, отрицательно влияющую на прочность матрицы.

Так компаунд на основе силиконового олигомера и смеси наполнителей (оксид кремния, нитрид алюминия мелкодисперсный, оксид алюминия) получают с предварительным нагреванием в течение часа при температуре  $165 \pm 5$  °С сыпучих ингредиентов. После чего добавляется силиконовой олигомер и пластификатор (например, этилсиликат), смесь диспергируется в течение 2-3 минут при скорости около 1200 об/мин в вакуумной литейной машине, выдерживается при нагревании 20-30 мин, добавляется частями к низкомолекулярному силиконовому каучуку при тщательном перемешивании, затем выдерживают в течение 20-30 мин при температуре 100-120°С. С катализатором смешивают уже после того, как смесь отстоится в закрытой емкости [6].

### Библиографический список

1. Евстифеев В.В. Электротехнические материалы, пластмассы, резины, композиты: учебное пособие / В.В. Евстифеев, М.С. Корытов // Омск: Изд-во СибАДИ. — 2009. — 36 с.
2. Гладков А.З. Электроизоляционные лаки и компаунды / А.З. Гладков // М.: Энергия. — 1973. — 247 с.
3. Павлова А.А. Разработка и исследование оптических термостабильных компаундов МФ ТЭ-1, ТЭ-2, ТЭ-3. Силиконовые заливочные компаунды, наработка, термоциклирование / А.А. Павлова, С.А. Санько, Ю.А. Хотненко // Архивариус. — 2021. — №5 (59). — С. 19-25.
4. Бондалетова Л. И. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. // Томск: Изд-во Томского политехнического университета. — 2013. — 118 с.
5. Софьина С.Ю. Технология полимеров: учебно-методическое пособие / С.Ю. Софьина, Н.Е. Темникова, С.Н. Русанова // Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. Казань: Изд-во КНИТУ. — 2018. — 140 с.
6. Патент № 2018130895 Российская Федерация, МПК C09K 3/10(2006.01), C09K 5/08(2006.01), C08L 83/00(2006.01). Силиконовый компаунд для герметизации: № 2018130895: заявл. 27.08.2018: опубл. 27.02.2020 / Мушенко В.Д., Сулаберидзе В.Ш., Ефремов Н.Ю., Михеев В.А., Мушенко Д.В.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Изотроп".



## РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ПОЛИУРЕТАНОВОЙ СИСТЕМЕ

*В работе описана технология получения и утилизация отходов деревообрабатывающей промышленности для изготовления древесно-полимерных композитов на основе полиуретановой системы.*

*Ключевые слова: отходы деревообрабатывающих производств, мука древесная, полиуретановые компоненты, древесно-полимерные композиты.*

Антропогенное воздействие на природу и развитие промышленности приводит ко многим нарушениям процессов круговорота веществ. Работа крупных лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств приводит к образованию больших объемов отходов. По данным И.В. Волчатовой в результате работы этих предприятий в Российской Федерации образуется около 70 млн. т отходов переработки, основная часть которых не востребована и усугубляет пожарную безопасность и экологическую обстановку [1]. Поэтому ученые вынуждены искать решение такого важного вопроса, как повышение коэффициента использования древесного сырья с минимальным количеством отходов. В настоящее время доказана эффективность применения термопластичных древесно-полимерных композитов (ДПКТ), которая определяется возможностью совместить в них свойства дерева и пластика, компенсировав некоторые недостатки натуральной древесины. Наряду с термопластичными полимерами также широко используются полимерные композиционные материалы (ПКМ) на основе термореактивных полиуретановых смол для изготовления художественных и промышленных изделий (сувениров, элементов декора интерьера, фасадов, мебели, мебельной фурнитуры и комплектующих) [2]. Актуальность темы обусловлена выпуском новых видов качественной продукции на основе древесных отходов. Полимерные композиты – это современный отделочный материал, который сочетает в себе лучшие свойства термопластичных полимеров.

**Цель работы** – определение физико-механических свойств древесно-полимерных композитов с использованием полиуретановой системы.

**Задачи исследования:**

1. Разработка технологии изготовления древесно-полимерных композитов на основе полиуретановых систем;
2. Изготовление образцов древесно-полимерных композитов на основе полиуретановых систем;
3. Испытание, полученных образцов в лабораторных условиях.

Для определения предела прочности при сжатии и плотности было изготовлено 3 партии образцов по вариантам (табл. 1).

Таблица 1 – Рецепттура ДПК а основе полиуретановой системы по вариантам

Варианты	Расход компонентов на одну форму объемом $60 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$		
	компонент А, г.	компонент В, г	древесная мука, г.
Вариант 1	28	12	0
Вариант 2	20	8	12
Вариант 3	12	4	24

Технологический процесс изготовления ДПК на основе полиуретановых систем:

- 1) компонент А наливам в емкость (стакан) и добавляем древесную муку (в вариантах 2 и 3) [3] и тщательно перемешиваем;
- 2) далее добавляем в емкость Компонент В и тщательно все перемешиваем;
- 3) готовую форму смазываем жидким силиконом;
- 4) в форму заливаем полученную смесь;
- 5) в результате экзотермической реакции получаем опытные образцы (рис. 1).



Рис. 1. Образцы для испытания

Испытание образцов на прочность при сжатии проводилось на разрывной машине Р-10 (рис. 2).



Рис. 2. Разрывная машина Р-10

Полученные результаты физико-механических свойств образцов приведены на рисунках 3 и 4.

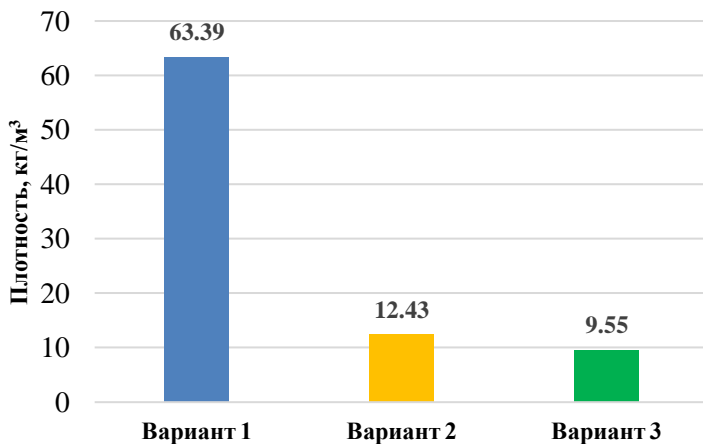


Рис. 3. Сравнение средней плотности образцов по вариантам

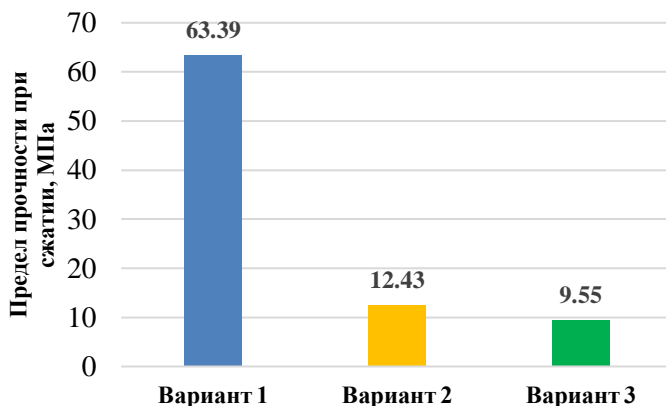


Рис. 4. Сравнение среднего предела прочности при сжатии по вариантам

**Вывод.** Исследования показали, что средняя плотность образцов по варианту 1 –  $1114 \text{ кг/м}^3$ , а средний предел прочности при сжатии 63,39 МПа; у образцов в варианте 2 средняя плотность –  $487 \text{ кг/м}^3$ , а средний предел прочности при сжатии – 12,43 МПа, у образцов варианта 3 – средняя плотность –  $455 \text{ кг/м}^3$ , а средний предел прочности при сжатии – 9,55 МПа. В целом, нами доказана возможность использования отходов деревообрабатывающей промышленности для изготовления древесно-полимерных композитов на полиуретановой системе.

### Библиографический список

1. Волчатова И.В. Разработка мероприятий по рациональному использованию отходов мебельного производства / Экология и промышленность России.– 2011.– № 8.– С. 20-22.
2. Клесов А.А. Древесно-полимерные композиты: учебное пособие. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010.– 736 с.
3. ГОСТ 16361-87. Мука древесная. Технические условия.– М.: Издательство стандартов, 1988.– 6 с.

Сапронова Ж.А., д.т.н., доцент,  
Загороднюк Л.Х., д.т.н., профессор,  
Гафаров Р.Р., ассистент,  
Богданов В.Н., ассистент  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## **ЗАВИСИМОСТЬ РАБОТЫ АДГЕЗИИ И КОЭФФИЦИЕНТА СМАЧИВАНИЯ ОТ СОСТАВА НЕОТВЕРЖДЕННОЙ КОМПОЗИЦИИ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРЫТИЯ**

*В данной работе исследовано влияние состава неотвержденной композиции пленкообразователя защитного покрытия на основе нанодисперсных гидросиликатов калия и латексной дисперсии НОВОПОЛ 004А на адгезию и коэффициент смачиваемости при экспериментальном определении поверхностного натяжения и краевого угла смачивания.*

*Ключевые слова: адгезия, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, коэффициент смачиваемости.*

В производстве лакокрасочных материалов наиважнейшее значение имеют такие показатели, как консистенция краски, прочность, твердость и долговечность образующегося покрытия. Качество пленкообразователя характеризуется такими основными показателями, как вязкость, поверхностное натяжение, содержание летучих и нелетучих веществ, наличие гелей и микрогелей, размер частиц, коллоидная стабильность, адгезионная прочность [1-3].

Как правило, лакокрасочные материалы (ЛКМ) представляют собой многокомпонентные системы, включающие в себя два основных компонента — жидкая фаза, представленная пленкообразующими или пленко— связующими веществами (идентичные понятия в отечественной терминологии), и твердая фаза, которая представлена пигментами, наполнителями и др. Пленкообразующие вещества ЛКМ предназначены для связывания частиц пигмента и создания на окрашиваемой подложке материала хорошо сцепляющегося с поверхностью покрытия, которое должно быть достаточно твердым и прочным [4-6]. В данной работе исследовалось влияние соотношения количества нанодисперсного гидросиликата калия (ГСК) к содержанию органического латекса марки НОВОПОЛ 004А в системе на такие показатели, как работа адгезии ( $W_a$ ) и коэффициент смачивания ( $S$ ).

Наличие в составе неотвержденной композиции пленкообразователя ГСК способствует улучшению межфазных взаимодействий, а именно работе адгезии и смачивания, что, в свою очередь, повышает прочность покрытий, создаваемых на их основе. Замена части пленкообразователя, состоящего из одного органического латекса на ГСК значительно, снижает в 2-3 раза себестоимость при выпуске защитно-декоративных покрытий в производственном масштабе. Адгезия и смачивание относятся к межфазным взаимодействиям, которые происходят между конденсированными фазами. Явления смачивания и растекания тесно связаны с действием сил адгезии. Адгезия (прилипание) — это молекулярное притяжение между поверхностями двух соприкасающихся разнородных твердых или жидких фаз. Адгезия является причиной склеивания двух разных веществ за счет действия физических или химических молекулярных сил. Работу адгезии  $W_A$  рассчитывают на основании экспериментальных значений поверхностного натяжения на границе жидкость—газ ( $\sigma$ ) и краевого угла смачивания ( $\theta$ ) по уравнению Дюпре—Юнга:

$$W_A = \sigma \times (1 + \cos \theta).$$

На рисунках 1 и 2 представлены графические зависимости работы адгезии ( $W_a$ ) и коэффициента смачивания ( $S$ ) от состава пленкообразователя, построенные в результате расчетов, проверенных при обработке экспериментальных данных по определению краевого угла смачивания и поверхностного натяжения пленкообразователей.

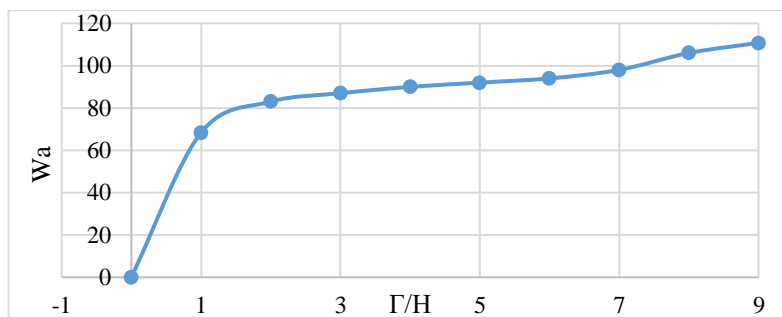


Рис. 1. Зависимость работы адгезии от состава пленкообразователя

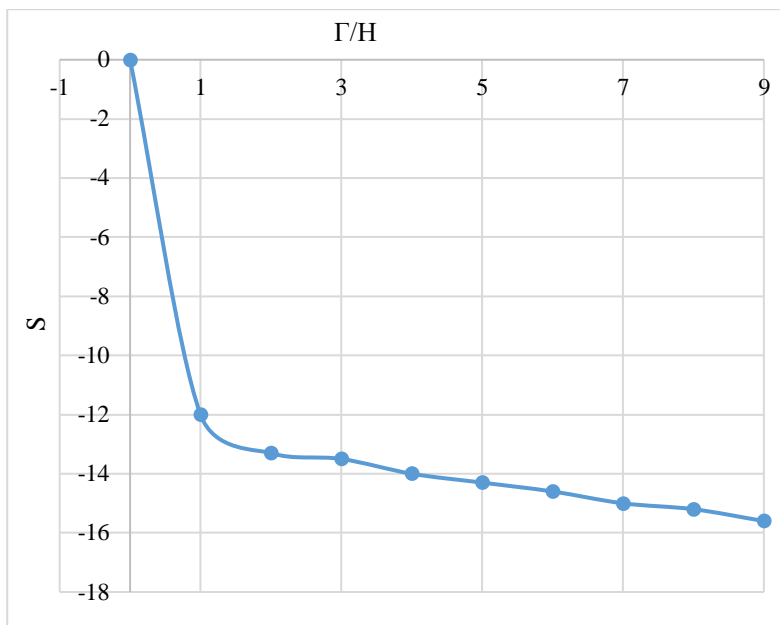


Рис. 2. Зависимость коэффициента смачивания от состава пленкообразователя

Из проведенных исследований видно, что с увеличением массовой доли ГСК и уменьшением доли латексной дисперсии увеличиваются адгезия пленкообразователя к подложке, а также смачивание.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что чем больше работа адгезии неотвержденной композиции к твердому телу тем меньше её поверхностное натяжение, тем лучше жидкость смачивает поверхность твердого тела. Коэффициент смачивания тем больше, чем лучше жидкость растекается по поверхности подложки. Анализируя данные рисунков 1 и 2 можно сделать вывод, что состав пленкообразователя должен лежать в пределах: 25-90 масс. % ГСК и 10-75 масс. % латексной дисперсии НОВОПОЛ 004А (стирол-акрилового сополимер). Оптимальный состав пленкообразователя: 50-75 масс. % ГСК и 25-50 масс. % латексной дисперсии НОВОПОЛ 004А.

## Библиографический список

1. Веснин, Р. А. Исследование адгезионной прочности границы раздела металл-композит / Р. А. Веснин // Аллея науки. – 2018. – Т. 3, № 5(21). – С. 90-97. – EDN USZDDU.
2. Парпиев, Х. Создание фотонно-кристаллических хромогенных структур / Х. Парпиев, А. Б. Гафуров, М. М. Изатиллаев // Материалы докладов 57-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов: В ДБУХ TOMAX, Витебск, 18–19 апреля 2024 года. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2024. – С. 451-452. – EDN QXUJXS.
3. Узлов, А. А. Разработка состава для защиты сельскохозяйственной техники от воздействия внешних факторов / А. А. Узлов // Техника и технологии: теория и практика. – 2023. – № 6(12). – С. 13-19. – DOI 10.34286/2712-7419-2023-12-6-13-19. – EDN CFWRRO.
4. Lutsenko, A. A. Current state of protective and decorative properties of water-dispersion acrylic compositions / A. A. Lutsenko, A. N. Dyuryagina // Химический журнал Казахстана. – 2023. – No. 2(82). – P. 16-26. – DOI 10.51580/2023-2.2710-1185.10. – EDN EAIFED.
5. Шамраева, Д. А. Разработка способа получения железоксидного пигмента из отходов металлургической промышленности / Д. А. Шамраева, С. И. Разинькова, Р. Р. Гафаров // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. – 2023. – № 1. – С. 740-742. – EDN ZFGZLA.
6. Органорастворимые пигментные пасты / С. Бауэр, Ф. Кляйнштайнберг, Э. Петер, П. Глекнер // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2010. – № 6. – С. 22-28. – EDN TWLZYN.
7. Силикон-эпоксидные смолы -новые пленкообразователи в ЛКМ / Г. А. Миронова, Ф. И. Ильдарханова, К. Г. Богословский [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2009. – № 12. – С. 23-25. – EDN TUAAPK.
8. Модифицированные нефтеполимерные смолы как пленкообразующие для ЛКМ / В. Г. Бондалетов, В. Я. Толмачева, Е. П. Фитерер, О. В. Бондалетов // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2008. – № 3. – С. 22-25. – EDN JXFRWX.



## ОТХОД ФИЛЬТРАЦИИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

*В данной работе глинистый отход, полученный при фильтрации смеси отработанных нефтепродуктов, рассматривается как возможное сырье для получения сорбционного материала.*

*Ключевые слова: отработанная глина, сорбент.*

Промышленные стоки часто содержат вредные вещества, такие как тяжелые металлы, кислотные или щелочные соединения и токсичные органические химикаты. Эти загрязнители могут выщелачиваться, улетучиваться или просачиваться в почву и водные системы, что приводит к значительному экологическому ущербу и рискам для здоровья. Например, тяжелые металлы, которые накапливаются в почве, могут подавлять рост растений и попадать в пищевую цепь, создавая хронические риски для здоровья людей. Более того, хранение и утилизация промышленных отходов требуют значительных земельных ресурсов, способствуя деградации почвы и снижению геологической стабильности, что усугубляет экологические проблемы. Следовательно, эффективное использование и управление отходами стали важнейшими темами в экологической, экономической и технологической областях [1].

В рамках парадигмы экономики замкнутого цикла твердые отходы и возобновляемые промышленные побочные продукты должны быть переопределены как критически важные ресурсы, способствующие промышленному симбиозу и улучшающие устойчивый материальный поток [2].

Глина является природным сорбционным материалом, широко используемым в промышленности, в частности, при очистке масел (как растительных, так и смазочных) от нежелательных примесей.

В ряде случаев в качестве сорбентов используются также активированный уголь и соединения на основе кремния [3].

Отработанные сорбенты представляют значительную проблему в аспекте их утилизации – они содержат много органических соединений, опасных для окружающей среды, а также подвержены возгоранию.

Известен ряд исследовательских работ по утилизации отработанных сорбентов, использованных при очистке растительных масел: обезжиривание, захоронение, сжигание, получение сорбционных материалов и катализаторов [4].

В исследовании [5] показана возможность использования модифицированных поверхностно-активными веществами отходов отбелной глины с заводов по переработке пальмового масла для удаления фосфатов из сточных вод.

Кинетические, изотермические и термодинамические исследования показывают, что поглощение фосфатов происходит по механизму образования монослоя. Исследования также показывают, что адсорбция является спонтанной, эндотермической и в основном обусловлена электростатическим взаимодействием между катионной головкой поверхностно-активного вещества, прикрепленной к межслоевому пространству сорбента, и отрицательно заряженным фосфатным ионом.

В работе [6] была исследована возможность применения термообработанного отхода рафинации подсолнечного масла (отбелной глины) для очистки сточных вод от красителей. Установлено, что термообработанная при 300...350 °С отбелная глина эффективно адсорбирует метиленовый голубой из водных растворов.

В то же время, исследований по утилизации глин и минеральных сорбентов, используемых для фильтрации смазочных масел или нефтепродуктов, не так много.

Отработанные сорбенты, содержащие нефтепродукты, образуются на многих этапах производства. Чаще всего такие отходы захораниваются. Известны также способы экстракции нефтепродуктов, если они обладают достаточной товарной ценностью [7].

Работа [8] посвящена изучению процессов восстановления сорбционных свойств диатомита, загрязненного нефтепродуктами, при обработке его в диэлектрическом барьерном разряде.

По результатам проведенных исследований выявлено, что при обработке загрязненных сорбентов диэлектрический барьерный разряд обладает синергетическим эффектом: активирует поверхность сорбционного материала и приводит к деструкции нефтепродуктов, присутствующих в сорбенте.

В данной работе рассматривается в качестве сырья для получения сорбционного материала отработанная глина, использованная для фильтрации смеси отработанных нефтепродуктов с целью получения очищенного масла.

Для предварительной оценки пригодности материала к использованию была проведена его термообработка при различных температурах: 200, 300, 400 °С.

Исходный материал представляет собой замасленную глину, которая слипается в комочки, обладает влажным блеском и характерным запахом нефтепродуктов (рисунок 1, а)

При 200 °С глинистый отход еще обладал резким запахом и сохранял комковатость. При температуре 300 °С отход, первоначально находившийся в виде пасты, приобрел рассыпчатость и черную окраску (рисунок 1, б), а при 400 °С окраска заметно посветлела, что указывает на выгорание углеродного слоя.



Рис. 1. Глинистый отход, а – без обработки, б – после обжига при 300 °С

Микрофотографии материала, обработанного при 300 °С, представлены на рисунке 2.

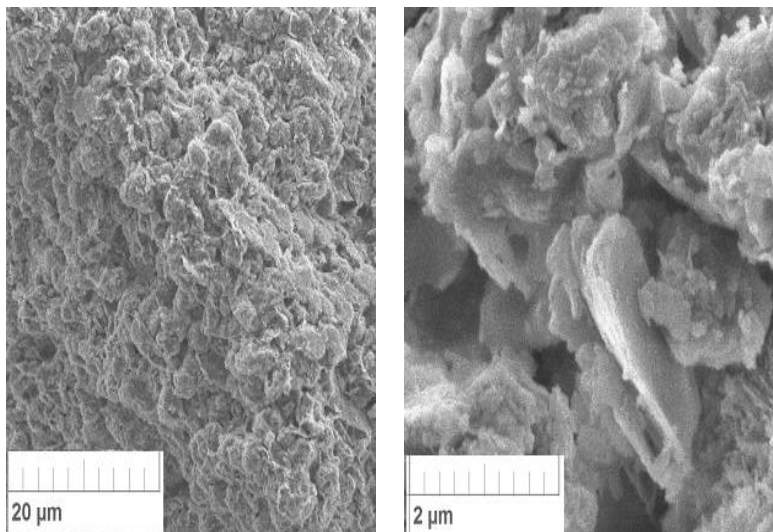


Рис. 2. Микрофотографии материала, обработанного при 300 °С

На микрофотографиях видно, что поверхность термообработанного отхода рыхлая и крупитчатая, с большим количеством граней, полостей и комковатых структур. Такая поверхность имеет много активных центров и пор, способных участвовать в сорбционных процессах, что делает материал потенциально пригодным для использования в качестве сорбционного материала.

Первичные испытания по поглощению красителя метиленовой голубой в концентрации 30 мг/дм<sup>3</sup> показали, что 1 г сорбционного материала эффективно обесцвечивает раствор.

Таким образом, показано, что глинистый отход, получаемый в процессе очистки отработанных смазочных масел, после термообработки обладает рядом характеристик, свойственных сорбционным материалам.

### Библиографический список

1. Yaxuan Xiong. A comprehensive review on the utilization of industrial solid waste in thermal energy storage field / Yaxuan Xiong, Miao He, Yuting Wu et al. // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2025. – Vol. 285. – P. 113562 – 29 p.

2. Yubing Bai. Paradigm and efficiency of industrial waste resource utilization: Evidence from China / Yubing Bai, Ning Wang, Shuxin Xie, Jian Zhang // *Journal of Environmental Management*. – 2025. – Vol. 380. – P. 124922 – 14 p.
3. Sabah M. Abdelbasir. Spent bleaching earth; recycling and utilization techniques: A review / Sabah M. Abdelbasir, Ahmed I. Shehab, M.A. Abdel Khalek // *Resources, Conservation & Recycling Advances*. – 2023. – Vol. 17. – P. 200124 – 18 p.
4. Dongli Guo. Treating waste with waste: Spent bleaching earth-derived hydrochars for water decontamination via a heterogeneous Fenton-like reaction / Dongli Guo, Chengyi Ma, Yongjun Song et al. // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2025. – Vol. 13. – P. 116798 – 8 p.
5. Putri Dwi Retno Asmoro. Efficient and selective phosphate removal from wastewater using surface-modified spent bleaching earth from palm oil refineries: A zero-waste approach / Putri Dwi Retno Asmoro, Maria Yuliana, Felycia Edi Soetaredjo et al. // *Journal of Water Process Engineering*. – 2024. – Vol. 58. – P. 104906 – 17 p.
6. Сапронова Ж.А. Пути декарбонизации производства с использованием отхода отбельной глины / Сапронова Ж.А., Свергузова С.В., Гафаров Р.Р., Лупандина Н.С. // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. – 2024. – № 2. – С. 51-60.
7. Hazardous waste minimization and management division. Office of Solid Waste. U.S. EPA. Waste Minimization for Selected Residuals in the Petroleum Refining Industry. – 1996. – 55 p.
8. Г.И. Гусев. Регенерация природных сорбентов, загрязненных нефтепродуктами, в плазме диэлектрического барьерного разряда / Г.И. Гусев, А.А. Гуцин, В.И. Гриневич и др. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. – 2017. – Т. 60. – Вып. 6. – С. 72-76.

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

*В работе представлены обзор состояния водных объектов, расположенных на территории Белгородской области.*

*Ключевые слова: водные объекты, загрязнение.*

Водные объекты в Белгородской области используются для рекреационного и рыбохозяйственного водопользования, а также для забора воды на технические нужды и приема сточных вод [1].

В соответствии с данными контроля за качеством питьевой воды в 2023 г. отмечается значительная доля неудовлетворительных проб из водоемов 2-й категории по санитарно-химическим показателям. Удельный вес неудовлетворительных анализов по санитарно-химическим показателям составил: 19,8 % в 2021 году, 27 % в 2022 году и 23,9 % в 2023 году. По сравнению с 2021 и 2022 годами в 2023 году отмечается снижение доли неудовлетворительных проб из водоемов 2-й категории по микробиологическим показателям и незначительный рост доли неудовлетворительных проб по паразитологическим показателям [2,3]. В таблице приведены сведения о качестве воды водных объектов области.

Таблица - Качество воды водных объектов Белгородской области

Водный объект	УКИЗВ*	Класс качества воды	Классификация воды
р. Северский Донец	3,03	3б	очень загрязненная
Белгородское водохранилище, 990 км от устья	3,8	3б	очень загрязненная
Белгородское водохранилище, 988 км от устья	4,04	4а	грязная
р. Разумная, с. Дорогобужино	6,06	4в	очень загрязненная
р. Оскол	3,58	3б	очень загрязненная
Старооскольское водохранилище, 406 км от устья р. Оскол	3,05	3б	очень загрязненная
р. Волчья	3,26	3б	очень загрязненная
р. Уды	3,78	3б	очень загрязненная
р. Лопань	4,04	4а	грязная

\* удельный комбинаторный индекс загрязнения воды

По санитарно-химическим показателям несоответствие качества воды установленным нормативам было обусловлено превышением показателей БПК<sub>5</sub>, ХПК, железа, общей минерализации, содержания нитритов, массовой концентрации аммония, неудовлетворительными органолептическими показателями и низким содержанием растворенного кислорода [2-4].

Причинами неудовлетворительного качества воды водоемов остается высокая рекреационная нагрузка, неэффективная работа сооружений очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, отсутствие систем организованного отвода и сооружений по очистке ливневых вод.

Специфические химические загрязнения в воде мест рекреационного водопользования по данным лабораторного контроля в 2023 году не обнаружены. Влияния организованных выпусков сточных вод, аварийных ситуаций на системах и сооружениях канализации на состояние водных объектов в оборудованных местах рекреационного водопользования, не установлено [5].

### **Библиографический список**

1. Дегтярь А.В. "Экология Белогорья в цифрах". КОНСТАНТА, 2016. –122с.
2. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Белгородской области в 2023 году". – Белгород, 2024. – 215 с.
3. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Белгородской области в 2022 году". – Белгород, 2023. – 230 с.
4. Свергузова С.В. Состояние водных объектов в Белгородской области / С.В. Свергузова, Ю.С. Воронина, К.В. Чехунова // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности - 2024: сб. Всероссийской науч. конф. с международ. участием (Казань, 16-17 апреля 2024). – Казань: изд-во КНИТУ, 2024. – С.219-223
5. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2023. – 612 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОТХОДА ОТБЕЛЬНОЙ ГЛИНЫ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТОДОМ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

*В работе представлены результаты исследования некоторых характеристик отхода маслоэкстракционного производства при помощи рамановской спектроскопии. Установлено, что с увеличением температуры обжига наблюдается уменьшение или исчезновение пиков, связанных с органическими соединениями, что свидетельствует о их разложении. Появление новых пиков и изменение их интенсивности указывает на структурные изменения в глине, такие как дегидратация и разложение минералов. При более высоких температурах (450°C и 550°C) наблюдаются значительные изменения в спектрах, что указывает на глубокие структурные изменения.*

*Ключевые слова: отбеленная глина, отход, температурный режим, рамановские спектры, изменения структуры.*

Глинистые минералы играют важную роль в различных промышленных и природных процессах, благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам. Одним из ключевых методов исследования структуры и состава глинистых материалов является рамановская спектроскопия [1,2]. Этот неразрушающий аналитический метод позволяет получать информацию о молекулярных и кристаллических структурах материалов на основе анализа их колебательных спектров. Рамановская спектроскопия особенно полезна для изучения изменений в структуре глинистых минералов при различных условиях, таких как термическая обработка, что имеет большое значение для понимания их поведения в промышленных процессах [3-5]. В данной статье рассматривается применение рамановской спектроскопии для исследования структурных изменений отбеленной глины при различных температурах обжига. Отбеленная глина, широко используемая в процессах очистки растительных масел, подвергается значительным изменениям при нагревании, что влияет на



её эффективность и свойства [6-8]. Используя рамановскую спектроскопию, можно отследить процессы дегидратации, разложения органических соединений и фазовых превращений, происходящих в глине при повышении температуры. Целью данного исследования является анализ изменений в рамановских спектрах отбельной глины при температурах обжига: 250°C (ООГ250), 350°C (ООГ350), 450°C (ООГ450) и 550°C (ООГ550). Мы рассмотрим, как изменения в спектрах отражают структурные и химические преобразования в глине, и обсудим возможные механизмы этих изменений. Полученные результаты могут быть полезны для оптимизации процессов термической обработки глинистых материалов и улучшения их функциональных свойств. На рисунке 1,2,3 и 4 представлены результаты исследования рамановской спектроскопии ООГ250, ООГ350, ООГ450) и 550°C (ООГ550)

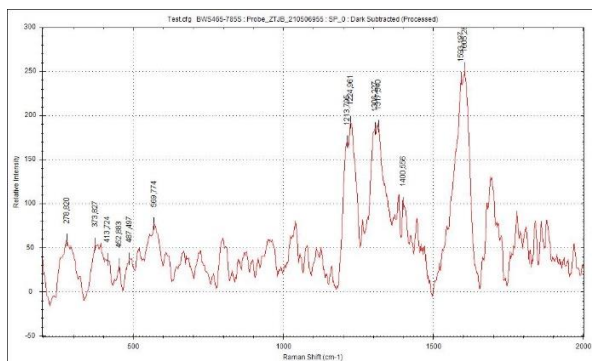


Рис. 1. Спектры комбинационного рассеяния ООГ250

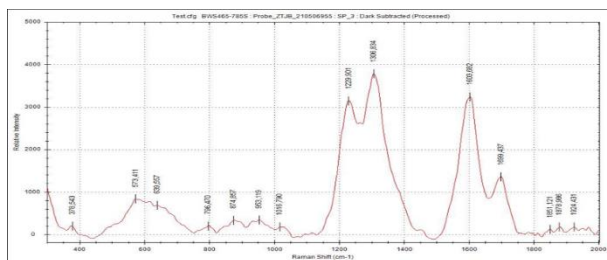


Рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния ООГ350

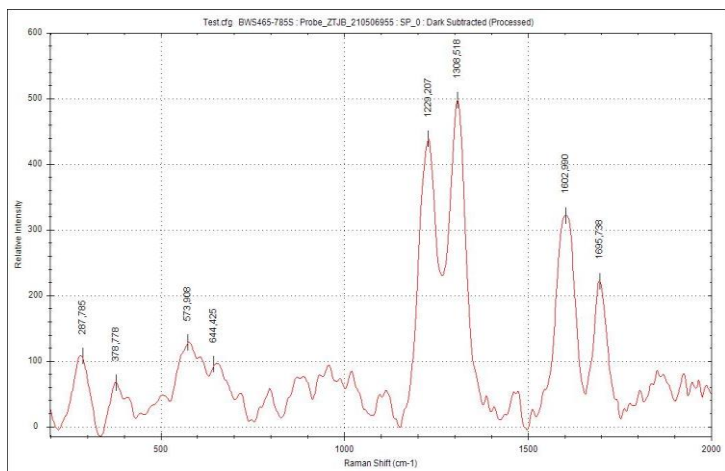


Рис. 3. Спектры комбинационного рассеяния ООГ450

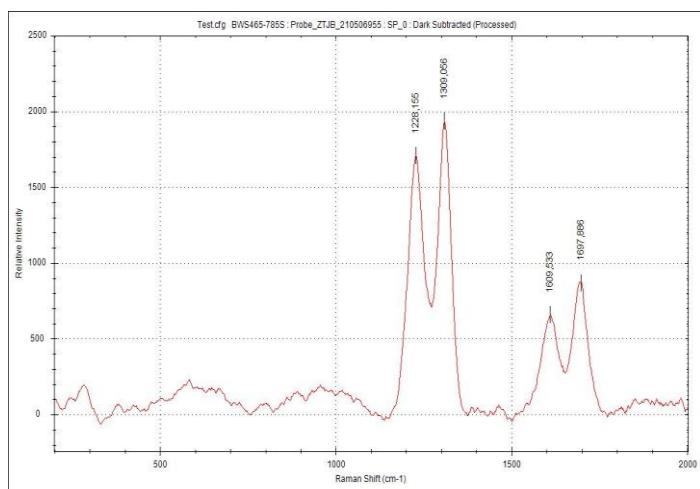


Рис. 4. Спектры комбинационного рассеяния ООГ550

Анализ представленных рамановских спектров отбелной глины, обожжённой при различных температурах, позволяет выявить некоторые закономерности в изменении пиков в зависимости от температуры обжига. Основные наблюдения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Некоторые закономерности в изменении пиков рамановских спектров в зависимости от температуры обжига

Температура обжига, °С	Происходящие изменения
ООГ250	Спектр показывает наличие пиков, характерных для органических соединений и, возможно, некоторых минеральных компонентов глины. Интенсивность пиков умеренная, что указывает на то, что при этой температуре ещё не произошло значительных изменений в структуре глины.
ООГ350	Наблюдается увеличение интенсивности некоторых пиков, что может быть связано с разложением органических веществ и началом изменения структуры глины. Появляются новые пики, которые могут указывать на образование новых соединений или фаз в результате термической обработки.
ООГ450	Интенсивность пиков продолжает изменяться, что свидетельствует о дальнейшем изменении структуры глины. Возможно, происходит дегидратация и разрушение некоторых минеральных компонентов, что приводит к появлению новых пиков или исчезновению старых.
ООГ550	При этой температуре наблюдаются значительные изменения в спектре, что указывает на глубокие структурные изменения в глине. Интенсивность пиков может снижаться или увеличиваться в зависимости от конкретных соединений, которые образуются или разрушаются при такой высокой температуре.

Как видно из таблицы 1, общая тенденция заключается в том, что с увеличением температуры обжига происходят значительные изменения в структуре глины, что отражается в изменении интенсивности и положения пиков в рамановских спектрах.

Эти изменения могут быть связаны с дегидратацией, а также фазовыми превращениями минеральных компонентов глины. Для более конкретного анализа изменений в рамановских спектрах отбеленной глины в зависимости от температуры обжига, рассмотрим каждый образец по отдельности и сравним их между собой.

#### ООГ250

Пики в области 500–1000 см<sup>-1</sup>: Эти пики могут быть связаны с колебаниями Si-O-Si и Si-O-Al связей, характерных для силикатных минералов, которые присутствуют в глине.

Пики в области 1000–1600 см<sup>-1</sup>: Здесь могут наблюдаться пики, связанные с органическими соединениями (например, C-C, C-H колебания), которые ещё не полностью разложились при такой температуре. Пики в области 1600–2000 см<sup>-1</sup>: Эти пики могут быть связаны с C=O колебаниями карбонильных групп, которые также могут присутствовать в органических остатках.

### ООГ350

Пики в области 500–1000  $\text{см}^{-1}$ : Увеличение интенсивности некоторых пиков может указывать на начало структурных изменений в силикатной сетке глины. Пики в области 1000–1600  $\text{см}^{-1}$ : Уменьшение интенсивности пиков, связанных с органическими соединениями, что свидетельствует о начале их разложения. Новые пики в области 1600–2000  $\text{см}^{-1}$ : Появление новых пиков может быть связано с образованием новых соединений в результате термического разложения органических веществ.

### ООГ450

Пики в области 500–1000  $\text{см}^{-1}$ : Дальнейшие изменения в интенсивности и положении пиков, что указывает на продолжающиеся структурные изменения в глине. Пики в области 1000–1600  $\text{см}^{-1}$ : Значительное уменьшение или исчезновение пиков, связанных с органическими соединениями, что указывает на их почти полное разложение. Пики в области 1600–2000  $\text{см}^{-1}$ : Возможное появление новых пиков, связанных с образованием оксидов или других неорганических соединений.

### ООГ550

Пики в области 500–1000  $\text{см}^{-1}$ : Значительные изменения в интенсивности и положении пиков, что указывает на глубокие структурные изменения в глине, возможно, образование новых минеральных фаз. Пики в области 1000–1600  $\text{см}^{-1}$ : Практически полное отсутствие пиков, связанных с органическими соединениями, что свидетельствует о их полном разложении. Пики в области 1600–2000  $\text{см}^{-1}$ : Возможное появление новых пиков, связанных с образованием высокотемпературных фаз, таких как оксиды или силикаты. Таким образом исходя из проведенных экспериментов можно сделать вывод, что с увеличением температуры обжига наблюдается уменьшение или исчезновение пиков, связанных с органическими соединениями, что свидетельствует о их разложении. Появление новых пиков и изменение интенсивности существующих пиков указывает на структурные изменения в глине, такие как дегидратация, разложение минералов и образование новых фаз. При более высоких температурах (450°C и 550°C) наблюдаются значительные изменения в спектрах, что указывает на глубокие структурные изменения и возможное образование новых минеральных фаз.

## Библиографический список

1. Калугина, А. Д. Особенности минеральных включений в природных алмазах по данным Рамановской спектроскопии / А. Д. Калугина, Д. А. Зедгенизов // Минералы: строение, свойства, методы исследования. – 2021. – № 12. – С. 62-64. – EDN CSWGAA.
2. Рамановская спектроскопия пористого кремния, инкорпорированного металлосодержащими фуллеренолами / А. Ю. Гагарина, А. Кузнецов, Ю. М. Спивак [и др.] // Нанозифика и наноматериалы: Сборник научных трудов Международного симпозиума, Санкт-Петербург, 24–25 ноября 2021 года. – Санкт-Петербургский горный университет: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 53-56. – EDN LAUVYH.
3. 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. – DOI 10.1134/S1061933X24600490. – EDN VKQEYI.
4. 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. – № 3. – С. 87-95. – EDN PQRCMF.
5. Рамановская спектроскопия минералов группы нортупита (тихит, марганотихит и ферротихит) / М. Ю. Сидоров, А. А. Компанченко, Е. Н. Фомина, Е. Н. Козлов // Записки Российского минералогического общества. – 2022. – Т. 151, № 2. – С. 94-101. – DOI 10.31857/S0869605522020046. – EDN PWKXLZ.
6. Физико-химические свойства отбелной 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.
7. Рациональное использование отхода маслоэкстракционного производства - отработанной отбелной 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 OHKHIB.
8. Комплексное влияние технологических факторов на процесс извлечения красителя метиленового голубого из модельного раствора / С. В. Свергузова, Р. Р. Гафаров, И. Г. Шайхиев [и др.] // Российский химический журнал. – 2024. – Т. 68, № 2. – С. 60-66. – DOI 10.6060/rcj.2024682.8. – EDN WDHGSI.

## О ВОЗМОЖНОСТИ КОНВЕРСИИ ЦИТРОГИПСА

*В статье рассмотрена возможность конверсии цитрогипса — отхода производства лимонной кислоты — в тонкодисперсный карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), используемый в качестве наполнителя в лакокрасочной, резиновой и строительной промышленности. Проведен анализ химического состава цитрогипса, показавший, что он на 96–97 % состоит из дигидрата сульфата кальция ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) и соответствует требованиям ГОСТ 4013-82 для производства гипсовых вяжущих. Предложена схема реакции конверсии цитрогипса в карбонат кальция с использованием  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , а также проанализированы условия её реализации на основе произведений растворимости (ПР) участвующих веществ. Отмечено, что процесс требует дополнительных исследований для оптимизации параметров, особенно при переходе от лабораторных условий к промышленным.*

*Ключевые слова: цитрогипс, конверсия, карбонат кальция, сульфат кальция, наполнитель, промышленные отходы, производство растворимости, экологизация производства.*

Тонкодисперсный мел используется в качестве наполнителя при производстве красок, резин, шпаклевок и других материалов [1]. Количество мела, расходуемого для этих целей, огромно.

В настоящее время для этих целей используется мел, добываемый карьерным способом. Однако с целью экономии природных ресурсов и расширения сырьевой базы представляет интерес процесс получения тонкодисперсного мела из промышленных отходов.

К одному из таких отходов относится цитрогипс [2-4], образующийся в процессе получения лимонной кислоты микробиологическим способом.

Некоторые физико-химические характеристики цитрогипса [5-8] указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав цитрогипса

Вещество	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	гидратная вода	вода	pH
Содержание, %	0,12	0,04	31,7	45,49	0,05	22,48	0,12	6

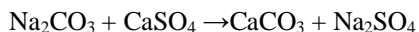
По данным химического анализа (табл. 1) цитрогипс в пересчете на сухое вещество состоит на 96-97 % из дигидрата сульфата кальция (CaSO<sub>4</sub> \* 2H<sub>2</sub>O) и по этому показателю соответствует 1 сорту сырья для производства гипсовых вяжущих по ГОСТ 4013-82 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов».

Перед использованием гипса в производстве строительных материалов, его необходимо освободить от остатков лимонной кислоты, избыточной воды и других примесей.

В соответствии с классификацией вредных веществ по ГОСТ 12.1.007-76 цитрогипс относится к 4 классу опасности – малоопасные вещества.

Влажность цитрогипса (50-60%), истинная плотность (4,2 г/см<sup>3</sup>), насыпная плотность (2,01-2,4 г/см<sup>3</sup>).

При создании соответствующих условий возможен процесс конверсии цитрогипса в карбонат кальция, по схеме:



В таблице 2 указаны значения произведений растворимости (ПР) и растворимость веществ, участвующих в вышеуказанной реакции [2].

Таблица 2 – Произведения растворимости и растворимость веществ

№ п/п	Вещество	ПР	Растворимость веществ, г/100 г воды
1	CaSO <sub>4</sub>	9,1*10 <sup>-6</sup>	0,2046
2	CaCO <sub>3</sub>	4,8*10 <sup>-9</sup>	6,5*10 <sup>-3</sup>
3	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-	21,5

Исходя из значений произведений растворимости при наличии соответствующих концентраций, осадок CaCO<sub>3</sub> будет образовываться в системе CaSO<sub>4</sub> - CaCO<sub>3</sub> - Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

Но реализация процесса возможна, если  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  будут находится в растворе. Для других условий необходимы более глубокие исследования.

### Библиографический список

1. Шилова, И. А. Энергосбережение и повышение качества цементного клинкера с использованием шлако–мело–известковой смеси / И. А. Шилова // Успехи в химии и химической технологии. – 2008. – Т. 22, № 7(87). – С. 63-68. – EDN QZVPCF.
2. Бегалиева, Г. Н. Использование мела месторождения Шетпе в качестве сырья для тарного стекла / Г. Н. Бегалиева, Т. А. Адырбаева, Р. В. Сухов // Вестник науки Южного Казахстана. – 2019. – № 1(5). – С. 39-45. – EDN NHUTUJ.
3. Пендюрин, Е. А. Способ восстановления нарушенных территорий / Е. А. Пендюрин, А. В. Святченко, Н. Ю. Кирюшина // Вектор ГеоНаук. – 2022. – Т. 5, № 1. – С. 83-89. – DOI 10.24412/2619-0761-2022-1-83-89. – EDN FVUEXW.
4. Теоретическое обоснование возможности безобжиговой дегидратации цитрогипса / С. В. Свергузова, Г. И. Тарасова, Н. В. Чернышева, Л. И. Черныш // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 2. – С. 117-121. – EDN NZTITR.
5. Шамраева, Д. А. Разработка способа получения железоксидного пигмента из отходов металлургической промышленности / Д. А. Шамраева, С. И. Разинькова, Р. Р. Гафаров // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. – 2023. – № 1. – С. 740-742. – EDN ZFGZLA.
6. Алфимова, Н. И. Изучение влияния рецептурно-технологических параметров на водопоглощение прессованных материалов из цитрогипса / Н. И. Алфимова, С. Ю. Пириева // Строительные материалы. – 2023. – № 10. – С. 58-62. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-818-10-58-62. – EDN SIZOGU.
7. Кожухова, Н. И. Особенности модификации геополимера на основе перлита как экологически эффективного вяжущего / Н. И. Кожухова // Строительные материалы. – 2023. – № 7. – С. 60-66. – DOI 10.31659/0585-430X-2023-815-7-60-66. – EDN DOWKXI.
8. Утилизация гипсосодержащих и органических отходов с получением органоминеральных удобрений / Е. А. Пендюрин, В. С. Воропаев, Т. Б. Никуличева [и др.] // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 9. – С. 14-19. – DOI 10.18412/1816-0395-2022-9-14-19. – EDN MGWMWK.



## ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРА С ДОБАВКОЙ D2W ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МИКРОСКОПИИ И ИК-СПЕКТРОМЕТРИИ

*В статье рассматривается изучение разложения биопластика с добавкой d2w. Описываются методы микроскопии и ИК-спектроскопии для анализа процесса разложения. Подчёркивается актуальность исследования для разработки экологически безопасных материалов и снижения количества пластиковых отходов.*

*Ключевые слова: биопластик, d2w, биоразложение, микроскопия, ИК-спектроскопия, ИК-спектр, полимеры, оксо-биоразлагаемая добавка, полиэтилен, отходы, пластик.*

В современном мире проблема утилизации пластиковых отходов становится всё более актуальной. Сегодня в мире существует более 400 видов таких отходов, на долю которых приходится 8% от общего объёма мусора. [1]. В нашей стране ежегодно их количество увеличивается примерно на 60 миллионов тонн. Одним из решений этой проблемы является использование биопластиков — материалов, способных разлагаться под воздействием природных факторов [2]. В процессе производства биоразлагаемых полимеров наиболее часто применяется оксо-биоразлагаемая добавка (оксодобавки) d2w [3]. Для анализа процесса разложения биоразлагаемых полимеров была реализована серия научных экспериментов. Объектом исследования стал образец полимерного материала, представленный в различных торговых сетях на российском рынке. Конкретно изучался биопластиковый пакет BiG, изготовленный из полиэтилена низкого давления (ПНД) с добавлением оксодобавки d2w. Согласно информации, представленной производителем на упаковке, биоразложение данного продукта должно происходить в течение 1–2 лет.

Цель исследования: исследовать степень разложения биоразлагаемого полимера (биопластикового пакета BiG из полиэтилена низкого давления с оксодобавкой d2w [4]) с помощью

методов микроскопии и ИК-спектроскопии, чтобы оценить соответствие заявленному производителем времени биоразложения (1–2 года).

Для изучения разложения биопластика с добавкой d2w можно использовать различные методы анализа. В данной статье будут рассмотрены два из них: микроскопия и ИК-спектроскопия.

*Микроскопия* позволяет получить визуальное представление о структуре материала и изменениях, которые происходят в процессе разложения. С помощью микроскопа можно наблюдать за изменением морфологии поверхности, появлением трещин и других дефектов, которые свидетельствуют о разрушении структуры полимера [5].

*ИК-спектроскопия* — это метод анализа, который позволяет определить наличие и концентрацию различных химических групп в материале. В случае разложения биопластика ИК-спектр может показать изменения в структуре молекул полимера, что будет свидетельствовать о процессе разложения.

Для оценки степени разложения биоразлагаемого полимера (биопластикового пакета BiG из полиэтилена низкого давления с оксодобавкой d2w) были проведены эксперименты по биоразложению в различных условиях: разложение в анаэробных условиях в контейнере с микробиологически активным грунтом на 16 недель в темное помещение при температуре воздуха  $(26 \pm 5)^\circ\text{C}$  и относительной влажностью 60–90 % (по ГОСТ Р 58830-2020); разложение в аэробных условиях при температуре  $(26 \pm 5)^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха 60–70% и водном орошении каждые 2 дня (грунт – зрелый компост из смеси древесной стружки, экскрементов скота, инертного материала и деионизированной воды (1 часть инокулята/5 частей воды), подвергнутый аэробному компостированию в течение 2 месяцев) (по ГОСТ Р 57219-2016); разложение в естественных условиях. Полимер размещается на поверхности грунта без дополнительных условий среды.

Для оценки морфологических изменений поверхности использовался сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM 7001F.

Результаты микроскопии образцов после разложения представлены на рисунке 1.

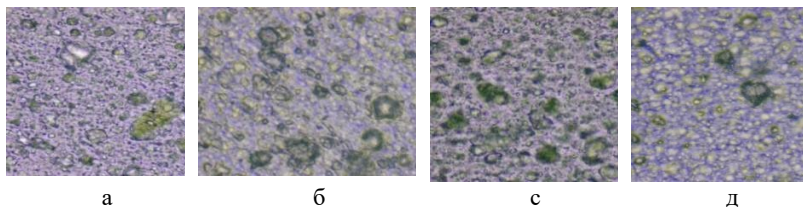


Рис. 1. Результаты микроскопии образцов:  
(а – до разложения; б – после разложения по ГОСТу Р 58830-2020; в – после разложения по ГОСТу Р 57219-2016; д – после разложения в естественных условиях)

Микроскопическое исследование выявило существенные различия в степени деградации поверхности образца в зависимости от условий разложения: образец до разложения характеризуется однородной, гладкой поверхностью с чёткой структурой, отсутствием трещин, эрозии и пористости. Это соответствует исходному состоянию полимерной плёнки с высокой степенью сохранности; после воздействия в аэробной среде по ГОСТ Р 58830-2020 наблюдаются выраженные признаки поверхностной деструкции: множественные трещины, углубления, начальная деструкция полимерной матрицы, локальная пористость. Эти изменения указывают на активную микробиологическую и окислительную деградацию, что подтверждает эффективность выбранных условий; после воздействия по ГОСТ Р 57219-2016 зафиксировано умеренное шероховение поверхности, появление единичных микротрещин и начальных очагов эрозии. Изменения менее выражены, чем в предыдущем случае, что может быть связано с менее интенсивной биодеструктивной активностью зрелого компоста в первые 16 недель; в естественных условиях поверхность образца сохраняет относительно целостную структуру. Имеются единичные участки с микроуступами и локальной потерей гладкости, однако они не носят массового характера. Для оценки химических изменений, происходящих в структуре образца, после экспозиции в различных условиях биоразложения, был проведён анализ инфракрасных спектров поглощения (ИК-Фурье спектроскопия). Анализ осуществлялся в диапазоне волновых чисел  $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ , при этом особое внимание было уделено четырём ключевым диапазонам, чувствительным к процессам окисления, гидролиза и разрушения полимерных связей:

- $k_{3300-3500} \text{ см}^{-1}$  – валентные колебания гидроксильных групп (O–H);
- $k_{2800-3000} \text{ см}^{-1}$  – колебания  $\text{CH}_2$ - и  $\text{CH}_3$ -групп;
- $k_{1700-1750} \text{ см}^{-1}$  – колебания карбонильных групп ( $\text{C}=\text{O}$ );
- $k_{1000-1300} \text{ см}^{-1}$  – колебания C–O-связей в эфирах и спиртах.

ИК-спектры были получены с использованием программного обеспечения Инфраспек FSрес. Коэффициенты пропускания в заданных диапазонах определялись по относительной интенсивности пиков в спектре (по высоте или площади), нормированных на максимум спектра до разложения. ИК-спектры изученных образцов представлены на рисунке 2.

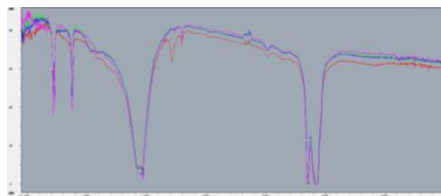


Рис. 2. ИК-спектр биопластикового пакета BiG до и после разложения  
 Обозначения: ● – после разложения в естественных условиях; ● – до разложения;  
 ● – после разложения по ГОСТу Р 57219-2016; ● – после разложения по ГОСТу Р 58830-2020.

Интерпретация результатов: рост интенсивности в области  $3300-3500 \text{ см}^{-1}$  во всех условиях указывает на образование гидроксильных групп, типичных для продуктов окисления и гидролиза. Особенно выражен пик после компостирования в активном грунте (0,13), что указывает на разрушение макромолекул с выходом полярных фрагментов; диапазон  $2800-3000 \text{ см}^{-1}$  демонстрирует увеличение пропускания, особенно в условиях ГОСТ Р 58830-2020, что говорит о расщеплении алкильных цепей и уменьшении содержания насыщенных углеводородных фрагментов; увеличение в диапазоне  $1700-1750 \text{ см}^{-1}$ , наиболее выраженное при воздействии в активном грунте, свидетельствует о формировании карбонильных групп, типичных для продуктов окисления и деструкции полиэтилена; изменения в области  $1000-1300 \text{ см}^{-1}$  указывают на рост содержания C–O фрагментов, подтверждая появление вторичных продуктов окисления и возможного взаимодействия с компонентами среды (влаги, кислорода, микробные ферменты); На основании полученных ИК-спектров были определены коэффициенты пропускания для каждого из образцов (таблица 1).

Таблица 1 - Коэффициенты пропускания после биоразложения образца BiG в различных условиях

Условия разложения	k <sub>3300—3500</sub>	k <sub>2800—3000</sub>	k <sub>1700—1750</sub>	k <sub>1000—1300</sub>
До разложения (контроль)	0,06	0,04	0,02	0,05
ГОСТ Р 58830-2020 (активный грунт)	0,13	0,11	0,08	0,12
ГОСТ Р 57219-2016 (зрелый компост)	0,10	0,09	0,06	0,09
Естественные условия	0,07	0,06	0,03	0,06

Итак, оксодобавка d2w потенциально ускоряет биоразложение полиэтиленовой упаковки, но только при наличии контролируемых аэробных условий с активной микробиотой и регулярным орошением, как это предусмотрено стандартом ГОСТ Р 58830-2020. В естественных условиях её эффективность крайне низка. Следовательно, маркировка упаковки как «биоразлагаемой» должна сопровождаться указанием условий, в которых эта характеристика реализуется.

### Библиографический список

1. Проказин А. И. Загрязнения окружающей среды полимерными отходами и пути их устранения / А. И. Проказин // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве. – 2018. – С. 72-74.
2. Тасекеев М. С. Производство биополимеров как один из путей решения проблем экологии и АПК: Аналит. Обзор/ М. С. Тасекеев, Л. М. Еремеева // Алматы: НЦ НТИ. – 2009. – С. 7.
3. Обыденова, А. А. Исследование физико-механических и органолептических характеристики биоразлагаемой полимерной упаковки на основе полиэтилена, модифицированного оксо-добавкой d2W / А. А. Обыденова, Д. М. Мяленко // Пищевые инновации и биотехнологии: Под общей редакцией А.Ю. Просекова. Том 1. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. – С. 298-300.
4. Разлагаемые пакеты для мусора Big City Life BIO с затяжками 35л 15шт. Режим доступа: <https://www.r-ulybka.ru/catalog/goods/razlagaemye-pakety-dlia-musora-big-city-life-bio-s-zatiazhkami-35l-15sht-3138457/> (дата обращения 10.05.2025).
5. Кларк Э. Микроскопические методы исследования материалов / Э. Кларк, К. Эберхардт. – Litres, 2022.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ МЕДИ СОРБЕНТОМ ИЗ ТВЕРДОГО ОСТАТКА ПИРОЛИЗА ИЗНОШЕННЫХ ШИН

*Работа посвящена применению твердого остатка пиролиза изношенных шин в очистке растворов от меди, после его кислотно-щелочной переработки. Работа включает в себя исследование изотермы сорбции с применением модели Дубинина-Радушкевича для установления механизма сорбции.*

*Ключевые слова: сточные воды, тяжелые металлы, активированный уголь, твердый остаток пиролиза шин.*

В очистке сточных вод от органических загрязнителей и тяжелых металлов наибольшее распространение в промышленности получил активированный уголь, благодаря своей пористой структуре и развитой поверхности, обеспечивающей высокую эффективность очистки. Помимо этого, активированный уголь привлекателен своей доступностью, простотой и способностью извлекать даже незначительные концентрации загрязнителей. Важным преимуществом является возможность модификации поверхности угля, а также разнообразие форм его выпуска: порошки, гранулы, pellets и волокна. Производство активированного угля возможно из широкого спектра органических материалов, включая растительное, угольное и нефтяное сырье, а также сельскохозяйственные отходы. Наконец, физико-химические свойства активированного угля позволяют проводить его химическую модификацию для улучшения адсорбционных характеристик. [1]

Одним из перспективных материалов для производства активированных углей является твердый остаток пиролиза изношенных шин. [2, 3] В данной работе в качестве объекта исследования был использован твердый остаток пиролиза изношенных шин, образуемый на пиролизной установке «Фортан – М» в одном из предприятий г. Пенза. Элементный состав материала [4]: углерода (более 83 %), кислорода (более 8 %) и других элементов (S, Si, Zn, Al, Ca, Mo и др., около 9 %). Поры угля блокируются циклическими соединениями, образующимися в процессе пиролиза, с размерами молекул до 0,6 нм

[5]. Кроме них в угле присутствуют примеси металлов, представленные преимущественно цинком (*Zn*, 267096,80 мг/кг), кремнием (*Si*, 201659,00 мг/кг), щелочными (*K*, 5903,23 мг/кг; *Na*, 6802,76 мг/кг), щелочноземельными (*Ca*, 12184,33 мг/кг; *Mg*, 10119,82 мг/кг) и переходными (*Cu*, 2985,25 мг/кг; *Fe*, 4642,40 мг/кг) металлами [6]. Поверхность твердого остатка пиролиза шин является органотфильной [7], поэтому для успешного применения твердого остатка пиролиза шин в качестве сорбента для очистки сточных вод необходима очистка и активация его поверхности.

В настоящее время существует ряд работ, посвященных способам переработки твердого остатка пиролиза шин, среди которых особый интерес представляет кислотно-щелочная обработка. Так, например, применив обработку уксусной кислотой в работе [2], авторы получили активированный уголь из изношенных шин отличающиеся от традиционного активированного угля иным составом поверхности. Кислотно обработанный активированный уголь из изношенных шин демонстрировал более быстрое удаление ионов  $\text{Cu}^{2+}$ . Химическая активация применялась и в работе [3], ИК-анализ обработанных активированных углей из изношенных шин показал, что на их поверхности присутствуют кислородсодержащие функциональные группы. Способ обработки привлекателен еще и тем, что позволяет проводить переработку без использования высоких температур и давлений, а также получать смесь насыщенную микро- и макроэлементами, который впоследствии можно использовать в производстве удобрений [8]. В настоящем исследовании кислотно-щелочная активация была применена для получения активированного угля из твердого остатка пиролиза шин, с целью исследования сорбции меди на нем из модельных растворов.

Очистку и активацию измельченного угля (с размерами частиц от 1 мм до 2 мм) проводили последовательно в несколько этапов. На первом этапе 10 грамм твердого остатка пиролиза изношенных шин обрабатывали в 100 мл концентрированной соляной кислоте (35%) и затем промывали дистиллированной водой до достижения 5 рН. На втором этапе твердый остаток обрабатывали в 150 мл разбавленной водой (1:1) азотной кислотой при температуре 200 °С в течении 30 минут, затем промывали дистиллированной водой до достижения 5 рН. На третьем этапе твердый остаток обрабатывали в 100 мл 10 % раствора гидроксида натрия при воздействии ультразвука в течении 2 минут, в ультразвуковой ванне, мощность ультразвука 60 Вт, частота 40 кГц.

Далее промывали дистиллированной водой до достижения 5 рН. На заключительном этапе твердый остаток сушили в сушильном шкафу при температуре 105 °С до достижения постоянной массы.

Процесс сорбции проводили в статических условиях при температуре  $\pm 25$  °С, водородном показателе среды 4 рН и постоянном перемешивании с применением 1,0 г активированного угля, обработанного вышеуказанным способом. Модельные растворы готовили из государственных стандартных образцов (ГСО) иона меди (II) с исходной концентрацией 1,005 мг/л; 3,015 мг/л; 5,255 мг/л. Концентрацию меди в растворах определяли атомно-абсорбционным спектрометром марки «Квант – 2 мт», пробы отбирали каждые 30 минут. Результаты сорбции представлены на рисунке 1.

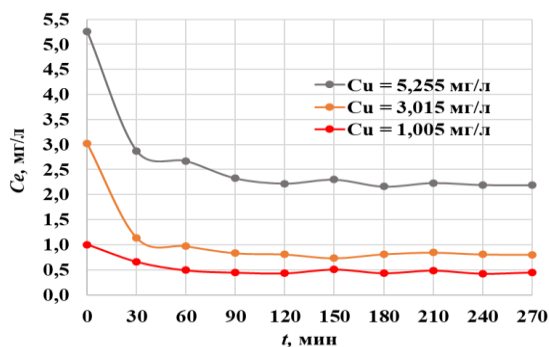


Рис. 1. Результаты сорбции меди.

Как видно из рисунка 1, наибольшее извлечение меди из растворов приходится к 120 минутам после контакта с активированным углем. При этом эффективность очистки сильно зависит от исходной концентрации и к 120 минутам контакта в растворе с концентрацией меди 1,005 мг/л составило 57 %, при концентрации 3,015 и 5,255 мг/л, 74 % и 61 % соответственно. Исследование сорбции из растворов сводится на получение сорбционных зависимостей: кинетические кривые и изотермы адсорбции. Кинетическая кривая сорбции позволяет установить время наступления адсорбционного равновесия, что необходимо для корректного построения изотермы адсорбции. Она также позволяет оценить целесообразность применения адсорбента для



решения практических задач. Кинетическая кривая сорбции меди представлена на рисунке 2.

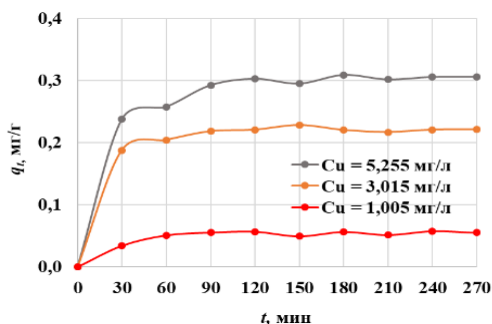


Рис. 2. Кинетическая кривая сорбции меди

Как видно из рисунка 2, адсорбция протекает быстро в течении первого часа и замедляется при приближении к состоянию равновесия в растворе после 120 минут. Теоретическая обработка кинетических кривых при помощи моделей диффузионной и химической кинетики дает возможность определить механизм протекания сорбции, выявить лимитирующие стадии процесса, что так же может быть использовано для решения ряда практических вопросов по оптимизации процесса сорбции. Первичную оценку о характере взаимодействия между адсорбтивом и поверхностью адсорбента можно дать также на основе формы изотермы адсорбции. На рисунке 3 представлена изотерма сорбции меди по полученным экспериментальным данным.

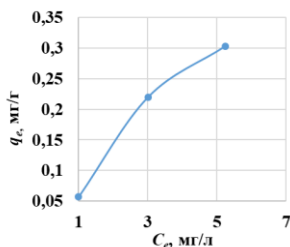


Рис. 3. Изотерма сорбции меди.

По классификации изотерм Чарльза Гильса, полученная нами изотерма относится к *H*-типу. [10].

Такие типы изотерм возможны при хемосорбционном механизме протекания процесса адсорбции, а также при ионообмене.

Для изучения механизма сорбции экспериментальные данные были обработаны с помощью модели Дубинина - Радужкевича. [9]. Параметры модели Дубинина - Радужкевича могут быть вычислены из его линейной формы уравнения [10]:

$$\ln q_e = \ln q_\infty - k_D \varepsilon^2 \quad (1)$$

$\varepsilon$  - потенциал Поляни (кДж/моль), отражающий изотермическую работу переноса одного моля адсорбтива из объема равновесного раствора к поверхности сорбента и определяемый по выражению:

$$\varepsilon = RT \ln \left( 1 + \frac{1}{c_e} \right) \quad (2)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная ( $8,314 \cdot 10^{-3}$  кДж/(моль·К)) и  $T$  – абсолютная температура (К).

$k_D$  – константа, связанная с характеристической энергией адсорбции  $E$ :

$$E = (-2k_D)^{-0.5} \quad (3)$$

Энергия адсорбции  $E$  рассматривается в качестве энергетического параметра взаимодействия адсорбента с адсорбтивом.

Значение  $E < 8$  кДж/моль свидетельствует о протекании физической адсорбции, при  $8 < E < 16$  кДж/моль имеет место преимущественно хемосорбционный механизм процесса. [10]

Константа  $k_D$  находят по тангенсу угла наклона прямой в координатах  $\ln q_e = f(\varepsilon^2)$ . Константа  $q_\infty$  определяют по отрезку, отсекаемому прямой на оси ординат. [10].

Изотерма сорбции меди в координатах линейного уравнения Дубинина - Радужкевича представлена на рисунке 4, результаты расчетов приведены в таблице 1.

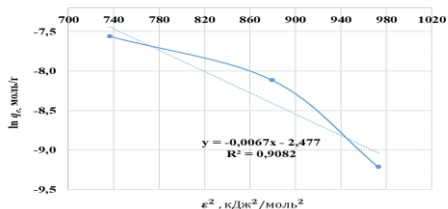


Рис. 4. Изотерма сорбции меди в координатах уравнения Дубинина - Радушкевича

Таблица 1 - Результаты расчета по уравнению Дубинина - Радушкевича

$\epsilon$ , кДж/моль	$\ln q_e$ , моль/г	$\epsilon^2$ , кДж <sup>2</sup> /моль <sup>2</sup>	$E$ , кДж/моль
31,18939799	-9,2	972,7785469	8,6
29,65452608	-8,1	879,3909169	
27,13858146	-7,6	736,5026039	

На основе анализа изотермы сорбции и результатов расчетов по уравнению Дубинина - Радушкевича можно предположить следующий механизм сорбции на исследуемом сорбенте. Поскольку уголь подвергался кислотно-щелочной обработке, адсорбент может характеризоваться высоким содержанием поверхностных групп, поэтому хемосорбционные процессы с образованием прочных связей между поверхностными группами и ионами меди могут быть механизмом протекания сорбции, на это указывают также форма кривой изотермы и рассчитанный энергетический параметр,  $E > 8$  кДж/моль. Направление дальнейшей работы является исследование поверхности обработанного сорбента на наличие поверхностных групп и оптимизация условий сорбции.

### Библиографический список

1. Веденяпина М.Д., Курмышева А.Ю., Кулайшин С.А., Кряжев Ю.Г. Адсорбция некоторых тяжелых металлов на активированных углях (обзор)// Химия твердого топлива. 2021. № 2. С. 18-41.
2. Choi, Jiho & Kang, Jihyun & Yang, Huiseong & Yoon, Sangin & Kim, Jun-Hyun & Park, Hyun-No. (2024). Enhancing Uptake Capability of Green Carbon Black

Recycled from Scrap Tires for Water Purification. Coatings. 14. 389. 10.3390/coatings14040389.

3. El-Maadawy, M. & Elzoghby, Amir & Masoud, Ahmed & Eldeeb, Alzahraa & El Naggar, Ahmed & Taha, Mohamed. (2024). Conversion of carbon black recovered from waste tires into activated carbon via chemical/microwave methods for efficient removal of heavy metal ions from wastewater. RSC Advances. 14. 6324-6338. 10.1039/d4ra00172a.

4. Дудникова Ю.Н., Касьянова О.В. Исследования элементного состава и морфологии поверхности углеродистого твердого остатка пиролиза вышедших из употребления резинотехнических изделий // Химия и химическая технология: достижения и перспективы: IV Всероссийская конференция. Кемерово: КузГТУ. 2018. С. 305.1 – 305.5.

5. Минхайдарова Г. В. Экологические аспекты утилизации твердого углеродного остатка пиролиза изношенных шин. Дис. канд. техн. наук. Казань: КХТИ. 2004, 155 с.

6. Айнуллов Т.С., Якупов Р.Р., Ларионов К.Б. Способ деминерализации углеродного остатка пиролиза отработанных шин. Патент № 2799204 С1. Кл. МПК C08J 11/00, B29B 17/00. 2022.

7. Сивакова Л. Г., Касьянова О. В. Смачивание твердого остатка пиролиза вышедших из употребления резинотехнических изделий растворами ПАВ // Вестник КузГТУ. 2018. №6 (130), С. 70-75.

8. Vural U. S., Yinanç A. Improved demineralization of the carbon black obtained from the pyrolysis of the sidewall and tread of scrap Tires: Extraction of some micro-/macro-nutrient elements of plants // Environmental Research and Technology. 2024. V. 7(3). P.347-355.

9. Шуმიлова, М. А. Адсорбционные модели для описания равновесия в системе арсенит-ион - почва / М. А. Шуმიлова, В. Г. Петров // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – № 4. – С. 32-38. – EDN YMKDOF.

10. Конькова Т. В. Теория и практика жидкофазной адсорбции в технологии неорганических веществ / Т. В. Конькова, А. П. Рысев. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2022. – 120 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СМЕШАННЫХ ЭФИРОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ДЛЯ НИТРОКЛЕЯ

*Рассматривается метод утилизации осадков сточных вод, образующихся на предприятиях специальной химии. Подход включает химическую модификацию нитратов целлюлозы, содержащихся в данных осадках. Полученный продукт может быть использован в качестве основы для производства нитроклея.*

*Ключевые слова: утилизация, сложные эфиры целлюлозы, осадки сточных вод, модификация, ацетилнитрат целлюлозы, клей, энерго- и ресурсосбережение.*

На производстве сложных азотнокислых эфиров целлюлозы образуется значительное количество сточных вод, которые содержат нитроцеллюлозное волокно. Это волокно представляет собой опасный отход, который в условиях средней климатической полосы России в естественных условиях практически не разлагается. Нитроцеллюлоза, обладая высокой устойчивостью к внешним воздействиям и токсичностью, накапливается в окружающей среде, что может нанести серьезный вред экосистемам, а также отрицательно сказаться на здоровье человека. Учитывая эти факторы, утилизация данного опасного отхода становится одной из важнейших задач, требующих комплексного подхода и разработки эффективных методов обработки. Необходимо учитывать как экологические, так и экономические аспекты при решении этой проблемы. Одним из экономически целесообразных инженерных решений является использование этих твердых отходов в качестве альтернативного сырья для создания продукции гражданского назначения. Это позволит не только снизить объемы опасных отходов, но и оптимизировать затраты на производство, что в конечном итоге может привести к более устойчивому и безопасному производственному процессу. Утилизация нитроцеллюлозного волокна может осуществляться несколькими способами:

1. Термическое разрушение. Один из наиболее распространенных методов, который включает сжигание отходов при высоких

температурах. Этот процесс позволяет полностью разрушить органические соединения, однако требует строгого контроля выбросов для предотвращения загрязнения атмосферы.

2. Химическое разрушение. Использование химических реакций для нейтрализации токсичных высокомолекулярных соединений. Этот метод может включать окисление или гидролиз азотнокислых эфиров целлюлозы, что позволяет преобразовать опасные вещества в менее токсичные соединения.

3. Биоремедиация. Применение микроорганизмов для разложения нитратов целлюлозы в безопасные продукты. Этот метод является экологически чистым и эффективным при правильном выборе микроорганизмов, но дорогостоящим.

4. Физико-химическая переработка (модификация). Утилизация устаревших нитратов целлюлозы с целью повторного использования в других производственных процессах. Это может включать переработку в новые продукты, такие как пленки или биоматериалы.

С точки зрения энерго- и ресурсосбережения метод физико-химической переработки является наиболее актуальным. С помощью химической модификации структуры нитратов целлюлозы можно создать новые соединения, которые позволят перерабатывать отходы в гражданскую продукцию. В связи с актуальностью поиска новых подходов к переработке целлюлозных материалов, были проведены исследования по химической модификации нитратов целлюлозы хлорангидридом уксусной кислоты. Наличие кислорода и хлора, выступающих в роли мощных электроноакцепторов, в структуре соединения с одним атомом углерода приводит к значительному дефициту электронов на внешнем электронном уровне карбонильного атома. Это явление существенно определяет электрофильные свойства молекулы хлорангидрида. Степень положительного заряда на карбонильном атоме, который является центром электрофильных атак, прямо коррелирует с реакционной способностью данного соединения. В связи с высокой реакционной способностью хлорангидрид способен вступать в реакции с нитратом целлюлозы, что приводит к замещению нитратных групп на ацильный остаток. Данная реакция способствует снижению содержания нитратных групп, что, в свою очередь, приводит к уменьшению горючести конечного продукта. В результате этих экспериментов были получены высокомолекулярные соединения ацетилнитраты целлюлозы, которые продемонстрировали ряд уникальных свойств, таких как значительное снижение вязкости

растворов полимеров, упорядочение их надмолекулярной структуры, повышение полидисперсности и снижение горючести. Эти характеристики делают ацетилнитраты целлюлозы перспективными для использования в качестве основы для нитроклея, что позволяет частично заменить традиционный нитрат целлюлозы. Такой подход не только способствует улучшению эксплуатационных свойств клеевых материалов, но и отвечает современным требованиям устойчивого производства, снижая зависимость от высококачественного растительного сырья. В рамках оценки эффективности нового материала, в клеевой лаборатории ОАО «Казанский вертолетный завод» были проведены испытания образца авиационного клея марки АК-20. В ходе эксперимента осуществлялась частичная замена традиционного нитрата целлюлозы на модифицированный ацетилнитрат целлюлозы (АНЦ). Данные испытания проводились в строгом соответствии с требованиями Технических условий ТУ 6-10-1293-78, что обеспечивало высокую степень надежность полученных результатов и их потенциальную применимость в авиационной промышленности. Результаты испытаний продемонстрировали значительное улучшение эксплуатационных характеристик клеевого состава. В частности, применение АНЦ в качестве основы для нитроклея АК-20, с заменой исходного нитрата целлюлозы на 80%, позволило существенно повысить прочность приклеивания и сократить время высыхания, при этом сохранив остальные физико-химические показатели на уровне, соответствующем установленным требованиям. Эти данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний модифицированных образцов в составе нитроклея АК-20 (ТУ 6-10-1293-78)

Наименование показателя	Результаты проведенных испытаний		
	требования	образец 1	образец 2
1. Внешний вид клея	Однородная прозрачная жидкость без посторонних включений. Допускается легкая палесценция.	соответствует	соответствует
2. Внешний вид покрытия	Высохшее покрытие должно быть прозрачным и однородным.	соответствует	соответствует

Продолжение таблицы 1

3. Цвет клея по йодометрической шкале, мг I2/100 см3	Не менее 1000	1100	1078
4. Условная вязкость по вискозиметру типа ВЗ-246 с диаметром сопла 6 мм при температуре $(20,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ , с	50-70	65	68
5. Массовая доля нелетучих веществ, %	20-23	21	22
6. Кислотное число водной выдержки, мг КОН/г клея	Не более 0,5	0,31	0,37
7. Время высыхания до степени 3 при температуре $(20,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$ , ч	Не более 1	0,68	0,65
8. Прочность приклеивания ткани к древесине (фанере), Н (кгс) на 1 м длины	Не менее 637 (65)	648	652

Таким образом, результаты проведенных исследований открывают новые горизонты для интеграции модифицированного клеевого состава в производственные процессы, подчеркивая его высокую эффективность и конкурентоспособность на рынке авиационных материалов.

Внедрение таких инновационных решений не только способствует значительному улучшению качества конечной продукции, но и отвечает актуальным требованиям современного производства, ориентированного на устойчивое развитие.

Данный подход соответствует принципам рационального энергосбережения и эффективного использования ресурсов, что особенно важно в контексте растущих экологических вызовов.

Использование вторичного сырья и переработанных отходов в качестве полупродуктов для создания новых материалов не только снижает негативное воздействие на окружающую среду, но и способствует экономической эффективности производственных процессов.

Таким образом, модифицированный клеевой состав представляет собой не просто технологическое новшество, а важный шаг к более



устойчивой и ответственной промышленности, способной удовлетворять потребности современного общества без ущерба для будущих поколений.

### **Библиографический список**

1. Фатыхова Л.А., Галимов А.Р. Утилизация отходов спецпроизводств // Современные технологии в области защиты окружающей среды и техносферной безопасности: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Казань, 2024. С. 514-515.
2. Романова С.М., Фатыхова Л.А. Метод переработки некондиционных нитроэфиров целлюлозы // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27, № 12. С. 121-124.
3. Романова С.М., Мадыкина А.М., Сабирова Д.И. Химия растительного сырья. 2017. № 2. С. 19-34.
4. Романова С.М., Фатыхова Л.А., Сабирова Д.И. Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 4. С. 129-131.
5. Голубев А.Е., Кувшинова С.А., Бурмистров В.А. Российский химический журнал. 2015. Т. 59, № 5. С. 98-112.
6. Кувшинова С.А., Голубев А.Е., Бурмистров В.А. Российский химический журнал. 2016. Т. 60, № 1. С. 69-84.
7. Романова С.М., Фатыхова Л.А. Журнал Сибирского Федерального Университета. Химия. 2014. Т. 7, № 1. С. 151-158.
8. Романова С.М., Фатыхова Л.А., Мартышкин К.Н. Вестник КТУ. 2017. Т. 20, № 13. С. 5-11.
9. Романова С.М., Фатыхова Л.А. Известия высших учебных заведений. 2021. Т. 64, № 5. С. 30-34.
10. Романова С.М., Фатыхова Л.А. Вестник технологического университета. 2023. Т. 26, № 12. С. 23-30.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Повышение ставок платы за негативное воздействие на окружающую среду подстегнет предприятия к внедрению наилучших инженерных решений. Инструментом для выявления наиболее значимых экологических аспектов является экологический аудит.*

*Ключевые слова: отходы, платежи, решения.*

Вступивший с 1 января 2025 года Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28.08.2024 г. № 2330-р обязывает предприятия использовать вторичное сырье полученный из отходов производства. Это даст предприятиям данных отраслей стимул для поиска лучших инженерных решений по снижению образования отходов и вовлечение их в повторный оборот для выпуска основных или дополнительных видов продукции.

Доля пластиковых отходов в общем объеме образующихся отходов достигает 8 % [1]. К отраслям экономики, в которых образующийся пластик не подвергся загрязнению следует уделить более пристальное внимание так как переработка и получение новой продукции не потребует дополнительных затрат на обеззараживание и очистку.

Предприятия по производству продукции из пластика сталкиваются с браком при производстве достигающий 10 % от готовой продукции и становятся объектами исследований авторов [2]. Таким образом, для проведения экологического аудита выбрана отрасль производства пластиковых исследований. Для оценки количества наносимого негативного воздействия на окружающую природную среду авторы использовали метод экологического аудита. Алгоритм проведения аудита включает 3 этапа: первый этап заключается в оценке технологической линии производства продукции из пластика и определение количества образующихся отходов, в основном это брак продукции. На втором этапе оцениваются экологические платежи при классической схеме утилизации отходов. На третьем этапе предлагаются инженерные решения для снижения отходов. Расчет объема образующегося брака (отхода) и расходов на утилизацию при

средней производительности предприятий в 50 000 тонн продукции в год производится по следующему алгоритму:

1. Рассчитывается количество бракованных изделий:

$$m = \frac{V \cdot 10\%}{100\%}, \quad (1)$$

где 10% – уровень брака продукции на предприятии [2];

$V$  – объем производства, т.

При таких объемах расчетный объем отходов составит 5000 т.

2. Рассчитывается плата за негативное воздействие в случае утилизации отходов. Расчет проводится по методике утвержденной Постановлением Правительства РФ от 31.05.2023 №881 по следующей формуле:

$$П = \sum (M_i \cdot H) \cdot 1,32 \quad (2)$$

где  $M_i$  – платежная база за размещение отходов  $i$ -го класса опасности, т;

$H$  – ставка платы по Постановлению от 13.09.2016 №913;

1,32 – дополнительный коэффициент к ставке платы в 2025 году.

На производстве образуются 3 вида отходов: отходы поливинилхлорида, отходы пленки и отходы изделий из полипропилена. При ненадлежащем использовании и переводе брака в отход, принимая во внимание, Федеральный классификатор отходов, информационно технический справочник ИТС-32-2022, образующийся отход и относится к 3 классу опасности. Ставка платы по Постановлению 1327 на отходы 3 класса опасности составляет 663,2 рублей за тонну. Экологические платежи, рассчитанные по формуле (2) составят 8 758 200 рублей в год. Таким образом данная методика экологического аудита и ключевые формулы оценки деятельности технологической линии предприятия позволяют актуализировать экологическую политику и внести коррективы в систему экологического менеджмента об усилении внимания руководства и работников к ведению малоотходного производства и продвижению зеленой политики и зеленого рейтинга предприятий данного

направления отрасли. Этап поиска лучших инженерных решений должен учитывать страну производителя, стоимость, эффективность и при попадании предприятия под действие Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 выбираемые инженерные решения должны соответствовать критериям наилучших доступных.

Согласно Справочника по наилучшим (инженерным) доступным технологиям (НДТ) для выбранной отрасли ИТС-32-2022 наилучшим решением является внедрение системы экологического менеджмента. В него включается: проведение периодических аудитов, соблюдение принятых на себя целей экологической политики, обучение персонала по ведению бережного производства продукции с минимальным образованием отходов. Наиболее предпочтительный с точки зрения снижения отходов в результате выбраковки изделий является НДТ № 19 заключающийся в организации сбора и использования отходов полимеров для изготовления резинотехнических и других изделий неответственного назначения. Данное направление приобретает популярность в виду его экономической целесообразности позволяющий существенно экономить первичное сырье. Третий этап экологического аудита предприятия заключается в сравнительном анализе инженерные решения по утилизации образующихся отходов и вовлечение их в производство вторичной продукции. К внедрению в технологический регламент по утилизации отходов предлагается технологическая линия по переработке в гранулят образующихся отходов производства представленный на (рис. 1).

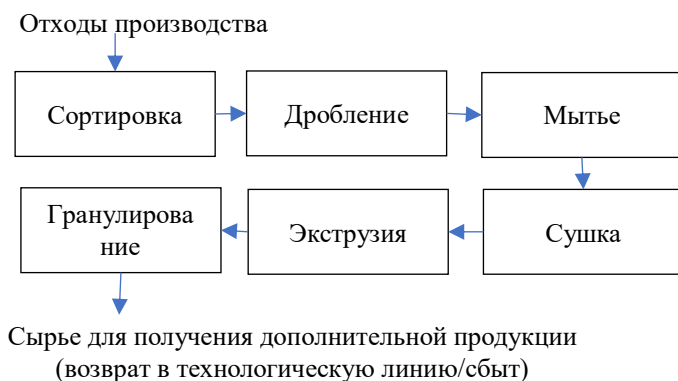


Рис.1. Технологическая линия утилизации пластиковых отходов

Технологическая линия на рисунке представляется следующими основными этапами: сортировка отходов по качеству, составу, цвету и степени загрязнения; предварительное измельчение отходов; промывку и сушку пластиковых частиц; экструдирование для получения однородного полимерного расплава и изготовление гранулята [4].

Таким образом предлагаемая линия решает поставленные перед предприятиями отрасли проблемы утилизации отходов, полностью исключает экономическую нагрузку предприятия связанная с экологическими платежами за утилизацию многотоннажных отходов и расширяет ассортимент продукции.

### Библиографический список

1. Рзаев, К.В. Переработка отходов пластмасс в России / К.В. Рзаев // Твердые бытовые отходы. 2017. № 1 (127). С. 7–9.
2. Шабанов, В. Дефекты кабельной продукции. ОАО "ЕЭСК"/ В. Шабанов, А. Васильев // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 5 (32). С. 90–93.
3. Расчетная инструкция (методика) «Удельные показатели образования вредных веществ, выделяющихся в атмосферу от основных видов технологического оборудования для предприятий радиоэлектронного комплекса». СПб.: ОАО «ГПНИИ-5, № 2006. – 162 с.
4. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС-15-2021 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов)». М.: Росстандарт, № 2021. – 238 с.
5. Circular waste management: Superworms as a sustainable solution for biodegradable plastic degradation and resource recovery / H. Jung, G. Shin, S.B. Park et al. // Waste Management. 2023. Vol. 171. P. 568-579.
6. Differences in ingestion and biodegradation of the melamine formaldehyde plastic by yellow mealworms *Tenebrio molitor* and superworms *Zophobas atratus*, and the prediction of functional gut microbes / X. Li, Y. Wang, H. Sun et al. // Chemosphere. 2024. Vol. 352. Article 141499. P. 1-9.
7. Different plastics ingestion preferences and efficiencies of superworm (*Zophobas atratus* Fab.) and yellow mealworm (*Tenebrio molitor* Linn.) associated with distinct gut microbiome changes / Y. Wang, L. Luo, X. Li et al. // Science in the Total Environment. 2022. Vol. 837. Article 155719. P. 1-9.

Шайхиев И.Г., д-р. тех. наук, проф.,  
(КНИТУ, г. Казань, Россия)

## **ЛИЧИНКИ *ZOPHOBAS MORIO* – РЕШЕНИЕ ПЛАСТИКОВОЙ ПРОБЛЕМЫ (КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

*Кратко обобщены литературные сведения об использовании личинок жука-чернотелки (*Zophobas morio*) для биодегradации различных видов полимеров. Кратко дана информация об основных способах переработки отработанных полимерных материалов. Приведена информация о морфологии имаго и личинок насекомого. Показано, что личинки насекомого могут использовать пластики в качестве единственного источника углерода, эффективно разлагая последние за счет действия консорциума микроорганизмов кишечника. Разложение пластиков, в большинстве случаев, происходит за счет уменьшения молекулярной массы, размеров и окисления под действием ферментов микроорганизмов кишечника личинок насекомого. Утилизация полимерных материалов путем биодегradации за счет питания личинками насекомых имеет перспективы развития и интенсивно развивается в мировом пространстве.*

*Ключевые слова: личинки жука-чернотелки (*Zophobas morio*), полимеры, биодегradация*

В настоящее время одной из актуальнейших экологических вопросов человечества является проблема утилизации пластиковых отходов [1]. Различные виды пластических материалов, таких как полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат, полистирол и множество других используются людьми, как в повседневной жизни, так и в производственных целях [2]. После использования пластиковые отходы в лучшем случае оказываются в составе твердых бытовых отходов (ТБО), в худшем – попадают в объекты природной окружающей среды, загрязняя последнюю. Отмечается, что количество образующихся отходов пластика в виде упаковки велико. За один только год в России образуется более 750 тыс. т отходов пластиковой упаковки [3]. Отличительной чертой пластиковых отходов является довольно большой срок их разложения в природной среде, который составляет от нескольких сотен до тысячи лет. Так, в частности, срок разложения ПЭТФ упаковки в природной среде составляет более 300 лет [4]. В настоящее время существует несколько основных способов

переработки пластиковых отходов. Наиболее простой, но энергозатратный – это пиролиз пластиков [5]. Пиролиз пластиков, как правило, проводится при высокой температуре в диапазоне 500–800 °С, в результате образуется продукт в виде широкого спектра углеводородов практически без выделения токсичных или вредных газов, как это бывает при сжигании отходов. Кроме того, не образуются сточные воды из системы газоочистки [5]. Кроме пиролиза, существуют и другие различные способы переработки пластиковых отходов с получением из них энергии. К таковым относятся, прежде всего, методы термохимической переработки: сжигание, газификация, плазменная газификация, пиролиз, гликолиз, гидролиз, аминолиз, гидрирование [5], сольволиз [6] и др. Кроме термических методов, выявлено также, что разложение пластиков может осуществляться в результате жизнедеятельности некоторых видов водных и почвенных микроорганизмов [7-10]. Многие виды и штаммы микроорганизмов, в частности, такие как *Aspergillus oryzae* RIB40, *Penicillium* spp., *Penicillium simplicissimum*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amylolyticus* и многие другие способствуют разложению различных видов пластиковых отходов в литосфере и гидросфере [9]. Однако микробиологическая переработка отходов, произведенных из пластиков, имеет такой недостаток как относительно долгое время разложения последних, достигающая в некоторых случаях нескольких десятков лет. В последнее время выявлено и интенсивно исследуется и развивается новое направление в области утилизации полимерных отходов. Выявлено, что некоторые виды личинок насекомых обладают способностью использовать пластики в качестве источника пищи, поглощая последние желудочно-кишечным трактом, в котором происходит разложение под действием микроорганизмов, естественной средой обитания которых является пищеварительная система насекомого [11-14]. Известно не более 23 видов таких личинок, среди которых наибольшее количество исследований по использованию последних в качестве утилизаторов пластиков, в основном полиэтилена (ПЭ) и полистирола (ПС), получили личинки жука-чернотелки (*Zophobas morio* или *Zophobas atratus*) (рис. 1).

Зофобас (*Zophobas morio*) - жук из семейства Чернотелки (*Tenebrionidae*). Впервые был описан в 1776 году энтомологом из Дании Иоганном Христианом Фабрицием (Fabricius). Исторической родиной вида является Центральная и Южная Америка. Самка жука откладывает ~ 150-200 яиц. Длительность стадии яйца – 8-12 дней. Спустя 6-8 недель

личинки перестают расти, а ещё через 5-6 недель окукливаются. Длительность стадии куколки - 3 недели; средняя продолжительность жизни имаго (взрослой особи) - 10 месяцев. Жуки достигают длины 30-35 мм. Личинки - длиной до 60 мм, весом ~ 1,5 гр. Куколка зофобаса достигает в длину 3 см. Она кремовая, с мощными щетинками на спинке.



Рис. 1. Фотографии *Zophobas morio*: а) личинки; б) имаго насекомого

В домашних условиях личинок насекомого используют в качестве корма для домашних питомцев. Для этой цели используют только личинок. Сами жуки выделяют дурно пахнущую жидкость, поэтому они несъедобны. Также личинки *Zophobas morio* применяются в качестве корма для выращивания рыб в аквакультуре, домашних птиц и земноводных, а также пресмыкающихся.

Личинки зофобасов всеядны. Основу их рациона в природе и домашних условиях составляют сочные овощи и фрукты, а также сухие корма. Как уже говорилось выше, в отсутствие природных источников корма, всеядные личинки *Zophobas morio* могут поглощать мелкие частицы пластика, таким образом, утилизируя их.

Так, например, исследовано разложение полистирола (ПС) с помощью личинок *Zophobas morio*. Последних откармливали мелкими частицами ПС без добавления стандартной пищи. Выявлено, что средняя норма потребления ПС для каждой личинки жука-чернотелки оценивалась в 0,58 мг/день, что в 4 раза больше, чем у мучного червя (*Tenebrio molitor*), которые также поглощают пластики. Показано, что деполимеризация длинноцепочечных молекул ПС и образование низкомолекулярных продуктов распада происходили в кишечнике личинки. Респирометрический тест показал, что до 36,7 % поглощенного углерода ПС было преобразовано в CO<sub>2</sub> в течение 16-дневного периода испытаний. Способность микробиоты личинок жука-чернотелки к деградации ПС была подавлена введением в кишечник антибиотика, что указывает на то, что деградации ПС осуществляется микрофлорой микроорганизмов [15]. Установлено, в частности, что разложение ПС в кишечнике личинки осуществляется тремя видами микроорганизмов, такими как *Pseudomonas sp.* EDB1, *Bacillus sp.* EDA4



и *Brevibacterium sp.* EDX. Исследования показали, что *Brevibacterium sp.* EDX (GenBank MZ32399) являлся наиболее эффективным штаммом, разлагающим ПС [16]. Кроме ПС, личинки *Zophobas morio* эффективно разлагают и частицы полиэтилена низкого давления (ПЭНД). Так, в работе [17] названным личинкам в течение 28 дней скармливали ПС и ПЭНД без включения растительной пищи. Личинки показали высокие данные по выживаемости и низкие показатели каннибализма, но содержание жира в их организме снижалось при кормлении ПС или ПЭНД с соответствующими нормами потребления  $43,3 \pm 1,5$  и  $52,9 \pm 3,1$  мг пластика/100 личинок в день. Выявлено, что личинки биодеградировали ПС посредством широкой деполимеризации, а ПЭНД посредством деполимеризации ограниченной степени [17]. Также выявлено, что личинки *Zophobas morio* могут разлагать и полипропилен (ПП). Так, в проведенных экспериментах по биодеградации вспененного ПП личинками желтых мучных червей (*Tenebrio molitor*) и жука-чернотелки (*Zophobas morio*) количество личинок составило в эксперименте: 300 ед. личинок *Tenebrio molitor* и 200 ед. личинок *Zophobas morio*; время проведения эксперимента – 35 дней. Определено, что скорость потребления вспененного ПП составили 1,0 и 3,1 мг/100 личинок в день, соответственно. При этом значение масса полимера уменьшилось на 33,8 % и 32,0 %, соответственно, что указывает на ограниченную степень деполимеризации ПП. Высокопроизводительное секвенирование 16S рРНК показало, что бактерии *Citrobacter sp.* и *Enterobacter sp.* были идентифицированы в микробиоте кишечника *Zophobas morio*, тогда как *Kluyvera* преобладала в микробиоте кишечника личинок *Tenebrio molitor* [18]. Также изучалась биодеградация вспененных образцов полибутиленисукцината (ПБС) личинками *Zophobas morio*. Личинки в эксперименте в количестве 30 особей кормились вспененным ПБС массой 4 г в течение 28 дней. Определено, что в конце эксперимента выживаемость личинок насекомого, питавшихся только ПБС, составила 95,2 %, при этом средний вес особей увеличился на 5,1 % (4,77 % в сухом весе; 33 мг/личинка). В конце экспериментов удельное потребление ПБС личинками насекомого составило 92,03 мг/100 особей. Выявлено, что личинки жука-чернотелки показали общее увеличение веса и заметно более высокий прирост белка по сравнению с теми экземплярами, которых кормили отрубями. Также выявлено, что переваривание ПБС привело к значительному (-55,6%) снижению молекулярной массы полимера [19]. Исследована биодеградация

вспененного меламиноформальдегида (МФ) личинками *Tenebrio molitor* и *Zophobas morio* в течение 45 дней. Выявлено, что потребление пены МФ личинками *Tenebrio molitor* составило 0,38 мг/1 г личинок в день, что на 40 % выше, чем для личинок *Zophobas morio* (0,28 мг/1 г личинок в день). Определено аналогичное снижение выживаемости у обоих видов - примерно 58 %, что указывает на неблагоприятное воздействие на их рост. Деполимеризация и биodeградация пены МФ происходили в обоих личиночных кишечниках, но были более интенсивными у личинок *Tenebrio molitor*. Уменьшение массы вспененного МФ составило 17,07 мг/г для личинок *Tenebrio molitor* и 12,39 мг/г для личинок *Zophobas morio* [20]. В сообщении [21] личинок *Zophobas morio* выращивали на диетах, состоящих из ППС и пенополиуретана (ППУ) в качестве единственной диеты в течение 35 дней с отрубями в качестве контроля. Выявлено, что личинки жука-чернотелки выжили на 100 % на всех диетах, но наблюдалось снижение массы через 20 дней с диетой, состоящей исключительно из пластика. Совокупное потребление пластика личинками насекомого составило 49,24 мг ППС/личинка и 26,23 мг ППУ/личинка [21]. Таким образом, кратко обобщены сведения о биodeградации различных пластиков (полиэтилен низкого и высокого давления, полипропилен, полистирол и др.) с использованием личинок жука-чернотелки (*Zophobas morio*). Приведена краткая информация по морфологии имаго и личинок насекомого. Показано, что личинки насекомого могут использовать пластики в качестве единственного источника питания, эффективно разлагая последние за счет действия консорциума различных микроорганизмов кишечника.

### Библиографический список

1. Потапова Е.В. Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия Байкальского государственного университета. 2018. Т. 28. № 4. С. 535-544.
2. Бракт Д.Г. Обеспечение экологической безопасности в аспекте воздействия утилизации пластиковых отходов на здоровье населения и окружающую среду // Экономическая безопасность. 2022. Т. 5. № 2. С. 673-694.
3. Соловьянов А.А. Пластики и окружающая среда // Твердые бытовые отходы. 2010. № 8. С. 38-41.
4. Сердобольская М.Г. Как живет российский переработчик ПЭТФ // Твердые бытовые отходы. 2015. № 1. С. 10-12.
5. Ковалева Н.Ю., Раевская Е.Г., Рошин А.В. Пиролиз пластиковых отходов. Обзор // Химическая безопасность, 2020. Т. 4. № 1. С. 48-79.

6. Петров А.В., Дориомедов М.С., Скрипачев С.Ю. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. 2015. № 8. С. 60-71.
7. Микробная деградация пластика и пути ее интенсификации / И.Б. Котова, Ю.В. Тактарова, Е.А. Цавкелова и др. // Микробиология. 2021. Т. 90. № 6. С. 627-659.
8. Белов Д.В., Беляев С.Н. Перспективы переработки пластиковых отходов на основе полиэтиленгликольтерефталата с применением живых систем (обзор) // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. № 2(41). С. 238-253.
9. Microbial degradation of plastic: a review / S.K. Kale, A.G. Deshmukh, M.S. Dudhare, V.B. Patil // Journal of Biochemical Technology. 2015. Vol. 6. No 2. P. 952-961.
10. Plastics degradation by microbes: A sustainable approach / A. Elahi, D.A. Bukhari, S. Shamim, A. Rehman // Journal of King Saud University-Science. 2021. Vol. 33. No 6. Article 101538.
11. Biodegradation of polyethylene and polystyrene: From microbial deterioration to enzyme discovery / Y. Zhang, J.N. Pedersen, B.E. Eser, Z. Guo // Biotechnology Advances. 2022. Vol. 60. Article 107991. P. 1-19.
12. Current paradigms and future challenges in harnessing gut bacterial symbionts of insects for biodegradation of plastic wastes / M.A. Dar, R. Xie, H.M. Zabeed et al. // Insect Science. 2024. P. 1-28.
13. Kuan Z.J., Chan B.K.N., Gan S.K.E. Worming the circular economy for bio-waste and plastics: *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, and *Zophobas morio* // Sustainability. 2022. Vol. 14. No 3. Article 1594. P. 1-13.
14. Hydrocarbon-based plastics: Progress and perspectives on consumption and biodegradation by insect larvae / A.F. Pivato, G.M. Miranda, J. Prichula et al. // Chemosphere. 2022. Vol.293. Article 133600. P. 1-24.
15. Yang Y., Wang J., Xia M. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating superworms *Zophobas atratus* // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 708. Article 135233. P. 1-7.
16. Biodegradation of polystyrene by three bacterial strains isolated from the gut of Superworms (*Zophobas atratus* larvae) /P. Arunrattiyakorn, S. Ponprateep, N. Kaennonsang et al. // Journal of Applied Microbiology. 2022. Vol. 132. No 4. P. 2823.
17. Biodegradation of polystyrene and low-density polyethylene by *Zophobas atratus* larvae: Fragmentation into microplastics, gut microbiota shift, and microbial functional enzymes / B.Y. Peng, Y. Sun, Z. Wu et al. // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 367. Article 132987. P. 1-12.
18. Biodegradation of polypropylene by yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) and superworms (*Zophobas atratus*) via gut-microbe-dependent depolymerization / S.S. Yang, M.Q. Ding, L. He et al. // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 756. Article 144087. P. 1-12.

Шайхиев И.Г., д-р. тех. наук, проф.,  
Сафиуллина И.Ф., аспирант;  
Борисова С.В., канд. техн. наук, доц.;  
Мингалеева З.Ш., д-р. тех. наук, проф.  
(КНИТУ, г. Казань, Россия)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛУКОВОЙ ШЕЛУХИ В РЕЦЕПТУРЕ ХЛЕБА (КРАТКИЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

*Приведены данные зарубежных источников по использованию наружных оболочек (шелуха) лука репчатого (*Allium cepa*) в качестве ингредиента в рецептурах для изготовления хлебных изделий. Приведены сведения о составе шелухи лука и некоторых возможных направлениях ее использования. Показано, что добавление шелухи *Allium cepa* в рецептуры для выпекания хлеба, усиливает нутрицевтические характеристики последнего.*

*Ключевые слова:* наружные оболочки луковичи, лук репчатый, *Allium cepa*, хлеб, добавка.

Лук репчатый (*Allium cepa*), является одним из наиболее широко культивируемых овощей на нашей планете. Благодаря своим кулинарным и полезным для здоровья преимуществам он часто используется во многих кухнях. В настоящее время мировой объем производства репчатого лука составляет более ста миллионов тонн [1]. С годовым (2024 г.) объемом производства 93,23 млн. тонн, Китай является мировым лидером по производству лука. Годовой объем производства последнего в США составляет 3,03 млн. тонн, в Иране - 2,35 млн. тонн, в Египте - 3,12 млн. тонн, в Индии - 19,42 млн. тонн [2]. При переработке луковичи образуются отходы в виде наружного слоя овоща (луковая шелуха). Определено, что только в Европе годовой объем образования луковой шелухи среди всех производителей составляет 0,6 млн. тонн [3]. Шелуха лука, как отход производства сельскохозяйственной продукции, как правило выбрасывается, в лучшем случае на организованные площадки, где сгнивая ухудшает экологическую обстановку в местах захоронения.

Круговая экономика, преобразуя отходы производства и потребления в ценные продукты, способствует сокращению загрязнений, оказывает значительное и прямое влияние на борьбу с отходами. Эффективные стратегии обращения с твердыми отходами, основанные на концепции круговой экономики, которая подчеркивает

повторное использование ресурсов отходов, имеют решающее значение для сохранения окружающей среды. Обеспечение устойчивого развития твердых отходов включает достижение надлежащей обработки, управления, утилизации и окончательной утилизации с помощью круговой экономической модели.

Следует отметить, что сельскохозяйственное производство является одним из основных в части образования отходов, которые в большинстве случаев элементарно запахиваются в почву, сжигаются или сгнивают. Однако комплекс биологически активных веществ (БАВ) делают отходы сельскохозяйственного производства ценными вторичными материальными ресурсами.

Многими исследователями определен комплекс БАВ в составе луковой шелухи. Так, в работе [4] определено, что в шелухе лука содержится 2,38 % протеинов, 0,53 % липидов, 69,9 % диетических волокон, 24,5 мг/г Са и 0,048 мг/г Fe. В этой же работе определено, что общее содержание полифенолов в луковой шелухе составляет 112,9 мг GAE/г, антиоксидантная активность по методу ABTS – 699,0 ммоль ТЕ/г, по методу ORAC-FL – 1782,0 ммоль ТЕ/г, способность ингибировать α-глюкозидазу – 447,2 мкг/мл.

Кроме того, луковая шелуха, независимо от сорта, богата кверцетином и его производными, а также другими флавоноидами и пектином [5]. Определено, что общее содержание фенолов и флавоноидов в шелухе лука составило  $240,550 \pm 0,172$  мг/г эквивалента галловой кислоты и  $422,647 \pm 1,167$  мг/г эквивалента кверцетина, соответственно [6]. Химический анализ с помощью хромато-масс-спектрометрии выявил 23 соединения в экстрактах из шелухи лука, относящихся к фенольным кислотам и флавоноидам. Кверцетин был основным соединением во всех экстрактах, концентрация которого варьировалась от 14,91 мг/г в этанольном экстракте до 48,53 мг/г в метанольном экстракте [7]. Также луковая шелуха характеризовалась высоким содержанием глюкоанов (около 38 %) и галактуроновой кислоты (33 %) [5].

В работе [8] определено, что шелуха лука сорта «NHRDF Red» содержала наибольшее количество сырого протеина - 5,97 г/100 г, золы - 12,24 г/100 г и клетчатки - 8,28 г/100 г, тогда как сорт «Pusa Red» обладал наибольшим количеством общего жира - 0,47 г/100 г, а максимальное количество углеводов составило 76,66 г/100 г. В работе [9] определено, что кожура лука сортов «Hissar-3» и «NHRDF Red» является лучшим источником флавоноидов и природных

антиоксидантов. Общее содержание фенольных соединений в них составило 288,7 и 289,0 мг GAE/г, соответственно, флавоноидов – 160,2 и 168,8 мг QE/г, соответственно [9].

Содержание углеводов, золы, влажности, сырого протеина, жира и сырой клетчатки в луковой шелухе находились в диапазоне 64,32–76,66 %, 6,88–12,24 %, 6,27–13,23 %, 3,90–5,97 %, 0,30–0,47 % и 4,45–8,28 % соответственно [10].

Как показано многочисленными исследованиями, шелуха лука богата флавоноидами - кемпферолом и кверцетином, как в их агликонной, так и в гликонной форме. Кверцетин и другие типичные флавоноиды в выброшенных луковых отходах представляют интерес из-за их биоактивных свойств и потенциально полезных эффектов, поскольку они могут проявляют антиоксидантную, противовоспалительную и противораковую активность. Кверцетин составляет более 85% от общего количества флавоноидов в зрелом луке и, таким образом, он представляет собой подходящее модельное биоактивное соединение для изучения эксплуатации луковых отходов. Были показаны противораковые свойства кверцетина а также его антиоксидантная и противовоспалительная активность. Экстракты луковой шелухи показали антимикробное действие против *Bacillus cereus*, которая представляет риск для безопасности пищевых продуктов, а также против грамотрицательных бактерий *Escherichia coli* и *Pseudomonas fluorescens*[11].

Благодаря богатому биоактивному содержанию луковой шелухи и антимикробным свойствам и полезным для здоровья свойствам кверцетина, луковая шелуха была признана новым ингредиентом, который можно включать в различные продукты питания [11-14].

Самым массовым продуктом питания, потребляемым человечеством является хлеб. Пшеничный хлеб считается хорошим источником энергии и незаменимых питательных веществ для человеческого организма, в то же время хлеб из белой муки является пищей с низкой антиоксидантной способностью. Для усиления функциональных и нутрицевтических свойств хлеба в него добавляют различные компоненты (злаки, семена, специи, травы и части зеленых растений, отходы от переработки сельскохозяйственного сырья и др.) [15-18].

Луковая шелуха также исследовалась в рецептурах для выпечки хлеба. Так, в работе [19] выявлено, что добавление луковой шелухи в рецептуру, значительно изменило общие характеристики функционального хлеба, а также улучшило его антиоксидантный

потенциал. Реологические свойства, определенные с помощью миксографического и фаринографического анализа, показали, что хлеб с добавлением шелухи лука приводит к более стабильному тесту с 64,67 %, индексом толерантности, 134,11 % мягкости и временем смешивания 6,32 мин и высотой пика BU 54,24. Общее содержание фенолов и содержание флавоноидов функционального хлеба также увеличилось также как и увеличение активности DPPH функционального хлеба. Определено, что хлеб, обогащенный луковой шелухой, имел менее тонкую структуру белка из-за наличия более высокого содержания клетчатки по сравнению с контрольным образцом [19].

Установлено, что гликозиды, димеры и тримеры кверцетина в безглютеновом хлебе, разлагаются при выпечке и выделяют свободный кверцетин, что указывает на их термическую нестабильность. Исследования показали, что потребление хлеба с добавкой 5 % луковой шелухи достоверно повышает антиоксидантную активность крови потребителей по сравнению с потреблением хлеба в контрольной группе, что свидетельствует о хорошей биодоступности флавонолов. Результаты показывают, что включение шелухи в хлеб может повысить его биологическую ценность при удовлетворительном сенсорном восприятии [20].

В то же время, введение порошка луковой шелухи в количестве 4 % в рецептуру хлеба повлияло на усвояемость белка (снижение с 78,4% для контрольного хлеба до 55% для хлеба с шелухой). Электрофоретические и хроматографические исследования показали наличие в хлебе с добавкой шелухи *Allium cepa* неперевариваемых белково-флавоноидных комплексов с молекулярными массами около 25 кДа и 14,5 кДа. Взаимодействие фенольных соединений с белками влияет на антиоксидантную эффективность и усвояемость белка. Сделан вывод, что добавление луковой шелухи в рецептуру для выпечки хлеба оказывает множественное влияние на качество продукта и полезные свойства для здоровья [21].

Также выявлено, что добавление луковой шелухи значительно укрепило хлеб с биодоступными превенторами окисления липидов и соединениями с восстановительными и хелатирующими способностями. Добавление 2-3 % шелухи лука приводит к значительному улучшению антиоксидантных способностей изделия (дальнейшее увеличение добавки ОВ не повышало активность хлеба). Органолептическая оценка показала, что замена пшеничной муки в

хлебе порошком шелухи лука до 3 % дает удовлетворительную потребительскую приемлемость [22]. В работе [23] также указывается, что луковую шелуху можно использовать в качестве потенциального полезного для здоровья функционального ингредиента в концентрации до 3 % для производства хлеба, обогащенного пищевыми волокнами, общими фенольными соединениями и общими флавоноидами, и характеризующегося высокой антиоксидантной активностью и приемлемым качеством.

В работе [24] исследовалось влияние замены пшеничной муки на порошок из шелухи желтого лука в концентрации 1-5 % на качество формового хлеба и срок годности. Выявлено, что порошок луковой шелухи содержал больше пищевых волокон, фенолов, флавоноидов и обладал более высокой антиоксидантной активностью (37,00%, 932,12, 747,34 мг/100 г и 79,98% в виде DPPH и 82% в виде ABTS соответственно) по сравнению с пшеничной мукой. Самыми высокими фенольными и флавоноидными соединениями были пирогаллол, бензойная кислота, салициловая кислота, нарингин, кверцитрин, рутин и кверцетин. Влаго- и маслоудерживающая способность (463,43 и 238,64 % соответственно) была выше у луковой шелухи, чем у пшеничной муки. Замена муки на порошок шелухи значительно увеличила содержание влаги, волокон и зольность в формовом хлебе. Кроме того, все образцы формового хлеба показали более высокие фитохимические соединения и антиоксидантную активность, чем контроль. В тоже время, было обнаружено, что большинство свойств хлеба ухудшаются по мере увеличения количества введенного в него лукового порошка [25]. Пшеничная мука могла быть заменена до 2 % ОРР без неблагоприятного воздействия на сенсорные свойства формового хлеба. Также определено, что добавление шелухи в формовой хлеб замедляло черствение формового хлеба и подавляло рост дрожжей и плесени и продлевал срок хранения формового хлеба до пяти дней по сравнению с контролем [24].

Увеличение сроков хранения хлеба, выпеченного из многозерновой муки, и антиоксидантной активности. Порошок луковой шелухи вводился в количестве 1-4 % в рецептуру, состоящую из 60 % цельнозерновой муки и 40 % многозерновой муки. Анализ текстуры показал, что твердость и жевательность уменьшались с добавлением порошка шелухи, в то время как органолептическая оценка показала, что добавление 3 % шелухи лука является наиболее предпочтительным с точки зрения вкуса, цвета, ощущения во рту и общей приемлемости.



Наблюдалось значительное увеличение общих фенолов и флавоноидов в образцах, обогащенных порошком луковой шелухи. Анализ антиоксидантов показал, что образцы с 4 % шелухи имели самые высокие DPPH (53,1%), ABTS (39,4%) и FRAP активность (38,8 мкм эквивалента галловой кислоты/г). Исследование по хранению показало, что срок годности обогащенного порошком шелухи лука хлеба был увеличен до 11 дней в условиях окружающей среды [26].

Также отмечено, что добавление порошка из луковой шелухи усиливает противодиабетические [27, 28] и противораковые свойства [29]. Выявлено, что желудочно-кишечный адсорбированный 3%-ный экстракт хлеба с добавками шелухи лука оказал значительно более сильное цитостатическое и антиинвазивное действие на клетки рака желудка, чем его желудочно-кишечные переваренные и буферизированные аналоги [29].

Таким образом, показано на основании литературных источников, что введение порошка из луковой шелухи в состав хлеба позволяет решить две задачи – использовать отход сельскохозяйственного производства для придания функциональных свойств ценному продукту питания. Определено, что содержание порошка из луковой шелухи в составе муки для выпечки хлеба не должно превышать 3 %, при этом увеличиваются антиоксидантные, противодиабетические и другие функциональные характеристики изделия.

Авторы же этой статьи исследуют шелуху лука как перспективный сорбционный материал для извлечения различных поллютантов из водных сред [30].

### **Библиографический список**

1. Jaganmohanrao L. Valorization of onion wastes and by-products using deep eutectic solvents as alternate green technology solvents for isolation of bioactive phytochemicals // Food Research International. 2025. Vol. 206. Article 115980.
2. Onion (*Allium cepa* L.) skin waste for industrial applications: A sustainable strategy for value addition and circular economy / S.K. Kyei, A.J. Frimpong, E.S. Agorku et al. // Bioresource Technology Reports. 2025. Vol. 29. Article 102094. P. 1-16.
3. Onion (*Allium cepa* L.) peel: A review on the extraction of bioactive compounds, its antioxidant potential, and its application as a functional food ingredient / M. Kumar, N. Rais, M. Hasan, S. Singh // Journal of Food Science. 2022. Vol. 87. P. 4289–4311.

4. Potential of onion byproducts as a sustainable source of dietary fiber and antioxidant compounds for its application as a functional ingredient / J. Báez, G. Marra, V. Olt et al. // *Biology and Life Sciences Forum*. 2023. Vol. 26. No 1. Article 67. P. 1-6.
5. Identification of phenolics and structural compounds of different agro-industrial by-products / O. Benito-Román, R. Melgosa, J.M. Benito, M.T. Sanz // *Agriculture*. 2025. Vol. 15. No 3. Article 299. P. 1-18.
6. Effectiveness of onion (*Allium cepa* L.) skin in human health / N. Banerjee, S. Biswas, C.M. Hossain, P. Basak // *Contemporary Medical Biotechnology Research for Human Health*. 2022. P. 115-125.
7. Onion peel as a potential source of antioxidants and antimicrobial agents / N. Joković, J. Matejić, J. Zvezdanović et al. // *Agronomy*. 2024. Vol. 14. No 3. Article 453. P. 1-16.
8. Physicochemical and thermal characteristics of onion skin from fifteen Indian cultivars for possible food applications / N.A. Sagar, A. Khar, Vikas et al. // *Journal of Food Quality*. 2021. No 1. Article 7178618. P. 1-11.
9. Sagar N.A., Pareek S., Gonzalez-Aguilar G.A. Quantification of flavonoids, total phenols and antioxidant properties of onion skin: A comparative study of fifteen Indian cultivars // *Journal of Food Science and Technology*. 2020. Vol. 57. P. 2423-2432.
10. Bioactive phytochemicals from onion (*Allium cepa* L.) by-products / C.X. Tan, S.S. Tan, H.L. Tan, S.T. Tan // *Bioactive Phytochemicals in By-products from Bulb, Flower and Fruit Vegetables*. 2025. P. 85-96.
11. Waste streams in onion production: Bioactive compounds, quercetin and use of antimicrobial and antioxidative properties / I.G.O. Črnivec, M. Skrt, D. Šeremet et al. // *Waste Management*. 2021. Vol. 126. P. 476-486.
12. A comprehensive review on bioactive compounds, health benefits, and potential food applications of onion (*Allium cepa* L.) skin waste / F. Stoica, R.N. Rațu, I.D. Veleșcu et al. // *Trends in Food Science & Technology*. 2023. Vol. 141. Article 104173.
13. Onion (*Allium cepa* L.) peel: A review on the extraction of bioactive compounds, its antioxidant potential, and its application as a functional food ingredient / M. Kumar, M.D. Barbhai, M. Hasan et al. // *Journal of Food Science*. 2022. Vol. 87. No 10. P. 4289-4311.
14. Sustainable valorization of onion (*Allium cepa* L) skin as a resource for value-added products: A comprehensive review / S.K. Kyei, W.I. Eke, A.J. Frimpong et al. // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2025. Vol. 44. Article 101942.
15. Addition of plant materials rich in phenolic compounds in wheat bread in terms of functional food aspects / A. Pop, G. Petrut, S. Muste et al. // *Hop and Medicinal Plants*. 2016. Vol. 24. No 1-2. P. 37-44.
16. Федоров А.В., Шабунина М.В., Баракова Н.В. Использование вторичных ресурсов в хлебопечении – как способ достижения целей

устойчивого развития // Вестник ВНИИЖ. 2021. № 1-2. С. 18-24.

17. Antioxidant dietary fiber-based bakery products: a new alternative for using plant-by-products / R. Subiria-Cueto, A.J. Coria-Oliveros, A. Wall-Medrano et al. // Food Science and Technology. 2021. Vol. 42. P. 1-16.

18. Functional ingredients from agri-food waste: Effect of inclusion thereof on phenolic compound content and bioaccessibility in bakery products / V. Melini, F. Melini, F. Luziatelli, M. Ruzzi // Antioxidants. 2020. Vol. 9. No 12. Article 1216. P. 1-29.

19. Valorization and structural characterization of onion peel powder for the development of functional bread / H. Ateeq, R.S. Ahmad, M. Imran et al. // International Journal of Food Properties. 2023. Vol. 26. No 1. P. 2553-2562.

20. Thermal stability and bioavailability of bioactive compounds after baking of bread enriched with different onion by-products / J. Bedrníček, D. Jírotková, J. Kadlec et al. // Food Chemistry. 2020. Vol. 319. Article 126562.

21. The influence of protein–flavonoid interactions on protein digestibility in vitro and the antioxidant quality of breads enriched with onion skin / M. Świeca, U. Gawlik-Dziki, D. Dziki et al. // Food Chemistry. 2013. Vol. 141. No 1. P. 451-458.

22. Quality and antioxidant properties of breads enriched with dry onion (*Allium cepa* L.) skin / U. Gawlik-Dziki, M. Świeca, D. Dziki et al. // Food Chemistry. 2013. Vol. 138. No 2-3. P. 1621-1628.

23. Effects on the quality and health-enhancing properties of industrial onion waste powder on bread / T. Prokopov, V. Chonova, A. Slavov et al. // Journal of Food Science and Technology. 2018. Vol. 55. P. 5091-5097.

24. Omran A.A., Selem H.A., Alfauomy G.A. Evaluation of pan bread quality enriched with onion peels powder // Plant Archives. 2020. Vol. 20. No. 2. P. 9029.

25. Formulation and development of functionally enriched onion (*Allium cepa*) bread / R. Balakrishnaraja, V. Swetha, S. Srivigneswar et al. // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 47. P. 1835-1841.

26. Sagar N.A., Pareek S. Fortification of multigrain flour with onion skin powder as a natural preservative: Effect on quality and shelf life of the bread // Food Bioscience. 2021. Vol. 41. Article 100992.

27. Investigation of the anti-hyperglycemic and antioxidant effects of wheat bread supplemented with onion peel extract and onion powder in diabetic rats / S. Masood, A.U. Rehman, S. Bashir et al. // Journal of Diabetes & Metabolic Disorders. 2021. Vol. 20. P. 485-495.

28. El-Megeid A.A.E.AA, El-Marasy S.S., Mandor A.E.B.M. The effect of red onion peel and fortified bread with these peels on some nutritional and biochemical parameters in diabetic rats // European Chemical Bulletin. 2023. Vol.12. No 5. P. 3178-3192.

29. Onion skin - raw material for the production of supplement that enhances the health-beneficial properties of wheat bread / U. Gawlik-Dziki, K. Kaszuba, K. Piwowarczyk et al. // Food Research International. 2015. Vol. 73. P. 97-106.

Шайхиев И.Г., д-р. тех. наук, проф.,  
Сафиуллина И.Ф., аспирант;  
Хабибуллин Р.Э., д-р. тех. наук, проф.  
(КНИТУ, г. Казань, Россия)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛУКОВОЙ ШЕЛУХИ И ЭКСТРАКТОВ В МЯСНЫХ ИЗДЕЛИЯХ (КРАТКИЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

*Приведены данные зарубежных источников по использованию наружных оболочек (шелуха) лука репчатого (*Allium cepa*), а также экстрактов из них в качестве компонента в рецептурах мясных продуктов. Приведены сведения о составе шелухи лука и экстрактах, некоторых возможных направлениях ее использования. Показано, что добавление шелухи и экстрактов *Allium cepa* в мясные изделия, оказывает благоприятное воздействие на сенсорные, текстурные, антимикробные и антиокислительные характеристики.*

*Ключевые слова:* лук репчатый, *Allium cepa*, наружные оболочки, мясные продукты, компонент.

Лук репчатый (*Allium cepa*), является одним из наиболее широко культивируемых овощей на нашей планете. В настоящее время мировой объем производства репчатого лука составляет более ста миллионов тонн в год [1]. С годовым (2024 г.) объемом производства 93,23 млн. тонн, Китай является мировым лидером по производству лука. Европейские страны производят 9,3 % мирового объема выращивания, 66 % из которых приходится на ЕС, среди которых лидируют Испания и Нидерланды [2].

Сообщается, что годовое образование отходов лука только в ЕС достигает 500 тыс. тонн, в основном в странах со значительным производством лука, таких как Испания, Нидерланды и Великобритания. Утилизация отходов лука создает определенные проблемы для традиционных способов утилизации отходов овощей, а именно:

- твердые отходы лука нельзя использовать в качестве корма из-за специфического аромата или возможной токсичности;
- также его компостирование ограничено из-за высокой восприимчивости к росту фитопатогена *Sclerotium cepivorum* (белая гниль) и высокого содержания серосодержащих соединений;
- сжигание луковых отходов довольно дорого из-за высокого содержания влаги [2].

В этой связи, отходы лука, как отход производства сельскохозяйственной продукции, как правило выбрасывается, в лучшем случае на организованные площадки, где, сгнивая ухудшает экологическую обстановку в местах захоронения. Наружные оболочки луковиц, называемые в народе «луковая шелуха», составляют ~ 1% от массы луковицы и, как правило, также выбрасываются при чистке луковицы. Хотя в народе, как общеизвестно, отваром луковой шелухи окрашивают яйца на Пасху, саму шелуху кладут в лунки для посадки картофеля, перца и других сельскохозяйственных культур для отпугивания вредных насекомых.

Луковая шелуха, как и многие другие отходы биомассы, имеет ценность и значение благодаря своему потенциальному применению и вкладу в различные сектора, такие как текстильная и фармацевтическая промышленность. Кроме того, они могут использоваться для создания биоэнергетических процессов, таких как анаэробное сбраживание или сжигание, и могут способствовать производству возобновляемой энергии [3]. Известно также использование шелухи лука в качестве сорбционного материала для удаления различных поллютантов из водных сред [4].

Многогочисленными исследованиями определен комплекс БАВ в составе луковой шелухи [5, 6]. Так, в работе [7] определено, что в шелухе лука содержится 2,38 % протеинов, 0,53 % липидов, 69,9 % диетических волокон, 24,5 мг/г Са и 0,048 мг/г Fe. В этой же работе определено, что общее содержание полифенолов в луковой шелухе составляет 112,9 мг GAE/г, антиоксидантная активность по методу ABTS – 699,0 ммоль ТЕ/г, по методу ORAC-FL – 1782,0 ммоль ТЕ/г, способность ингибировать  $\alpha$ -глюкозидазу – 447,2 мкг/мл.

Кроме того, луковая шелуха, независимо от сорта, богата кверцетином и его производными, а также другими флавоноидами и пектином [8]. Определено, что общее содержание фенолов и флавоноидов в шелухе лука составило  $240,550 \pm 0,172$  мг/г эквивалента галловой кислоты и  $422,647 \pm 1,167$  мг/г эквивалента кверцетина, соответственно [9]. Химический анализ с помощью хромато-масс-спектрометрии выявил 23 соединения в экстрактах из шелухи лука, относящихся к фенольным кислотам и флавоноидам. Кверцетин был основным соединением во всех экстрактах, концентрация которого варьировалась от 14,91 мг/г в этанольном экстракте до 48,53 мг/г в метанольном экстракте [10]. Кверцетин составляет более 85% от общего количества флавоноидов в зрелом луке и, соответственно, большое его

количество находится в луковых отходах. Как показано многочисленными исследованиями, шелуха лука богата флавоноидами - кемпферолом и кверцетином, как в их агликонной, так и в гликонной форме. Кверцетин и другие типичные флавоноиды в выброшенных луковых отходах представляют интерес из-за их биоактивных свойств и потенциально полезных эффектов, поскольку могут проявляют антиоксидантную, противовоспалительную и противораковую активность. Были показаны противораковые свойства кверцетина а также его антиоксидантная и противовоспалительная активность. Также луковая шелуха характеризовалась высоким содержанием глюконов (около 38 %) и галактуроновой кислоты (33 %) [8].

В работе [11] определено, что шелуха лука сорта «NHRDF Red» содержала наибольшее количество сырого протеина - 5,97 г/100 г, золы - 12,24 г/100 г и клетчатки - 8,28 г/100 г, тогда как сорт «Pusa Red» обладал наибольшим количеством общего жира - 0,47 г/100 г, а максимальное количество углеводов составило 76,66 г/100 г. В работе [12] определено, что кожура лука сортов «Hissar-3» и «NHRDF Red» является лучшим источником флавоноидов и природных антиоксидантов. Общее содержание фенольных соединений в них составило 288,7 и 289,0 мг GAE/г, соответственно, флавоноидов – 160,2 и 168,8 мг QE/г, соответственно [12].

Содержание углеводов, золы, влажности, сырого протеина, жира и сырой клетчатки в луковой шелухе находились в диапазоне 64,32–76,66 %, 6,88–12,24 %, 6,27–13,23 %, 3,90–5,97 %, 0,30–0,47 % и 4,45–8,28 % соответственно [13].

Как показано многочисленными исследованиями, шелуха лука богата флавоноидами - кемпферолом и кверцетином, как в их агликонной, так и в гликонной форме. Были показаны противораковые свойства кверцетина а также его антиоксидантная и противовоспалительная активность. Экстракты луковой шелухи показали антимикробное действие против *Bacillus cereus*, которая представляет риск для безопасности пищевых продуктов, а также против грамотрицательных бактерий *Escherichia coli* и *Pseudomonas fluorescens* [14].

Учитывая комплекс БАВ и различные терапевтические действия, луковая кожура представляет несомненный интерес в качестве добавок в различные продукты питания для усиления нутрицевтических и фармацевтических свойств [2, 3, 5, 6, 15-18]. В настоящем обзоре кратко

приведена информация по использованию наружных оболочек лука и экстрактов из них в рецептуре мясных продуктов.

Так, в частности, исследовалось влияние добавки шелухи красного лука в количестве 1-3 % на цвет, окислительную стабильность липидов и белков, а также степень заражения микроорганизмами во время холодного хранения говяжьих котлет. Результаты показали, что добавление луковой шелухи снизило значения pH, L, а и b котлет и улучшило твердость, упругость, липкость и связность, но не оказало существенного влияния на жевательность изделий. Определено, что после 12 дней хранения, содержание карбонильных групп и тиобарбитуровой кислоты в котлетах с 3 % шелухи лука, было значительно ниже, чем в контрольной группе. Кроме того, добавление луковой шелухи значительно ингибировало увеличение содержания азота во время хранения говяжьих котлет. Авторами сделан вывод, что луковая шелуха имеет хорошие перспективы для исследований в качестве натурального антиоксиданта или консерванта [19].

В работе [20] исследовалось влияние добавки луковой шелухи в количестве 2-6 % в состав котлет из козьего мяса. Определено, что с увеличением содержания шелухи лука в рецептуре котлет, значения pH несколько уменьшается (с pH = 6,62 до pH = 6,34), водоудерживающая способность увеличивается (с 61,91 до 65,72), потери при жарке уменьшились с 5,11 % до 4,50 %, содержание влаги в котлетах уменьшилось с 43,8 % до 38,9 %, антиоксидантная активность увеличилась с 75,07 % до 78,02 %. Также зафиксировано улучшение органолептических показателей опытных котлет [20].

Изучалось влияние порошка луковой шелухи в количестве 1,5-6 % на некоторые химические и физические свойства приготовленных куриных котлет во время хранения в холодильнике (30 дней,  $4 \pm 1$  °C). Зафиксированы значительные изменения физических, химических, технологических и сенсорных свойств куриных котлет с добавлением луковой шелухи. Выявлено снижение значения влажности с 61,06 до 57,57 %, pH с 6,17 до 5,65 и тиобарбитуровой кислоты у сырых образцов при введении в рецептуру 6 % шелухи. Аналогичные зависимости выявлены у жареных котлет. Кроме того, использование луковой шелухи в составе котлет улучшило технологические показатели последних. Однако добавление шелухи лука привело к более темному цвету котлет. Сделан вывод, что луковую шелуху можно использовать в котлетах из куриного мяса для улучшения их качественных свойств [21].

Исследовалось влияние порошка луковой шелухи (1,25-5 %) на физические, химические и сенсорные свойства сырых и приготовленных котлет из куриного мяса. Котлеты были приготовлены из куриной грудки, говяжьего жира и различных специй. Их формовали в силиконовые формы, а затем сырые котлеты готовились при температуре 180 °С в течение 18 минут. Выявлено, что по мере увеличения содержания порошка луковой шелухи в котлетах, значения pH и влажности котлет снижались. Также с добавлением порошка шелухи лука значения L и b котлет уменьшались, а значение a увеличивалось. Влияние порошка луковой шелухи на жирность сырых котлет было значительным, тогда как влияние на жирность, выход готовки и уменьшение диаметра приготовленных котлет было незначительным. Определено, что котлета без порошка шелухи лука имеет наименьшую оценку по всем сенсорным критериям [22].

Также изучалось влияние добавления порошка луковой шелухи в колбасу, изготовленную из рыбного филе. Колбасы были разделены на четыре группы с различным количеством (1-3 %) добавленной луковой шелухи. Вареные колбасы восстанавливались в течение 28 дней при температуре 5 °С. Образцы анализировались на содержание тиобарбитуровой кислоты, антиоксидантную активность, общее содержание полифенолов, pH и органолептические свойства. Выявлено, что добавление шелухи лука значительно увеличивало антиоксидантную активность и общее содержание полифенолов и снижало pH. Полифенолы из луковой шелухи эффективно подавляли окисление липидов. Добавление 1–2 % шелухи *Allium cepa* улучшало сенсорные свойства колбас. После 28-дневного хранения контрольные образцы получили самую низкую сенсорную оценку из-за наличия сильного рыбного запаха, который отсутствовал в экспериментальных образцах. В целом результаты исследования показали, что добавление порошка луковой шелухи в количестве 1–2 % может продлить срок годности без ухудшения сенсорных свойств изделий [23].

Порошок луковой шелухи использовался при копчении мяса из сома (*Clarias gariepinus*). Оценивались химический состав, питательные и органолептические показатели мяса копченого сома, хранившемся в течение 8 недель при комнатной температуре. Луковой шелухой в концентрациях 2,5 г и 5 г/500 г посыпали образцы рыбы до и после копчения. Состав рыбы, законсервированной с помощью луковой шелухи, значительно отличался по сравнению с начальным и конечным анализом туши контрольной группы. Анализ выявил уменьшение



сырого белка с 49,84 % до 43,13 % и эфирного экстракт с 8,65 % до 5,55 % и увеличение зольности от 7,70 % до 8,20 % при добавлении максимальной в эксперименте дозировки луковой шелухи. С точки зрения органолептической оценки все средние значения образцов рыбы были выше 5. Контрольный образец мяса сома, имел превосходный вкус - 7,95 %, внешний вид - 7,60 %, аромат - 7,45 %, текстуру - 7,60 % и приемлемость - 7,85%. Образец с 5,0 г шелухи лука на 0,5 кг имел адекватные показатели [24]. Относительно часто в состав мясных изделий вводились экстракты из наружных оболочек луковиц. Так, в частности, корейскими исследователями изучалось влияние 50 и 100 см<sup>3</sup> экстракта из луковой шелухи/кг на антиоксидантную активность и качественные характеристики вяленого мяса. По мере увеличения количества добавленного экстракта, содержание белка и зольность увеличивалось, в то время как содержание жира уменьшалось. Что касается значений цвета, увеличение количества добавленного экстракта привело к увеличению значения L и значения b, но уменьшению значения a. Измерение механической текстуры показало, что твердость и связность мяса, содержание тиобарбитуровой кислоты уменьшались, а антиоксидантная активность увеличивалась по мере увеличения количества введенного экстракта. Показано, что увеличение количества добавленного экстракта привело к увеличению цвета мяса, вкуса, мясного аромата и жевательной способности и уменьшению постороннего привкуса. Установлено, что введение 50 см<sup>3</sup> экстракта является оптимальным для приготовления вяленой говядины которая также имеет превосходные качественные характеристики и антиоксидантную активность [25].

Также исследовалось комбинированное воздействие облучения электронным пучком (ЭП) и добавления экстракта луковой шелухи (ОП) и ароматизатора барбекю (БФ) на инактивацию пищевых патогенов и качество вяленой свинины. Подготовленные образцы вяленой свинины были облучены дозами 1, 2 и 4 kGy и хранились в течение 2 месяцев при температуре 25 °С. Значения D10 *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* и *Salmonella typhimurium*, наблюдаемые в образцах, обработанных экстрактом из луковой шелухи, составили 0,19, 0,18 и 0,19 kGy, тогда как в контроле они составили 0,25, 0,23 и 0,20 kGy, соответственно. Выявлено, что облученные образцы с добавлением экстрактов имели существенно более низкое общее количество аэробных бактерий, чем контрольный образец. Сенсорная

оценка показала, что общая приемлемость экспериментальных образцов не изменилась при облучении дозой до 2 kGy [26].

Также отмечается ингибирующее действие экстрактов из кожуры цитрусовых и луковой шелухи, лактата кальция и фосфитина на рост микроорганизмов в приправленном мясе куриной грудки во время аэробного хранения при 4 °С, 10 °С и 20 °С. Экстракты из кожуры цитрусовых и луковой шелухи значительно улучшили микробное качество образца за счет снижения начальных количеств микробной флоры по сравнению с контролем. Показано, что количество общих аэробных бактерий значительно увеличилось с повышением температуры хранения. Срок хранения всех образцов, хранящихся при 20 °С, составил менее 6 дней, в то время как срок хранения мяса после обработки экстрактами может быть продлен более чем на 9 дней при 4 °С и более чем на 6 дней при 10 °С в аэробных условиях хранения [27].

Исследовалось влияние введения экстракта из луковой шелухи в количестве 0,1-0,5 % на текстурные, цветовые и окислительные характеристики колбасы. Эксперименты проводились в течение 11 дней. Выявлено, что с увеличением срока хранения и количества введенного экстракта кислотное число несколько снижается, содержание тиобарбитуровой кислоты, твердость и эластичность изделия увеличивается. Выявлено, что добавление экстракта в количестве 0,5 % не только снижает окисление жирных кислот в составе колбасы, но и текстурные и цветовые характеристики изделия [28].

Изучалось влияние порошка кимчи (блюдо корейской кухни, представляющее собой остро приправленные квашеные овощи) и экстракта луковой шелухи на качественные характеристики эмульсионной колбасы, изготовленной с использованием облученной свинины. Эмульсионные колбасы были сформулированы с использованием 2 % порошка кимчи и/или 0,05 % экстракта луковой шелухи. Выявлено, добавление порошка кимчи увеличило красноту и желтизну эмульсионной колбасы. Добавление экстракта луковой шелухи снизило значение реактивных веществ тиобарбитуровой кислоты в колбасе. Определено, что добавление экстракта луковой шелухи приводит к снижению микробного числа.

Также изучалось влияние этанольного экстракта из луковой шелухи (ЭЭЛШ) на качество хранения охлажденных говяжьих котлет. Добавки экстракта к котлетам составили 0,01 %, 0,05 % и 0,10 %. Эти котлеты хранились при температуре 4 °С в течение 12 дней. В конце хранения, по сравнению с контролем, введение 0,1 % ЭЭЛШ эффективно снижало

содержание метмиоглобина и тиобарбитуровой кислоты на 30,89 % и 44,72 % соответственно. На 12-й день содержание карбонила увеличилось всего в 3,3 раза, что ниже, чем при контроле (в 4,5 раза). Антиоксидантные и антибактериальные эффекты ЭЭЛШ были основными причинами улучшения pH и а\*-стабильности котлет. Выявлено, что добавление экстракта не оказало существенного влияния на потери при приготовлении и свойства текстуры, за исключением твердости и упругости. Определено, что введение 0,1 % ЭЭЛШ могло продлить срок хранения говяжьих котлет до 9 дней.

Экстракт из луковой шелухи оценивался как натуральный антиоксидант и антимикробный агент для продления срока годности филе радужной форели. Рыбное филе было обработано 5 и 10 % экстракта. Выявлено, что самые низкие показатели количества бактерий были получены в группе, обработанной 10 % экстракта. Срок годности рыбы составил 6, 12 и 14 дней для контрольной группы и образцов, содержащих 5 % и 10 % экстракта из шелухи лука, соответственно. Результаты показали, что экстракт из луковой шелухи способствовал поддержанию окислительного, микробиологического и сенсорного качества филе радужной форели во время хранения.

Таким образом, в данном обзоре показано, что введение измельченного порошка луковой шелухи или ее экстрактов в рецептуру мясных изделий в большинстве своем способствует улучшению текстурных, сенсорных, антиокислительных, микробиологических показателей изделий из мяса.

### **Библиографический список**

1. Jaganmohanrao L. Valorization of onion wastes and by-products using deep eutectic solvents as alternate green technology solvents for isolation of bioactive phytochemicals // Food Research International. 2025. Vol. 206. Article 115980.
2. Onion solid waste as a potential source of functional food ingredients / A.V. Cebin, D. Šeremet, A. Mandura et al. // Engineering Power: Bulletin of the Croatian Academy of Engineering. 2020. Vol. 15. No 3. P. 7-13.
3. Valorization of onion peel waste: From trash to treasure / A. Bains, K. Sridhar, B.N. Singh et al. // Chemosphere. 2023. Vol. 343. Article 140178.
4. Shaikhiev I.G., Kraysman N.V., Sverguzova S.V. Onion (*Allium Cepa*) processing waste as a sorption material for removing pollutants from aqueous media // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2022. Vol. 12. No 3. P. 3173-3185.
5. Onion (*Allium cepa* L.) peel: A review on the extraction of bioactive compounds, its antioxidant potential, and its application as a functional food ingredient /

M. Kumar, M.D. Barbhai, M. Hasan et al. // *Journal of Food Science*. 2022. Vol. 87. No 10. P. 4289-4311.

6. Nutritional profile, phytochemical compounds, biological activities, and utilization of onion peel for food applications: a review / I. Shabir, V.K. Pandey, A.H. Dar et al. // *Sustainability*. 2022. Vol. 14. Article 11958. P. 1-15.

7. Potential of onion byproducts as a sustainable source of dietary fiber and antioxidant compounds for its application as a functional ingredient / J. Báez, G. Marra, V. Olt et al. // *Biology and Life Sciences Forum*. 2023. Vol. 26. No 1. Article 67. P. 1-6.

8. Identification of phenolics and structural compounds of different agro-industrial by-products / O. Benito-Román, R. Melgosa, J.M. Benito, M.T. Sanz // *Agriculture*. 2025. Vol. 15. No 3. Article 299. P. 1-18.

9. Effectiveness of onion (*Allium cepa* L.) skin in human health / N. Banerjee, S. Biswas, C.M. Hossain, P. Basak // *Contemporary Medical Biotechnology Research for Human Health*. 2022. P. 115-125.

10. Onion peel as a potential source of antioxidants and antimicrobial agents / N. Joković, J. Matejić, J. Zvezdanović et al. // *Agronomy*. 2024. Vol. 14. No 3. Article 453. P. 1-16.

11. Physicochemical and thermal characteristics of onion skin from fifteen Indian cultivars for possible food applications / N.A. Sagar, A. Khar, Vikas et al. // *Journal of Food Quality*. 2021. No 1. Article 7178618. P. 1-11.

12. Sagar N.A., Pareek S., Gonzalez-Aguilar G.A. Quantification of flavonoids, total phenols and antioxidant properties of onion skin: A comparative study of fifteen Indian cultivars // *Journal of Food Science and Technology*. 2020. Vol. 57. P. 2423.

13. Bioactive phytochemicals from onion (*Allium cepa* L.) by-products / C.X. Tan, S.S. Tan, H.L. Tan, S.T. Tan // *Bioactive Phytochemicals in By-products from Bulb, Flower and Fruit Vegetables*. 2025. P. 85-96.

14. Waste streams in onion production: Bioactive compounds, quercetin and use of antimicrobial and antioxidative properties / I.G.O. Črnivec, M. Skrt, D. Šeremet et al. // *Waste Management*. 2021. Vol. 126. P. 476-486.

15. Chadorshabi S., Hallaj-Nezhadi S., Ghasempour Z. Red onion skin active ingredients, extraction and biological properties for functional food applications // *Food Chemistry*. 2022. Vol. 386. Article 132737.

16. A comprehensive review on bioactive compounds, health benefits, and potential food applications of onion (*Allium cepa* L.) skin waste / F. Stoica, R.N. Rațu, I.D. Veleșcu et al. // *Trends in Food Science & Technology*. 2023. Vol. 141. Article 104173.

17. Sustainable valorization of onion (*Allium cepa* L) skin as a resource for value-added products: A comprehensive review / S.K. Kyei, W.I. Eke, A.J. Frimpong et al. // *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2025. Vol. 44. Article 101942.
18. Onion (*Allium cepa* L.) skin waste for industrial applications: A sustainable strategy for value addition and circular economy / S.K. Kyei, A.J. Frimpong, E.S. Agorku et al. // *Bioresource Technology Reports*. 2025. Vol. 29. Article 102094. P. 1-16.
19. Effect of onion skin powder on color, lipid, and protein oxidative stability of premade beef patty during cold storage / C. Wang, Y. Wang, Y. Song et al. // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. No 1. Article 20816. P. 1-11.
20. Tiarani A.R., Evanuarini H., Jaya F. Physical and organoleptic quality of goat meat patties using red onion peel (*Allium cepa* L.) powder // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2025. (Vol. 1460. No. 1. Article 012028. P. 1-8.
21. Şükrü K., Ceylan H.G., Akkoç A. The effects of onion skin powder on the quality of cooked chicken meat patties during refrigerated storage // *Acta Alimentaria*. 2019. Vol. 48. No 4. P. 423-430.
22. Şükrü K., Ceylan H.G. The effect of onion skin powder on the quality of raw and cooked chicken meat patties // *Young Scholars Union*. 2017. P. 34-40.
23. Onion peel powder as an antioxidant-rich material for sausages prepared from mechanically separated fish meat / J. Bedrniček, J. Kadlec, I. Laknerová et al. // *Antioxidants*. 2020. Vol. 9. No 10. Article 974. P. 1-17.
24. Effects of onion peel wastes on nutritional and organoleptic quality assessment of smoked *Clarias gariepinus* / S.O. Sule, S.S. Ashley-Dejo, O.T. Oyetunji et al. // *Journal of Aquatic Sciences*. 2023. Vol. 38. No 2. P. 253-261.
25. Jung E.Y., Sim K.H. Antioxidant activities and quality characteristics of beef jerky supplement with onion peel extract // *The Korean Journal of Food and Nutrition*. 2019. Vol. 32. No 1. P. 11-26 (на корейском).
26. Improvement of microbiological safety and sensorial quality of pork jerky by electron beam irradiation and by addition of onion peel extract and barbecue flavor / H.J. Kim, S. Jung, H.I., Yong et al. // *Radiation Physics and Chemistry*. 2014. Vol. 98. P. 22-28.
27. The effect of citrus and onion peel extracts, calcium lactate, and phosvitin on microbial quality of seasoned chicken breast meat / A.U. Alahakoon, Y.S. Bae, H.J. Kim et al. // *Korean Journal of Agricultural Science*. 2013. Vol. 40. No 2. P. 131-137.
28. Effect of onion peel extract on antioxidant and quality of western sausage / M. Xu, N. Chen, B. Mu et al. // *Food and Machinery*. 2017. Vol. 33. No 8. P. 155-158 (на корейском).

## СЕКЦИЯ 5. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В АНТРОПОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 579.66:579.222.2:678-036.5

Бадибанга Янник, магистрант,  
Жиленко В.Ю., канд. биол. наук, доцент  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

### МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТМАССОВЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕСПУБЛИКИ КОНГО

*В статье проводится анализ существующих методов биоразложения пластмассовых материалов. Приводится состав микроорганизмов, которые могут стать решением в загрязнении окружающей среды Республики Конго.*

*Ключевые слова: Республика Конго, микроорганизмы, пластмассовые материалы.*

В Демократической Республике Конго проблема засорения мусором является серьезной. Пластиковые отходы, в частности, забивают гидроэлектростанции, нарушая их работу. Художники в стране используют мусор для создания произведений искусства, выражая протест против расточительства и превращения страны в свалку [1]. Наиболее распространенные пластики производятся из нефтепродуктов – это полиэтилен (ПЭ), поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилентерефталат (ПЭТ), полипропилен (ПП) и полистирол. (ПС). Эти материалы наиболее часто используются в бытовых и промышленных целях, оставаясь устойчивыми к биоразложению. Тем не менее, несмотря на то, что пластики являются неприродными биополимерами, к их разложению способны микроорганизмы, обладающие ферментативными механизмами, воздействующими на сложные природные субстраты. Биоразлагаемость их зависит от вида пластика и от степени кристаллизации их молекул.

Так, известно, что к разложению ПЭ способны лигнолитические микроорганизмы, продуцирующие лакказы, марганец-содержащие пероксидазы и лигнин-пероксидазы — ферменты, расщепляющие фенол-содержащие звенья лигнина, а также продуценты алкан-оксидаз и алкан-монооксигеназ, разлагающих алифатические углеводороды. ПЭТ – наиболее распространенный полимер класса полиэфиров — разлагают микроорганизмы-продуценты

полиэстераз, и карбоксиэстераз, причем с повышением температуры этот процесс ускоряется. [2,3,4].

Одним из самых известных видов для разложения пластика являются *Ideonella sakaiensis*, которые были обнаружены на свалке пластиковых отходов в Японии в 2016 году.

Эти бактерии способны разлагать полиэфирный пластик, который используется в производстве бутылок для напитков и других изделий. Бактерии из родов *Pseudomonas* и *Bacillus*: они могут разлагать все основные виды пластика и много других полимеров и ксенобиотиков вообще. Из почв свалок нами были выделены микроорганизмы, которые разлагали полиэтиленовые пакеты, а также находившиеся на поверхности пластиковых бутылок.

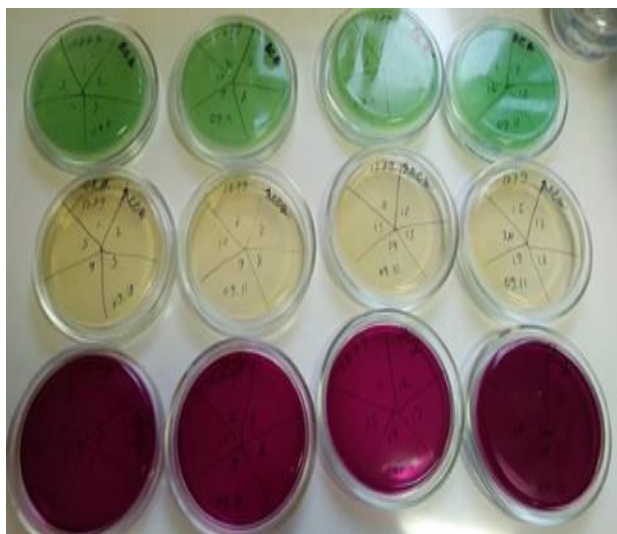


Рис.1. Выделенные микроорганизмы

В данный момент продолжается идентификация микроорганизмов по биохимическим свойствам и серологическим реакциям, данное исследование, безусловно, является актуальным.

### Библиографический список

1. Галицкая, И.В. Экологические проблемы обращения и утилизации бытовых и промышленных отходов // Геоэкология. – 2005. – № 2. – С. 144–147.
2. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М. : МГУ, 1998. - 352 с.
3. Медицинская микробиология, вирусология и иммунология: учеб. в 2-х т. Т. 2 / под ред. В. В. Зверева. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. – 448 с.
4. Микробиология, вирусология: руководство к практическим занятиям [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Зверев В.В. [и др.]; под ред. В.В. Зверева, М.Н. Бойченко - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 360 с. – Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970434956.htm>.
5. Общественный экологический проект EcoLife : Проблема ТБО, комплексный подход. 2008. URL: <http://www.ecolife.ru/education/après/tbo/gll.php> (дата обращения: 20.04.2014).
6. Определитель бактерий Берджи : в 2 т. / под ред. Дж. Хоулта [и др.]. М. : Мир, 1997.
7. Пилунов Г. А., Михитарова З. А., Цейтлин Г. М. Переработка отходов полиэтилентерефталата // Химическая промышленность. 2001. № 6. С. 22–26.
8. Прикладная экобиотехнология : учеб. пособие : в 2 т. / А. Е. Кузнецов [и др.]. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. Т. 1. 629 с. Атлас по описательной морфологии высших растений / А.А. Федоров, М.Э. Кирпичников, З.Т. Артюшенко. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 354 с.
9. Сизенцов, А. Антибиотики и химиотерапевтические препараты: учебник / Сизенцов А., Мисетов И. А., Каримов И. Ф. // ОГУ, 2012. - 489 с.
10. Эстафетные механизмы в процессах перекисного окисления липидов биологических мембран». / И.И. Иванов // Успехи биологической химии. - М.: Наука, 1984. - Т. 25.-С. 110-124.



## **К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕКРЕАЦИОННОГО РЕГИОНА**

*Управление экологической безопасностью любой территории, включая рекреационный регион, предполагает разработку стратегии с учетом задач управления экологической безопасностью. Особое место в числе таких задач стоит подход к разработке экологически направленной стратегии развития региона. Представлены подходы к обоснованию сущности и видов экологических стратегий. Представлены стратегии для рекреационного региона.*

*Ключевые слова: рекреационный региона, экологические стратегии развития региона.*

Комплекс проблем обеспечения рационального природопользования требует разработки и реализации мер и мероприятий различного уровня. Развитие процесса децентрализации государственного управления, расширяющего полномочия региональных и местных органов власти и повышение уровня автономности в принятии решений, создали предпосылки для выделения стратегических аспектов регионального и местного управления, как самостоятельной сферы анализа, разработки и реализации управленческих воздействий. В связи с тем, что расширение полномочий нижележащих уровней власти, в определенный период становления не оформлялось должным образом законодательно, в деятельности региональных органов власти преимущественно внимание концентрировалось на текущих задачах. По сути, задачи, реализуемые в рамках стратегического управления, тесно связаны с вопросами обеспечения устойчивого развития, как целью современного общества. Важным аспектом в этой концепции являются задачи рационального природопользования в антропогенных условиях. При этом, стратегическое управление, учитывающее влияние экологической составляющей, способно сформулировать подходы к решению одновременно двух проблем осуществления деятельности: снижение отрицательного воздействия производственной деятельности на окружающую природную среду и обеспечение уровня

конкурентоспособности региона через достижение требуемых экологических характеристик товаров (услуг, благ); соблюдение экологических требований к потенциалу предприятий и региону в целом. Стратегическое управление предполагает разработку, конкретизацию и организацию процесса реализации в том числе и экологической стратегии или набора стратегий [1-3]. При обосновании возможных экологических стратегий региона, следует учитывать сущность процессов производства, потребления и их связи с состоянием окружающей природной среды. Потребление общества связано не только с производственными, но и внутренними мотивационными процессами, а также с формируемыми культурными ценностями, как в социальных установках, так и экономической сфере. Следовательно, экологизация хозяйственной деятельности связана с экологизацией сознания в самом общем смысле. При этом должно быть сформировано особое видение стратегических действий, которые формируются с учетом комплекса экологического мировоззрения и поэтому имеются определенные отличия от общепризнанных базовых принципов в экономическом контексте. Обоснование возможных видов стратегий 'экологической направленности основывается на сущности эколого-экономической системы, в которой проявляется влияние общества на окружающую природную среду через экономику в целях удовлетворения системы потребностей, а также на возможностях метода анализа иерархий (МАИ) [4]. Данный метод позволяет обосновать многокритериальные решения для систем с иерархическими структурами, включая экологические и иерархия может описываться:

пусть  $H$  – конечная частично упорядоченное множество, наибольший элемент которого равен  $b$ .  $H$  – является иерархией, если выполняются следующие условия: существует разбиение  $H$  на подмножестве,  $L_k$ ,  $k = 1, \dots, h$ , где  $L_1 = \{b\}$ ; из  $x \in L_k$ , вытекает,

что  $x^- \in L_{k-1}$ ,  $k = 1, \dots, h-1$ ; из  $x \in L_k$ , вытекает, что

$x^+ \in L_{k+1}$ ,  $k = 1, \dots, h-1$ . Для каждого  $x \in H$ , существует такая функция, зависящая от проблемы, для которой вводится иерархия

$\omega_x : x^- \rightarrow [0, 1]$ , где  $\sum_{y \in x^-} \omega_x(y) = 1$ . Множества  $L_i$  – уровни

иерархии, а функция  $\omega_x$  – функция приоритета элемента одного уровня

с целью  $x$ . Иерархия считается полной, если для всех  $x \in L_k$ , множество  $x^+ \in L_{k-2}, k = 2, \dots, h$



Рис. 1. Иерархическая модель системы экологической безопасности региона

При этом метод МАИ позволяет учесть неравнозначное влияние факторов на процесс достижения цели системы - предполагает разную степень воздействия, что возможно выявить последовательно сравнивая решения с целями последующего уровня системы. На практике декомпозицию иерархии выполняют в зависимости от целей, ресурсов, находящихся под влиянием совокупности факторов, которая, в свою

очередь, также испытывает влияние другой совокупности, поэтому в результате возможно получить приоритеты при формировании стратегической перспективы. В формализованной форме это будет иметь следующий вид: для системы экологической безопасности региона имеем цель – *b устойчивое развитие региона* при наличии множества основных видов воздействий по его обеспечению. Пусть эту систему можно представить как иерархию с максимальным элементом  $b$  и нижним уровнем  $L_n$ , тогда функции приоритетов:

$$\omega_z : Y \rightarrow L_n \quad [1,0] \quad \text{и} \quad \omega_j : X \rightarrow [1,0],$$

$$j = 1, \dots, n_{k+1}.$$

где  $Y = \{y_1, \dots, y_{mk}\} \subset L_k$  и  $X = \{x_1, \dots, x_{mk+1}\}$ , существует элемент  $z \in L_{k+1}$ , такой, что  $y \in z^-$ . В качестве основы стратегической перспективы экологической направленности должна выступать цель сокращения воздействия на природную среду как результат реализации принципов экологизации: оптимизация потребления природных ресурсов; повышение эффективности использования природных ресурсов; минимизация негативного влияния на природные системы, реализация которых должна быть обеспечена рядом действий [5]. В качестве экологических стратегий могут быть признаны следующие [6]:

1. Экологическая стратегия снижения антропогенного давления на природные комплексы: в рамках экологической стратегии прекращается или ограничивается производство отдельных продуктов требующих дефицитных природных ресурсов, что предусматривает реализацию программ замены продуктов, на продукты менее материалоемкие; обеспечение вторичного использования отходов сырья, отработанных или потребленных продуктов (включая переработку ТКО). В рассматриваемой экологической стратегии реализуется принцип сокращения (оптимизации) привлечения природных ресурсов из среды.

2. Экологическая стратегия повышения эффективности использования природных ресурсов: предполагает совершенствование всех технологических процессов с целью существенного увеличения коэффициента использования сырьевых ресурсов и коэффициента полезного действия. В рамках данной экологической стратегии

реализуется принцип повышения эффективности использования природных ресурсов среды.

3. Экологическая стратегия перехода к экологически чистому производству, в рамках которой обеспечивается минимизация негативного техногенного воздействия на окружающую природную среду путем: радикального изменения технологии – создание так называемого «чистого производства» (низко- или безотходная технология), «чистой» номенклатуры выпускаемой продукции и применяемого сырья (продукция не несет экологической опасности); формирования между предприятиями производственных цепей, реализующих кругооборот потоков сырья и отходов с учетом экологического потенциала окружающей природной среды; через сокращение отрицательного воздействия на состояние природной среды со стороны группы предприятий за счет кооперирования их деятельности в совместном решении экологических проблем по ресурсосбережению и минимизации отходов. Сформированные виды экологических стратегий могут являться основой экологической политики, как региональных систем управления, так и отдельного экономического субъекта. Однако следует подчеркнуть, что для полного учета экологического аспекта необходим комплексный стратегический анализ особенностей видов деятельности и состояния экосистемы региона: оценка уровня экологической безопасности региона в динамике; анализ экологических последствий природопользования при производстве продукции и реализации принимаемых управленческих решений; анализ эффективности используемых инновационных экологически безопасных производственных процессов; анализ возможностей совершенствования технологии производства в части снижения его аварийности, степени технологического риска, энерго- и материалоемкости, количества и токсичности выбросов; анализ возможностей использования биопозитивных технологических решений, способствующих сохранению природы; оценка объектов, которые могут в перспективе нанести ущерб окружающей природной среде и анализ соответствующих решений, направленных на предотвращение или снижение ущерба по результатам экологического мониторинга; анализ возможностей вторичного применения отходов производства, обеспечение экологической совместимости всех производств компании. Относительно рекреационного региона стратегические альтернативы формируются с учетом особенностей

рекреационной деятельности - необходимость функционирования физиологической, социальной и экономической составляющей. Концептуально, при построении целостной стратегической перспективы развития рекреационного региона необходимо обеспечить сбалансированное взаимодействие природных, технических и социальных подсистем, формирующих среду, соответствующую санитарно-гигиеническим, эстетическим и материальным потребностям человека при сохранении природно-ресурсного потенциала. При этом для рекреационной зоны оценки возможных изменений экологических балансов территории имеют особое значение, поскольку результаты исследований должны обеспечить основу стратегических перспектив при реализации принципа «Не навреди ни рекреанту, ни окружающей природной среде». Для рекреационной территории в процессе формирования стратегических перспектив необходимо: во-первых, учитывая влияние на природную среду в целом и на рекреационные ресурсы в частности (возможные выбросы, дисбаланс состояния окружающей среды и др.) возможных видов деятельности (включая имеющиеся потенциально опасные не рекреационные производства) и только после этого оценивать целесообразность создания новых и развития имеющихся техногенных составляющих рекреационного комплекса (учреждений рекреации, предприятий инфраструктуры и др.) на отдельной территории; во-вторых, с территорий, которые урбанистически перегружены или имеют высокий уровень угроз экологической безопасности предусматривать перераспределение производительных сил, включая рекреационные объекты, чтобы снизить влияние на природные комплексы; в-третьих, следует учитывать особенности проявления влияния экологических угроз на население региона - местных жителей и рекреантов, имеющих объективные различия в состоянии организма. Данный подход к развитию системы управления экологической безопасностью рекреационного региона основан на учете особенностей рекреационной деятельности в регионе, которые формируют техногенные угрозы экологической безопасности, что являлось основой обоснования для рекреационно-экономической деятельности следующих стратегических перспектив в соответствии с видами экологических стратегий. Экологическая стратегия снижения антропогенного давления на природные комплексы возможна в форме «экологической стратегии стабилизации рекреационной деятельности» - поддержание достигнутого уровня эффективности функционирования

рекреационных предприятий как по видам, так и по объемам услуг в объемах адекватных рекреационным ресурсам региона. Экологическая стратегия повышения эффективности использования природных рекреационных ресурсов в двух формах: «экологическая стратегия концентрированного развития рекреации»; повышение эффективности деятельности в рекреационном регионе по объемам, видам, уровню рекреационных услуг через концентрацию предприятий на отдельных видах рекреационной деятельности без изменения и/или с изменением номенклатуры услуг; «экологическая стратегия изменения специализации» – реализуются меры по сокращению видов не рекреационной деятельности при развитии именно рекреационной специализации. Экологическая стратегия перехода к экологически чистому производству для рекреационного региона предполагает закрытие опасных производств в непосредственной близости от рекреационных зон, внедрение безотходных технологий жизнеобеспечения в целом. Для реализации целей каждого вида экологической стратегии разрабатываются функциональные (поддерживающие) стратегические решения [5]. Для рекреационных территорий Крыма разработка стратегий экологической направленности основывается с учетом результатов оценки уровня экологической безопасности как по интегральным показателям экологической безопасности по снижению попадания антропогенных веществ в среду и по снижению степени изменения природной среды, так и по результатам оценки тенденций изменения частных параметров [7]. Рассматривая аргументацию по возможности обоснования форм экологических стратегий для рекреационного региона Крыма, следует отметить следующее. Одной из альтернатив развития для территориальных рекреационных зон может быть признана «экологическая стратегия концентрированного роста». В ее рамках осуществляется ориентация на увеличение объемов оказываемых рекреационных услуг, что может позволить увеличить мощности на первом этапе и наращивать их в перспективе за счет получаемых финансовых результатов. Также следует учитывать, что за длительный период в Крыму сложилась зональная специализация рекреационного комплекса, при которой в отдельных городах или населенных пунктах организовывался лишь недорогой оздоровительный семейный отдых, на других территориях развивалось санаторно-курортное обслуживание в соответствии с имеющимися рекреационными ресурсами, параллельно создавались зоны элитного туризма. Экологическая

стратегия концентрированного роста перспективна для традиционно популярных рекреационных зон (включая туристические потоки как национального, так и международного уровня), в которых совершенствование индустрии позволит выйти на качественно новый уровень функционирования. Однако, учитывая действие экологической доминанты при обосновании стратегии развития в рекреационной сфере, необходима реализация сбалансированных мер по обеспечению экологической безопасности территориальных экосистем (естественно на отдельно исследуемой территории требуют решения различные экологические аспекты).

Обоснование целесообразности реализации экологической стратегии концентрированного роста для Юго-восточной природно-рекреационной прибрежной зоны (от пос. Морское, г. Судак, до г. Феодосия) строится на учете уровня развития рекреационной сферы и уровня экологической безопасности. В данной прибрежной зоне плотность рекреантов практически в 4 раза ниже, чем на Южном берегу Крыма, но отмечается устойчивая тенденция к росту посещаемости в сезон. Кроме того, отмечаются высокие показатели уровня экологической безопасности, хотя отмечается определенное снижение экологической безопасности по тенденции показателей, что требует финансирования экологических мер за счет рекреационных предприятий в случае их развития и поэтому возможно повышать объемы и качество услуг при всестороннем контроле уровня воздействия рекреации на природные системы. Основой выбора «экологической стратегии стабилизации» для территориального рекреационного комплекса является осознание необходимости защиты позиций хозяйствующих субъектов на рекреационном рынке без роста объемов рекреационных услуг. Такой стратегический выбор в условиях действия экологической доминанты целесообразен, когда отмечается значительная загрузка рекреационных ресурсов и возможно совершенствование рекреационных услуг без увеличения мощностей предприятий рекреации.

Нарушение баланса «ресурсы-объемы рекреационной деятельности» в регионе могут привести как к резкому снижению качества предоставляемых услуг, так и к критическим изменениям в состоянии территории, которые потребуют значительных затрат на мероприятия по их устранению. В рамках данной стратегии на территории не должно предполагаться создание новых и расширение имеющихся объектов рекреации и инфраструктуры. При этом данная



форма экологической стратегии для рекреационной зоны предполагает ориентацию на поддержание экологической безопасности территории, а также сохранение уровня занятости, стабилизацию социальных процессов, посредством обеспечения повышения привлекательности рекреационного комплекса за счет поддержания уникальности и качества услуг в имеющихся объемах. Поскольку экологическая стратегия с такими целями целесообразна для территории, которая обладает уникальными рекреационными ресурсами, используемыми сегодня на допустимом уровне нагрузки, то такая стратегическая перспектива может быть определена для Южнобережной рекреационной зоны (включает территорию горсоветов Б.Ялты и Б.Алушты).

Характеристики природной системы зоны соответствуют I категории рекреационных систем при высокой плотности рекреантов, что является отражением высокой степени рекреационной привлекательности данной зоны.

Нагрузка на рекреационные ресурсы значительная, поэтому необходимо повышать уровень эффективности использования ресурсного потенциала за счет инновационных энергосберегающих и экологически чистых технических и технологических решений без увеличения мощности материальной базы рекреации в данной зоне Крыма.

Экологическая стратегия стабилизации целесообразна и для территории г. Евпатории и г. Саки, которые являются бальнеогрязевыми курортами с высокой плотностью рекреантов.

Уровень экологической безопасности в данной зоне по обобщающим показателям ниже, чем на Южном берегу, но практически стабилен, что можно оценить с одной стороны положительно, с другой - отметить наличие проблем высокой нагрузки на природные комплексы, в том числе и рекреационных потоков.

Именно поэтому целесообразно стабилизировать объемы используемых рекреационных ресурсов еще и потому, что в данной зоне следует выделять угрозы экологической безопасности в части угроз здоровью людей в виду высокой плотности именно больных, приезжающих на лечение (причем присутствует значительное число рекреантов с ограничениями двигательных функций, на лечение которых ориентированы санаторные комплексы). «Экологическая стратегия изменения специализации» для территорий, имеющих рекреационные ресурсы, но традиционно развивавших другие виды

деятельности, реализует принцип структурных изменений территориального комплекса в меняющихся условиях функционирования.

Так, в Крыму отмечаются территории, на которых имеются значительные, часто неповторимые рекреационные ресурсы, хотя эти территории традиционно задействованы в сельскохозяйственном производстве.

Однако, в условиях коренного реформирования АПК и оценки уровня эффективности ведения сельского хозяйства на таких территориях следует рассмотреть возможность изменения в целом или частично специализации в направлении ориентации на сельский туризм, охоту как отдых, бальнеологические курортные услуги и другие виды восстановления здоровья и состояния трудового потенциала нации. Обобщая, следует отметить, что стратегии развития территории без учета обеспечения экологической безопасности на рекреационных территориях не смогут решить комплекс проблем как социально-экономического плана, так и экологического.

### **Библиографический список**

1. Томпсон А.А. Стратегический менеджмент. Искусство разработки и реализации стратегии: Учебник для вузов / Пер. с англ. под ред. Л.Г. Зайцева, М.И. Соколовой / Томпсон А.А., Стрикленд А.Дж.. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. - 576 с.
2. Минсберг Г. Школы стратегий: Пер. с англ. / Минсберг Г., Альстрэнд Б., Лэмпел Дж. – СПб.: Издательство «Питер», 2001.- 688 с.
3. Виханский, О.С. Стратегическое управление / О.С. Виханский. – изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Издательство: Гардарики; 2003. - 296 с.
4. Михалевич М. Замечания к дискуссии Дж. Дайера и Т. Саати / Михалевич М. // Кибернетика и системный анализ. – 1994. - № 1. - С. 1-6.
5. Ветрова Н.М. О типах и иерархии стратегий / Н.М. Ветрова // Экономика и управление. – 2003. – №5-6. –С.11-14.
6. Ветрова Н.М. Сущность стратегий экологической направленности для рекреационных территорий /Н.М. Ветрова // Строительство и техногенная безопасность. –2007. - Вып. 18. – С.130-134.
7. Гайсарова А.А. Особенности системы управления экологической безопасностью региона / А.А. Гайсарова, Н.М. Ветрова // Экономика строительства и природопользования – 2019. – №3 (72). – С.35–44.

Джиколум Рональд, магистрант  
Латыпова М.М., доц., канд. хим. наук  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## **О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ ЧАД МЕТОДОВ БИОРЕМЕДИАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

*Рассмотрены экологические почвенные проблемы нефтедобычи в Республике Чад: отсутствие системы контроля качества почв, и возможность использования методов биоремедиации для очистки почв от нефтепродуктов*

*Ключевые слова: почвенные проблемы нефтедобычи, биоремедиация, красные ферраллитные почвы, климатические условия*

В настоящее время прогнозные ресурсы нефти в Чаде оцениваются в 1 млрд т, а доказанные запасы – 274 млн т. Перспективы нефтегазоносности Чада связаны в первую очередь с нефтегазоносными бассейнами Чадский и Доба (Шари), а также с нефтегазоносным бассейном Куфра. Здесь в районе Добы уже давно были разведаны богатые нефтяные месторождения: проектная добыча на них нефти составляет 400 тыс. барр. в сутки, а запланированная эксплуатация в течение 30 лет. Почва – это живой сложный организм, в котором постоянно происходят биологические и химические процессы. Почвенные процессы различаются в зависимости от климатических, гидрологических, экологических условий региона, биологического мира и агрохимических и агрофизических свойств почвы. Природные и антропогенные факторы постоянно влияют на почву, что, в свою очередь, изменяет ее свойства. В частности, углеводороды нефти являются одними из основных загрязнителей окружающей среды и почвенного покрова. Его химические эффекты изменяют морфологические, физические, физико-химические, агрохимические, микробиологические, биохимические и биологические свойства почвы, что приводит к снижению плодородия почвы. Красные ферраллитные почвы Республики Чад обладают большой мощностью почвенного профиля и постепенным переходом между генетическими горизонтами, а также имеют облегченный гранулометрический состав верхней части профиля. Основу валового химического состава красных ферраллитных почв Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. Вып.

99. Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, 99 146 составляют  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , которые по глубине почвенного профиля варьируют в пределах 61,83–82,73 %, 3,50–6,40 % и 11,46–29,25 % соответственно. Почвы характеризуются низкой емкостью катионного обмена (6,6–11,1 смоль (экв)/кг. Среди обменных катионов определяющим является кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ ). В верхних почвенных слоях содержание гумуса составляет 1,53–1,66 %. Загрязнение почвенного покрова нефтью варьируется в зависимости от различных факторов и в зависимости от количества нефти в почве подразделяется на следующие уровни: незагрязненные почвы 1,0 г/кг; слабозагрязненные почвы 1,0–5,0 г/кг; умеренно загрязненные почвы 5–12 г/кг; сильно загрязненные почвы 12–25 г/кг; очень сильно загрязненные почвы более 25 г/кг. Естественное восстановление плодородия почв при загрязнении нефтью происходит значительно дольше, чем при других техногенных загрязнениях. Резко изменяется водопроницаемость вследствие гидрофобизации, структурные отдельности не смачиваются, а вода как бы "проваливается" в нижние горизонты профиля почвы; влажность уменьшается. Как следствие этого - выпадение одного из главных звеньев ценоза – растительности [1]. Нефть и нефтепродукты вызывают практически полную депрессию функциональной активности флоры и фауны. Ингибируется жизнедеятельность большинства микроорганизмов, включая их ферментативную активность. Управление процессами биodeградации нефти должно быть направлено, прежде всего, на активизацию микробных сообществ, создание оптимальных условий их существования [2]. Отмечается большая неоднородность распределения нефтяных компонентов в почвах разных участков нефтепромыслов, что зависит от физических и химических свойств конкретных почвенных разностей, качества и состава поступившей нефти [3]. В результате этого условия самоочищения окружающей среды от токсичных органических веществ техногенного происхождения в ландшафтных зонах и областях Республики Чад различны [4]. Попадая в почву, нефть увеличивает общее количество углерода. В составе гумуса возрастает нерастворимый остаток, что является одной из причин ухудшения плодородия. Это, в свою очередь, наносит ощутимый экономический ущерб земледелию [5]. Возрастает отношение C:N. Ухудшается азотный режим [6], что в случае рекультивации требует внесения повышенных доз азотных удобрений [7]. На окисление 1 г нефти требуется 80 мг азота и 8 мг фосфора [8, 9]. Рекомендуется вносить

массированные дозы органических удобрений, что повышает биохимическую и микробиологическую активность почв, быстрее снижает количество остаточной нефти, чем при внесении одних минеральных удобрений [10]. Почва, обладая свойством дисперсного гетерогенного тела, действует как хроматографическая колонка, в которой происходит послойное перераспределение компонентов нефти. Показано, что угнетение растений начинается, когда количество нефтяных углеводородов (УВ) в почве становится выше  $1 \text{ кг/м}^2$ .

И.Г.Калачников [11] выделяет три этапа процесса самоочищения почвы, 1-й этап (1–1,5 года) характеризуется физико-химическими процессами, включающими вымывание, выветривание, распределение нефтяных УВ по почвенному профилю. Исчезают УВ Cig-Cig. Наблюдается активизация микрофлоры. На 2-ом этапе (3–4 года) происходит биологическое превращение метанонафтоновых и ароматических УВ. 3-й этап включает деградацию полициклической ароматических углеводородов. На всех этапах, а особенно на третьем, рекомендуется активное рыхление почвы, внесение разрыхлителей, например, торфа, а также NPK, которые способствуют снижению содержания алифатических структур в разрушающихся углеводородах. По силе токсического действия на микроорганизмы нефтяные фракции располагаются в следующей убывающей последовательности: ароматические УВ-циклопарафин-новая фракция-парафиновая [12, 13].

Небольшое количество УВ (5 г/100 г почвы) стимулирует деятельность микрофлоры [14]. Однако, процесс нитрификации ингибируется любой концентрацией УВ; нитрификация является наиболее чувствительным процессом на "нефтяное" загрязнение почвы [15]. Наиболее важными условиями активной деятельности микрофлоры в присутствии нефтяных загрязнений также является влажность и температура почвы. Для активной рекультивации почвогрунтов в качестве основных и необходимых компонентов нужны минеральные удобрения, предпочтительнее аммонийные формы азота и фосфор, а также активные культуры нефтеокисляющих микроорганизмов (НОМ). Основной проблемой при использовании биоремедиации нефтезагрязненных почв в России являются климатические условия: наличие достаточно длительного периода с низкими температурами. В этом отношении в Чаде данная проблема отсутствует. Установлено, что значительный удельный вес экологических факторов, влияющих на показатели по очистке почв – природно-климатические. Анализ проведенных исследований показал,

что черно-глинистые и железистые тропические почвы наиболее благоприятны для процессов биоремедиации от нефтяных загрязнений.

### Библиографический список

1. Пиковский Ю.И., Солнцева Н.П. Геохимическая трансформация дерново-подзолистых почв под влиянием потока нефти // Техногенный поток веществ в ландшафтах и состояние экосистем. М., 1981.
2. King D.H., Perry J.J. The origin of fatty acids in hydro-carbon-utilizing microorganisms *Mycrobacterium vaccae*. *Canad. J. Microbiol.*, 1975. V. 21. № 1.
3. Абзалов Р.З. Влияние минеральных удобрений на свойства нефтезагрязненных серых лесных почв лесостепной зоны Башкирии // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М., 1988.
4. Ильинский В.В., Семьянко М.Н., Юферова С.Г., Трошина Н.Н., Коронелли Т.В. Азотно-фосфорные удобрения для стимуляции биodeградации нефтяных УВ в морской среде // Вестник МГУ. Сер. биол. 1991. № 2.
5. Исмаилов Н.М., Паковский Ю.Ш. Биодинамика загрязненных нефтью почв // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л., 1985.
6. Тишкина Е.И., Киреева Н.А. Изменение биохимических и микробиологических параметров нефтезагрязненных почв: Тезисы докладов 7 делегатского съезда ВО почвоведов. Ташкент, 1985. Ч. 2.
7. Калачников И.Г. Влияние нефтяного загрязнения на экологию почв и почвенных микроорганизмов // Экология и популяционная генетика микроорганизмов. Свердловск, 1987.
8. Никифорова Е.М. Полициклические ароматические УВ в выщелоченных черноземах и серых лесных почвах // Почвоведение. 1989. № 2.
9. Славнина Т.П. Влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на свойства почв // Мелиорация земель Сибири. Красноярск, 1984.
10. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
11. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. М.: Прогресс, 1970. 590 с.
12. Ларешин В.Г., Шуравилин А.В. Пути снижения деградации и современные технологии повышения плодородия почв в антропогенных ландшафтах субтропической и тропической зон. М.: РУДН, 2008. 263 с. 4. Почвенный справочник / Пер. с фр. И.В. Ковда, под ред. М.И. Герасимовой. Смоленск. "Ойкумена", 2000. 286 с.
13. Розанов Б.Г. Морфология почв. М., 2004. 432 с.
14. Розов Н.Н., Строганова М.Н. Почвенный покров Мира. М.: Изд-во МГУ, 1979. 290 с.
15. Сагоян Л.Ю. Республика Чад: Справочник РАН. Ин-т Африки. М.: Наука, 1993. 150 с.

Думбия Алиу, магистрант,  
Балахонов А.В., аспирант,  
Жиленко В.Ю., канд. биол. наук, доцент  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ МАЛИ

*В результате проведенных исследований было выявлено, что экологические проблемы водных ресурсов Мали связаны с дефицитом и загрязнением пресной воды, что оказывает негативное воздействие на здоровье населения, сельское хозяйство и окружающую среду. Основные проблемы включают в себя загрязнение воды сточными водами, отходами промышленности и сельского хозяйства, а также истощение водных запасов из-за чрезмерного водоотбора для орошения и других нужд.*

*Ключевые слова:* Республика Мали., гидрогеологические условия, водные ресурсы, охрана подземных вод.

Оценка состояния водных ресурсов и их использования приобретает в последнее время все более острый социально-экономический характер, что обусловлено усилением значения антропогенных факторов, с одной стороны, а с другой, все более заметными изменениями глобального и регионального климата, влияющими на формирование речного стока [1]. В крупных африканских мегаполисах проблема загрязнения водоемов и водопроводных систем вызывает наибольшую обеспокоенность. В развивающихся странах часто отсутствуют должные меры обращения с водными ресурсами, что приводит к их загрязнению и ухудшению качества воды. Первопричиной загрязнения водоемов является деятельность человека. Промышленные отходы, результаты стока сельскохозяйственных вод, бытовые отходы и грязь, оказывающиеся в окружающей среде, неизбежно попадают в источники воды. Это негативно влияет на экосистему водоемов и в конечном счете оказывает дополнительную нагрузку на систему водоснабжения и фильтрации городов, в ряде случаев и вовсе заражая водопровод. Исключительный показатель — запрет в ряде крупных развитых мегаполисов употребления водопроводной воды для питья в связи с риском

заражения. Вода, загрязненная бактериями и микроорганизмами, может привести к тяжелым заболеваниям. В контексте развития в крупных мегаполисах Африки туризма данный фактор во многих случаях является отталкивающим для приезжих и чреват отказом от поездок. С точки зрения экономического развития это влечет за собой для стран Африки весомые убытки [2,3,4]. Республика Мали находится в западной части Африки, где вопросы водоснабжения в силу климатических особенностей стоят особенно остро. Значительная часть территории находится в зоне пустынь и полупустынь, где подземные воды служат единственным источником водоснабжения [5].

Целью исследования было обобщение всего накопленного гидрогеологического материала по территории республики, районирование ее по гидрогеологическим условиям, выявление экологического состояния водных ресурсов. В задачи работы входил сбор фактического материала по территории Мали, установление условий питания и разгрузки подземных вод, анализ их защищенности, разработка рекомендаций по охране подземных вод.

Пустыня Сахара занимает почти половину Мали. По климатической классификации Кеппен-Гейгера это BWh или горячий климат пустыни. В данном районе находятся метеорологические станции Гао, Ансонго, Кидаль, Дийре [2]. Для пустынной зоны характерна крайняя пространственно-временная изменчивость осадков, которые становятся все более редкими по мере того, как ландшафт меняется на пустынный. Суммарное годовое количество осадков составляет менее 200 мм. в год. Дожди нерегулярные, разрозненные даже случайные. В пустыне царит почти постоянная засуха, усугубляемая суховеями (харматан) и высокими температурами со значительной разницей между днем и ночью. Температурная амплитуда колеблется около 15°C в течение всего года, а иногда может превышать 20°C. Почвы скелетные, песчаные или каменистые с низкой водоудерживающей способностью. Если идет дождь, вода дождей едва проникает в сильно пересохшую и размываемую почву. Поскольку Мали, в основном, аграрная страна, наиболее существенно сельскохозяйственное загрязнение поверхности и зоны аэрации удобрениями, гербицидами, остатками сельскохозяйственной продукции. В сельскохозяйственном производстве используются азотные, фосфорные, калийные удобрения.



Большое распространение получило внесение так называемых, комплексных удобрений и отходов различных производств. Основными загрязняющими компонентами являются соединения азота, фосфора и калия. Из всех групп соединений, используемых в качестве удобрений, особое значение имеют азотные и особенно нитратные.

Серьезный урон качеству подземных вод Мали наносит животноводство. Главными загрязняющими компонентами выступают органические вещества. Из неорганических загрязнителей можно назвать соли аммония, калий, фосфаты, сульфаты и хлориды. Из патогенных организмов обнаруживаются различные виды бактерий, простейших и червей. Сточные воды содержат значительные количества фенолов, серы и сульфатов, дезодорантов, бактерицидов и СПАВ, употребляемых для борьбы с насекомыми. Таким образом, отходы животноводства являются источником комбинированного химического и бактериального загрязнения природных вод.

Решение проблемы загрязнения водных ресурсов Мали требует комплексного подхода, включающего улучшение очистки сточных вод, переработку отходов, сокращение использования химикатов в сельском хозяйстве и внедрение водосберегающих технологий. Также важна просветительская работа среди населения по вопросам бережного отношения к воде и утилизации отходов.

### **Библиографический список**

1. Глинский В.В., Ионин В.Г. Статистический анализ. Новосибирск: Наука. Сибирское соглашение, 2003. - 168 с.
2. Гайдукова Е.В. Оценка гидрологических характеристик годового стока рек Юго-западной Африки // Е.В. Гайдукова, М. Куасси / Технические науки - от теории к практике. 2013. №28. - С. 141-151.
3. Куасси К.М. Фрактальная диагностика годового стока Западной Африки // Электронный журнал «Исследовано в России» [Электронный ресурс] – Режим доступ. – URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/079.pdf>.
4. Annuaire hydrologique du Mali. Annee 1993. DNHE Bamako 1995.
5. Jiang Mingjun. Ecological Safety Research. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iesco-iesco.org/Writable/Resource/books/b-pdf/research-zh.pdf>.

Гаптрахманова З.А., студент,  
Романова С.М., к.х.н., доц,  
Мадыкина А.М., к.х.н., доц.  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Россия)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОРГАНО-ИЗВЕСТКОВОГО УДОБРЕНИЯ

*Предложен метод утилизации осадков сточных вод в органо-известковое удобрение для декоративных растений. Полученный продукт соответствует ГОСТ Р 54651-2011. Проведены лабораторные испытания выращивания Астры Срезочной в почвосмеси на основе удобрения.*

*Ключевые слова: осадок сточных вод, утилизация, органо-известковое удобрение, цеолит, аммиачная селитра, эмиссия CO<sub>2</sub>, почвогрунт, почвосмесь, астра срезочная, лабораторные условия выращивания.*

Как показывает международный и отечественный опыт, утилизация осадков сточных вод (ОСВ) с последующим агротехническим его применением относится к ключевым стратегиям благодаря наличию в их составе биогенных соединений, важных для роста растений [1]. ОСВ могут применяться как самостоятельное удобрение, так и выступать в роли улучшающего компонента при смешивании с традиционными органическими удобрениями – навозом, компостом и другими видами.

Современные экономические условия, характеризующиеся высокой стоимостью минеральных удобрений азотного и фосфорного типа, приводят к дефициту макроудобрений в почве, что способствует снижению её питательного потенциала и деградации плодородия.

При сложившейся ситуации применение осадков сточных вод в роли органических удобрений представляет собой перспективное направление для восстановления почвенного плодородия.

Цель исследования – изучить возможность использования ОСВ в качестве органо-известкового удобрения для культивации декоративных многолетних цветов Астры Срезочной (лат. *Callistephus chinensis* L.) в лабораторных условиях.

Материалы, методы и объекты исследований.

Объектом исследований является осадок городских очистных сооружений «ЗВКС» г. Зеленодольска, Республика Татарстан. В составе ОСВ находятся питательные элементы в пересчете на сухое

вещество: подвижный фосфор ( $P_2O_5$ ) – 0,08%, азот аммонийный – 0,19%.

Результаты исследований. Эксперимент по изучению влияния удобрения на всхожесть декоративных культур проводили в лабораторных условиях с использованием технических емкостей.

Процесс работы включал следующие этапы:

- 1) анализ агрохимических показателей осадка;
- 2) обеззараживание осадка сточных вод;
- 3) детоксикация токсичных компонентов в осадке;
- 4) оценка микробиологического состава;
- 5) аэрационно-разрыхляющие работы с ОСВ с применением целита;
- 6) внесение азотных минеральных добавок в форме аммония  $(NH_4)^+$  и нитратов  $(NO_3)^-$ ;
- 7) определение показателя эмиссии диоксида углерода;
- 8) посадка растений декоративного назначения [2].

Осадок сточных вод имеет следующие характеристики: массовая доля влаги – 83-85%; массовая доля органического вещества – 66-71%; массовая доля общего азота – 0,08%; pH солевой вытяжки – 9,12. Также в составе ОСВ были обнаружены следующие ионы металлов, мг/кг:  $Pb^{+2}$  – 34,7;  $Cd^{+2}$  – 11,2;  $Zn^{+2}$  – 870;  $Cu^{+2}$  – 215;  $Cr^{+3}$  – 307.

Обеззараживание осадка сточных вод производилось эндофитным штаммом *Bacillus subtilis* 26D. Спорообразующие бактериальные культуры не только усиливают рост растений, но и проявляют фунгицидную активность, подавляя развитие патогенных организмов. Кроме того, они укрепляют корневую систему, регулируя синтез ауксинов — фитогормонов, контролирующих рост и развитие. Это особенно важно в фазу активной вегетации, когда избыточная выработка ауксинов растениями может провоцироваться стрессом от атаки патогенов [3].

Детоксикация производилась за счет использования негашеной извести CaO. Известно, что эффективность минеральных удобрений значительно возрастает благодаря внесению в почву материалов, содержащих кальций. Такие добавки, включая известковые мелиоранты, снижают уровень кислотности грунта, что способствует лучшему усвоению питательных веществ растениями, а также улучшаются условия для почвенной биоты.

В составе микрофлоры происходит изменение: увеличивается присутствие бактерий, способных мобилизовать фосфаты, фиксировать азот и разлагать целлюлозу, в то время как количество патогенных микроорганизмов уменьшается.

Микробиологический анализ производился с целью выявления наличия/отсутствия патогенных микроорганизмов. Наличие их не было обнаружено.

Для аэрации и рыхления использовались природные цеолиты Татарско-Шатрашанского месторождения.

Цеолиты, имеющие формулу  $(\text{Na}, \text{K}, \text{Ca})_{2-3}\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , выполняют функцию природных адсорбентов, эффективно связывая ионы тяжелых металлов в почве. Помимо этого, они улучшают её аэрацию, обогащая кислородом, и обеспечивают непосредственную доставку удобрений и микроэлементов к корневой системе растений, что повышает доступность питательных веществ [4].

На основании результатов химического анализа удобрения, рассчитаны дозы азотсодержащей соли, вносимой в его состав. В эксперименте применяли аммиачную селитру: содержащийся в ней аммонийный азот  $(\text{NH}_4)^+$  закрепляется в почве, оставаясь доступным для растений, а нитратная форма  $(\text{NO}_3)^-$  легко вымывается осадками из-за слабого поглощения грунтом. Азотсодержащее удобрение было добавлено исходя из указанного в нормативе в ГОСТ Р 54651-2011.

Перед тем как приступить к высадке растений, важно измерить общую активность организмов в почве, задействованных в разложении органических веществ и выделении углекислого газа – этот процесс, известен как «дыхание» почвы, или эмиссия  $\text{CO}_2$ . «Дыхание» почвы играет ключевую роль в обогащении почвы органическими веществами, необходимыми для роста растений. Количество выделяющегося углекислого газа из почвы характеризует интенсивность этого процесса [5].

Результаты анализа показали, что имеется слабое выделение диоксида углерода из осадка сточных вод (для ОСВ «дыхание» составляет  $0,02 \text{ мг}/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$ , для почвогрунта –  $0,11 \text{ мг}/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$ ), что свидетельствует о том, что в ОСВ недостаточно энергии для разложения органического вещества. Для решения данной проблемы были применены цеолиты в различных соотношениях, которые позволили повысить активность микроорганизмов, ускоряющих процесс разложения органических веществ.

Для культивации Астры Срезочной использовали почвосмесь, состоящую из цеолита, удобрения из ОСВ, почвогрунта и аммиачной селитры (во всех образцах была добавлена одинаковая дозировка азотного удобрения) в разных соотношениях:

1) цеолит: удобрения из ОСВ: почвогрунт: аммиачная селитра в дозировке 1:1:1:0,015;

2) цеолит: удобрения из ОСВ: почвогрунт: аммиачная селитра в дозировке 0,9:1:1:0,015;

3) цеолит: удобрения из ОСВ: почвогрунт: аммиачная селитра в дозировке 0,85:1:1:0,015;

4) цеолит: удобрения из ОСВ: почвогрунт: аммиачная селитра в дозировке 0,5:1:1:0,015.

Результаты исследования демонстрируют положительную корреляцию доз цеолита и аммиачной селитры на рост Астры Срезочной. Образец, получивший оптимальную дозу цеолита (цеолит: удобрения из ОСВ: почвогрунт: аммиачная селитра в дозировке 1:1:1:0,015) в совокупности с внесенной аммиачной селитрой, показал наилучший результат. Для него характерны высокая всхожесть семян (всхожесть составила 70%, которая определялась согласно ГОСТ Р 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур.

Методы определения всхожести»), интенсивное накопление фитомассы, активное формирование побегов и наличие стеблей с уплотнённой структурой. Остальные экспериментальные образцы показали замедленный рост, что обусловлено дефицитом цеолита, выполняющего роль аэрирующего компонента в почвенной смеси.

Выводы. В результате проведенного лабораторного исследования можно сделать заключение, что осадок, образованный в процессе очистки сточных вод, может быть трансформирован в удобрение, удовлетворяющее всем требованиям ГОСТ Р 54651-2011 «Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия».

Удобрение представляет собой структурированный материал, обладает большой степенью удобрительной ценности, а также способно повысить биоактивность почв и урожайность декоративных культур.

Утилизация осадков сточных вод делает данный метод привлекательным с точки зрения экологичности.

Почва становится более плодородной благодаря внесению удобрений, полученных из ОСВ, которые насыщают ее

необходимыми элементами питания и минералами. Такой подход не только решает проблему переработки отходов, но и минимизирует негативное воздействие на экосистему.

### Библиографический список

1. Зотов, Н.И. К вопросу об использовании осадков бытовых сточных вод в сельском хозяйстве / Н.И. Зотов, С.Р. Суслов // Вісник Донбаської нац. академії і будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2010. – № 3. – С. 214-221.
2. Гаптраханова З.А., Романова С.М., Мадякина А.М. Разработка способа утилизации осадков сточных вод бос в компост для городского озеленения // Наука. Техника. Инновации: Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной Году семьи (19 апреля 2024 года) / под ред. Я. В. Зубовой; филиал Ухтинского государственного технического университета в г. Усинске (УФ УГТУ). — Электронные данные. — Санкт-Петербург: Сциентиа, 2024.— С. 150-157.
3. Сорокань А.В., Веселова С.В., Максимов И.В. Влияние *Bacillus subtilis* 26д на ростовые параметры и содержание ИУК в инфицированных возбудителем фитофтороза *Phytophthora infestans* растениях картофеля // Экобиотех, 2021, Том 4, № 2, С. 89-93.
4. Обуздина М.В. Природные и модифицированные цеолиты как адсорбенты нефтепродуктов из промышленных сточных вод // Вестник ИрГТУ, 2010, №4 (44), С. 104-110.
5. Вершинин А. А., Петров А. М., Каримуллин Л. К. Дыхательная активность почв в окрестностях Нижнекамского промышленного комплекса // Российский журнал прикладной экологии. 2017. №2 (10). — С. 31-34.

## АДАПТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАТОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛИСТЬЕВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *BERBERIS* L. В УСЛОВИЯХ Г. БЕЛГОРОДА

*В результате проведенных исследований было выявлено, что листопадные виды рода Berberis, произрастающие в г. Белгороде, характеризуются в целом ксеромезоморфным типом листа. Выявленные межвидовые различия в структуре имеют не только таксономически обусловленный характер, но зависят и от экологической приуроченности видов.*

*Ключевые слова:* *Berberis* L., абаксиальная эпидерма, устьица, адаптация.

При попадании растений в неблагоприятные для них условия, включаются механизмы, которые через преобразования покровных тканей листьев вырабатывают адаптации к негативным воздействиям факторов внешней среды. Адаптационные процессы, которые протекают в покровных тканях растений, проявляются в анатомо-морфологических особенностях строения эпидермы листа, которая является важнейшим барьером между растением и внешней средой [1].

Покровная ткань листа состоит из различных по морфологии структур, из которых устьичный аппарат является одним из важных структурно-адаптационных образований. Устьичный комплекс листа состоит из двух замыкающих клеток бобовидной формы, они обособлены от других клеток эпидермы побочными клетками, или устьица не имеют клеток обкладки [2,3,4]. Рассматривали количество устьиц и наличие на эпидермисе каникулярного слоя, защищающего растение от потери воды. Толщина слоя варьирует и зависит от условий окружающей среды [5].

Целью исследования было выявление типа устьичных комплексов листьев видов рода *Berberis* L. и возможности использования признаков анатомической структуры абаксиальной эпидермы для диагностики степени приспособленности к условиям среды.

**Материалы и методы.** Объекты исследований – листовые пластинки видов рода *Berberis* L. собранные в Ботаническом саду НИУ

«БелГУ». С каждого годичного побега собирали третий, четвертый, пятый листья, которые фиксировали в растворе 70-процентного спирта с добавлением глицерина [6].

Работа проводилась в лаборатории кафедры промышленной экологии БГТУ им. В.Г. Шухова. Количество устьиц определяли в поле зрения микроскопа Levenhuk 700M с пересчетом на 1 мм<sup>2</sup> поверхности эпидермы. Устьичный индекс подсчитывали с учетом всех устьиц независимо от стадии развития и определяли его как отношение замыкающих клеток к числу основных клеток эпидермы той же площади листовой поверхности. Описание и характеристику основных структурных элементов эпидермиса проводили в соответствии с разработками А.А. Федотова и др. [7], А.А. Никитина и др. [8].

Статистическую обработку полученных данных выполняли по рекомендациям Ш.Ш. Гасанова [9] с использованием прикладной компьютерной программы Microsoft Excel.

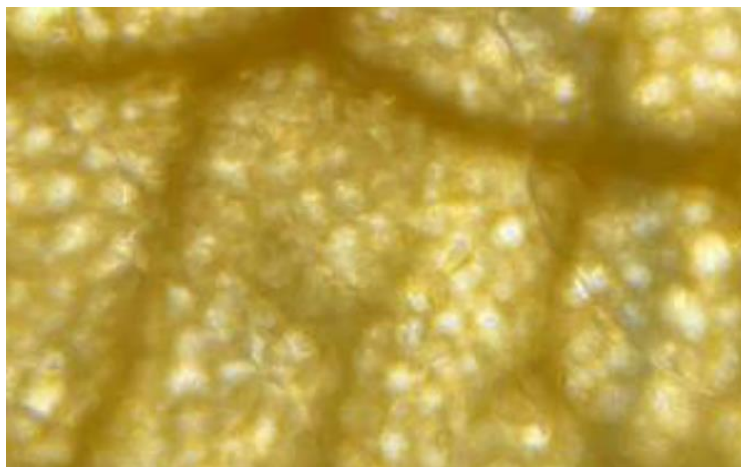
**Результаты и их обсуждение.** Зависимость морфолого-анатомического строения вегетативных органов растений от среды обитания широко известна и описана во многих работах [10].

Особенно четкие корреляции с экологическими факторами характерны для анатомических признаков листа [11]. Структура листа отражает результат адаптации растений к воздействию различных факторов внешней среды, поэтому сведения о строении листа позволяют дополнить экологическую характеристику вида и уточняют представление об амплитуде его пластичности.

Сравнение анатомического строения листьев изученных барбарисов (*Berberis thunbergii*, *Berberis thunbergii* «Natasza», *Berberis thunbergii* *fatropurpurea*, *Berberis thunbergii* «Aurea», *Berberis thunbergii* «Summer chocolate», *Berberis thunbergii* «Coronita») показало их большое сходство.

Для всех видов характерны дорзовентральность, многослойность мезофилла, аномоцитный тип устьиц, прямолинейно-извилистый контур клеточных стенок верхней эпидермы (рис. 1-2).



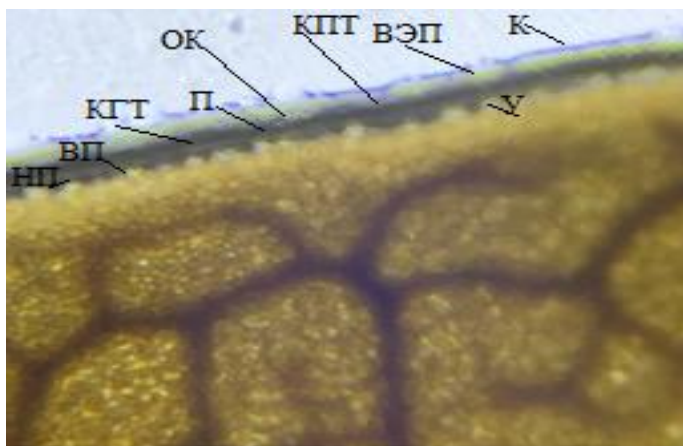


1. адаксиальный эпидермис



б) абаксиальный эпидермис

Рис.1. *Berberis thunbergii natasza*



Условные обозначения:

К - кутикула;

ВЭП - верхняя эпидерма;

КПТ - клетки палисадной ткани;

КГТ - клетки губчатой ткани;

ОК - клетки обкладки;

П – проводящий пучок;

ВП - воздушные полости;

НЭП - нижняя эпидерма;

У - устьица

Рис.2. *Berberis thunbergii natasza* (срез листа)

Листья у всех исследованных видов амфистоматические. Число устьиц на единицу площади на нижней стороне листовой пластинки значительно превышает этот показатель для верхней стороны листа.

Мезофилл листа состоит из одного или двух слоев клеток палисадной ткани и многослойной рыхлой губчатой паренхимы, в клетках которой содержатся немногочисленные хлоропласты (рис. 2).

Губчатая паренхима 4-8-слойная, состоит из рыхло расположенных изодиаметрических клеток. Многослойная губчатая ткань значительной толщины. Число устьиц на единицу площади листа колеблется от  $253,3 \pm 15,4$  (*Berberis thunbergii natasza*) до  $268,7 \pm 20,5$  шт. (*Berberis thunbergii* «Aurea»).

Размеры устьиц также изменчивы (табл. 1).

Таблица 1 - Параметры элементов устьичного аппарата пластинки  
листа декоративных видов рода *Berberis L.*

Виды	Замыкающие клетки устьиц, мкм (парадермальный срез)		Число устьиц, шт./мм <sup>2</sup>
<i>Berberis thunbergii</i>	27,13 ± 2,23	11,54 ± 0,45	125,1 ± 5,3
<i>Berberis thunbergii</i> «Natasza»	19,7 ± 0,61	17,2 ± 0,52	129,1 ± 6,8
<i>Berberis thunbergii f atropurpurea</i>	12,80 ± 1,81	9,57 ± 0,59	225 ± 3,7
<i>Berberis thunbergii</i> «Aurea»	21,3 ± 0,3	18,6 ± 0,45	218 ± 4,5
<i>Berberis thunbergii</i> «Summer chocolate»	16,5 ± 0,5	12,6 ± 0,23	132 ± 2,1
<i>Berberis thunbergii</i> «Coronita»	22,2 ± 0,7	20,6 ± 0,5	136 ± 1,5

Наиболее крупные устьица у *B. thunbergii*, самые мелкие - у *B. thunbergii f atropurpurea* и *Berberis thunbergii* «Summer chocolate».

Таблица 2 - Сравнительная характеристика анатомического строения листа  
видов рода *Berberis L.*

Виды	Палисадная паренхима			Губчатая паренхима, мкм		Толщин а мезофил ла, мкм
	Число слоев	Высота клеток, мкм	Ширина клеток, мкм	Число слоев	Толщина, мкм	
<i>B. thunbergii</i>	1	34 ± 1,09	17 ± 1,94	4-5	136 ± 1,99	160,1 ± 1,5
<i>Berberis thunbergii</i> «Natasza»	1	35 ± 1,5	19 ± 2,34	4-5	138 ± 2,03	159,1 ± 2,15
<i>Berberis thunbergii f atropurpurea</i> ,	1	34 ± 1,2	19,5 ± 1,99	4-5	135 ± 1,69	158,1 ± 1,9
<i>Berberis thunbergii</i> «Aurea»	1	33 ± 1,09	18 ± 1,94	4-5	134 ± 1,99	160,1 ± 1,5
<i>Berberis thunbergii</i> «Summer chocolate»	1	32 ± 1,09	16,7 ± 1,94	4-5	133 ± 1,99	159,1 ± 1,6
<i>Berberis thunbergii</i> «Coronita»	1	32,5 ± 1,09	16,99 ± 1,67	4-5	133,5 ± 1,99	158,1 ± 1,7

Морфо-анатомический анализ видов рода *Berberis L.* показал, что по совокупности морфологических и анатомических признаков - листопадные виды барбариса, характеризуются в целом ксеромезоморфными чертами организации.

Ксероморфная структура - один из признаков при селекции засухоустойчивых сортов. Выделены засухоустойчивые секционные образцы: с ксероморфной структурой - *B. darwinii* и с ксеромезоморфной - *Berberis thunbergii* «Aurea». Уменьшение размеров устьиц и устьичной щели приводит к уменьшению транспирационного процесса. Наименьшими размерами устьиц обладает *B. thunbergii f. atropurpurea*. Структурная организация элементов (количество клеток, их размеры, число устьиц, их расположение и т.д.) покровных тканей листьев видов рода *Berberis* L. показывает их широкую экологическую пластичность и способность адаптироваться к различным изменяющимся условиям среды, в том числе и при интродукции.

### Библиографический список

1. Атлас по описательной морфологии высших растений / А.А. Федоров, М.Э. Кирпичников, З.Т. Артюшенко. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 354 с.
2. Афанасьева Л. В. Состояние сосновых древостоев в условиях техногенного загрязнения в Республике Бурятия / Л. В. Афанасьева, Т. А. Михайлова, В. К. Кашин // Растительные ресурсы. – 2010. – Т. 46, вып. 2. – С. 51-61.
3. Баранов М.А. Строение устьиц и эпидермальных клеток листа у магнолий в связи с систематикой рода *Magnolia* II Бот. журн. 1962. Т. 47. № 8.- С. 1108-1115.
4. Василевская В.К. Формирование листа засухоустойчивых растений. Ашхабад, 1954. - 183 с.
5. Вилисова В.В., Запрягаева В.И., Зеляева З.Р., Рокочая Е.К., Темберг Я.Г. Деревья и кустарники // Растения для декоративного садоводства Таджикистана. М., 1986. С. 88-367.
6. Вольф Э.Л. Новый вид барбариса из Туркестана *B. heterobotrys* II Тр. по прикл. бот., ген. и сел. № 2. 5-6 (1918). № 41.
7. Гасанов Ш.Ш. Эколометрия: учебное пособие для студентов вузов. - Махачкала: ДГУ, 2008. - 260 с.
8. Гзырян М.С. К методике анатомического изучения листьев двудольных растений // Тр. Ин-та бот. АН АзССР. 1959. Т. 21. С. 18-23.
9. Жиленко, В. Ю. Эколого-биологические особенности адаптации некоторых видов рода *Berberis* L. К воздействию факторов городской среды / В. Ю. Жиленко, В. Н. Сорокопудов // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: Сборник докладов Всероссийской научной конференции, Белгород, 23–27 октября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 241-248.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОРЕШЕТКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

*В статье предложен способ восстановления нарушенных земель. Техническая задача научного решения заключается в использовании георешетки при восстановлении нарушенных земель, при этом происходит более быстрый в сравнении с аналогами способ сокращения сроков восстановления растительного покрова техногенно-нарушенных урбанизированных земель.*

*Ключевые слова: нарушенные территории, георешетка, способ восстановления.*

Быстрое антропогенное воздействие хозяйственной деятельности человека приводит к увеличивающейся площади нарушенных земель. В результате постоянной эксплуатации они испытывают серьезную техногенную нагрузку. Это проявляется в изменении рельефа местности, его покровных образований, неестественных для определенной местности природно-техногенных систем, включая образование антропогенного ландшафта.

Ввиду ежегодно увеличивающихся таких территорий во всем мире, проблема рекультивации таких земель стоит остро. Почвенный покров является одним из составляющих природной среды, который выполняет как экологическую, так и социально-экономическую функцию [1,2].

Территория, которая теряет свою первоначальную природную и экономическую ценность, начинает оказывать негативное воздействие на окружающую среду и считается нарушенной.

Нарушенные земли это земли, утратившие свою хозяйственную ценность и являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду в связи с повреждением или полным уничтожением почвенного покрова, нарушением гидрологического режима, образованием техногенного рельефа в результате производственной деятельности человека, а именно разработки месторождений полезных ископаемых и их переработки, проведение строительных или геологоразведочных работ.

В настоящее время общая площадь нарушенных земель По данным Росреестра, по состоянию на конец 2023 года в Российской Федерации составила 1138,8 тыс. га, что на 42,0 тыс. га больше, чем в 2022 г. Рисунок. 1.



Рис.1 Нарушенные земли российской федерации

Наибольшая часть нарушенных земель была обнаружена в категории земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земель для обеспечения космической деятельности, земель обороны, безопасности и земель иного специального назначения. В целом, за последние 10 лет наблюдается тенденция к увеличению нарушения земель в большей степени в землях промышленности и иного назначения. Установлено, что площадь нарушенных земель неуклонно возрастает в среднем на 5-8 тыс. га в год. Белгородская область расположена практически в самом центре европейской части России, с относительно благоприятными природно-климатическими условиями и плодородными почвами. В Курской и Белгородской областях в составе сельскохозяйственных угодий около 73% склоновых земель, в Липецкой – 51%, Воронежской – 49% и Тамбовской – 29%. В среднем по ЦЧ площадь склоновых земель составляет 52%. На склонах до 10 расположено до 32,4% площади пашни. Следует отметить, что в Белгородской области насчитывается 328 карьеров открытого типа, из которых 84 уже добыты и 176 заброшенных [3,4]. В связи с этим рекультивация и мелиорация земель является неотъемлемой частью технологического процесса на предприятиях, деятельность которых связана с нарушениями

земель, что поможет сохранять качественные показатели почвенного покрова, смягчает колебания погодно-климатических условий и улучшает устойчивость земледелия.

Восстановительные работы помогают быстрее интегрировать нарушенные земли в природную среду. При рекультивации нарушенной территории вопрос выбора наиболее эффективной реализации становится особенно актуальным, а реализация программы с наименьшими затратами даст самые высокие результаты и повысит экономическую ценность рекультивируемой территории. Для решения этих проблем необходимо оценить различные методы восстановления территорий с учетом факторов и методов их реализации. В современных условиях приобретает важное значение использование методов рекультивации нарушенных территорий [6,7]. Известно использование георешетки, при восстановлении техногенно-нарушенных урбанизированных земель [5]. Установлено, что для укрепления склоновых почв и армирования слабых грунтов, предотвращение обвалов и оползней можно использовать георешетку. Алгоритм использования георешетки при восстановлении нарушенных земель включает в себя:

1. Для предотвращения вымывания токсичных элементов необходима подготовка дренажного слоя с размещением защитной прослойки из геотекстиля.

2. Георешетка это полимерные ленты, сваренные между собой в шахматном порядке, при растяжении которой образуется структура из полых ячеек в которую засыпается почва с семенами растений. Укладку георешетки необходимо начинать сверху вниз, постепенно растягивая полотно и закрепляя анкерами.

3. После завершения укладки георешетки сверху высыпают материал, заполняя ячейки. В качестве засыпки используют почвосмесь или плодородную почву.

Сегодня значительная часть населения проживает в условиях техногенно-нарушенных ландшафтов, где деградировавшие земли различных типов охватывают значительные участки территорий. Необходимость восстановления таких земель и их возвращение в устойчивый хозяйственный оборот остается актуальной задачей, авторами предложен способ восстановления растительного покрова на нарушенных территориях. Техническая задача научного решения заключается в использовании георешетки при восстановлении

нарушенных земель, на решение которой направлено заявляемое исследование, при этом происходит более быстрое в сравнении с аналогами сокращение сроков восстановления растительного покрова техногенно-нарушенных урбанизированных земель, при одновременном снижении стоимости материала за счет расширения состава сырьевых ресурсов.

### Библиографический список

1. Даниленко, Е. П. Рекультивация нарушенных земель и устранение накопленного вреда окружающей среде города Белгород / Е. П. Даниленко, А. А. Акулова, О. Н. Барышенская // Вектор ГеоНаук. – 2020. – Т. 3, № 1. – С. 62 – 70.
2. Реджепов, А. Инновационные подходы к восстановлению нарушенных земель после горных работ / Реджепов А. // Инновационная наука. 2024. Т. 1. №12-2. С. 156-157.
3. Пендюрин Е.А., Реставрационно-ландшафтное восстановление нарушенных территорий / Пендюрин Е.А., Сапронова Ж.А., Святченко А.В., Здоровцов В.А. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2024. № 2 (92). С. 44-52.
4. Пендюрин, Е.А. Способ восстановления нарушенных территорий / Пендюрин Е.А., Святченко А.В., Кирюшина Н.Ю. // Вектор ГеоНаук. 2022. Т. 5. № 1. С. 83-89.
5. Пат. № 2819792С1. Способ восстановления техногенно-нарушенных урбанизированных земель/ Пендюрин Е.А.; заявитель и патентообладатель ГБОУ ВО «БГИИК». – № 2023133776 от 18.12.2023.; опубл. 25.06.2024 Бюл. № 18.
6. Пат. № 2546155 С1. Материал для биологической рекультивации нарушенных земель / Калинин Е. В., Вайсман Я. И., Рудакова Л. В. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». – № 2013149774/05; заявл. 06.11.2013; опубл. 15.04. 2015, Бюл. № 10.
7. Пат. № 2484613 С-2 Способ создания почвенно-растительного покрова при рекультивации нарушенных земель / Иванова Л. А., Кременецкая М. В., Горбачева Т. Т., Иноземцева Е. С., Корытная О. П.; заявитель и патентообладатель Учреждение РАН «Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН. – № 2011127453/13; заявл. 04.07.2011; опубл. 20.06.2013, Бюл. №17.



Лувенхидигссем Мбайкайбе Исидор,  
магистрант  
Латыпова М.М., доц., канд. хим. наук  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## СТРАТЕГИЯ ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НЕФТЬЮ В РЕСПУБЛИКЕ ЧАД

*Рассмотрена стратегия защиты водных объектов Республики Чад от загрязнений нефтью. Основными причинами этих процессов могут быть отсутствие системы контроля разливов нефти и нарушений в системах трубопроводов, несовершенство систем нефтедобычи и отсутствие подготовленных мер для очистки нефтезагрязненных вод.*

*Ключевые слова: экологическая стратегия, разливы нефти, авария*

Доступ к качественной воде является проблемой во многих африканских странах, включая Чад. Доступ к воде – для питья и бытовых нужд – является серьезной проблемой в Чаде. Поэтому очень остро стоит вопрос о защите водных ресурсов от загрязнений нефтью [1–3].

Загрязнение связано с деятельностью нефтедобывающей отрасли. Основные нефтегазоносные бассейны страны расположены вблизи рек и их притоков, а также озера Чад, которые являются источниками питьевого водоснабжения для местного населения и основой сельского хозяйства страны [4]. В настоящее время в Африке добывается 11 % всей мировой нефти. Перспективной страной в отношении нефтедобычи является Республика Чад. Поисково-разведочные работы залежей нефти и газа начались в Республике Чад в 1960-е гг. Тогда консорциумом компаний Chevron, Sonoco, Exxon и Shell в районе Озера Чад были открыты нефтяные месторождения Седижи, Канем и Кумиа, в бассейне Доба – Миандум и Кома. В настоящее время перспективы нефтегазоносности Чада связаны в первую очередь с нефтегазоносными бассейнами (НГБ) Чадский и Доба, а также Куфра, Досеи и Саламат.

На севере страны постоянные водотоки отсутствуют, уэды наполняются водой лишь после эпизодических дождей. На юге густота речной сети значительна. Основные реки Шари и её приток Логон (бассейн озера Чад), Батха (впадает в озеро Фитри). Реки широко разливаются в сезон дождей, затопляя огромные пространства и превращая их

в сплошные болота, в сухой сезон сильно мелеют. В пределах страны находится восточная часть акватории озера Чад. Ежегодно возобновляемые водные ресурсы составляют  $43 \text{ км}^3$ , из которых 65% формируются внутри территории страны, водообеспеченность  $4857 \text{ м}^3$  на чел. в год (2005). Ежегодный водозабор  $0,2 \text{ км}^3$ , из которых 83% используется для орошения, 17% – в жилищно-коммунальном водоснабжении.

Для решения проблемы загрязнения водных ресурсов нефтью в Республике Чад предлагают строить современные системы водоснабжения и водоотведения, увеличивать водность водных объектов страны путём переброса стоков из реки Конго, а также использовать опыт квалифицированных зарубежных специалистов в области охраны окружающей среды и комплексного использования водных ресурсов.

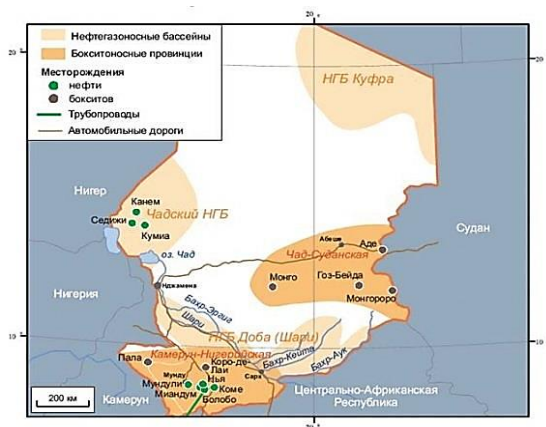


Рис. 1. Основные нефтегазоносные районы и реки Республики Чад

Главные факторы загрязнения – аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, которые могут возникать как при добыче, так и при транспортировке углеводородов [5–7]. Некоторые причины аварий на нефтепроводах, которые приводят к загрязнению [8–10]:

- нарушения металла тела труб и пробойны в магистральных нефтепроводах;

- выполненные с нарушениями заводской сварки трубные соединения, а также нарушения запорной арматуры, вентузов или манометрических устройств и швов конструкции нефтепроводов;

- коррозия тела труб нефтепроводов, проявляющаяся в виде язв или свищей;

- старение покрытия, обеспечивающего изоляцию, или некачественная изоляция при сооружении нефтепроводов; другие причины, в том числе технологические ошибки персонала при эксплуатации. Возникновение аварийных ситуаций в таких случаях обычно вызвано тем, что за счет концентрации напряжений в данной области сварного соединения и вблизи его границы образуется коррозионная каверна с острым ответвлением (по типу трещины).

Необходимо также отметить, что в настоящее время значительное количество (40–51 %) аварий нефтепроводов происходит и из-за внутренней коррозии: за ее счет только на одном крупном месторождении происходит более 1000 отказов за год. К основным факторам, обуславливающим внутреннюю коррозию в магистральных нефтепроводах, относят:

- а) высокую обводненность транспортируемой нефти;
- б) наличие газов и растворенной углекислоты транспортируемой нефти;

- в) наличие в транспортируемой нефти значительного количества взвешенных частиц (так называемых «механических примесей»: песка и осыпавшихся с внутренней поверхности продуктов коррозии);

- г) наличие в транспортируемой нефти сероводорода;
- д) образование осадков солей железа и кальция на внутренней поверхности нефтепроводов;

- е) «блуждающие» электрические токи.

Планы на случай непредвиденных обстоятельств, должны включать: идентификация опасности; сканирование уязвимостей; расчеты угроз; ответные действия. Существуют планы действий на случай разливов углеводородов, эти планы применяются к разливам в реках, на побережьях и островах, планы имеют разные масштабы в зависимости от серьезности загрязнения, планы на случай непредвиденных обстоятельств классифицируются следующим образом [11-14]:

- Местный план действий в чрезвычайных ситуациях

- Зональный план действий в чрезвычайных ситуациях
- Национальный план действий в чрезвычайных ситуациях
- Региональный план действий в чрезвычайных ситуациях

Планы действий на случай разлива должны содержать следующую информацию: [15]

- Оценка риска разлива
- Анализ возможных сценариев разливов
- Карта чувствительности зоны влияния
- Характеристики и условия окружающей среды возможного сценария
- Приоритеты защиты возможных загрязненных территорий
- План действий
- Типы, характеристики и количество хранимых или транспортируемых углеводородов.
- Емкость накопителя
- Инвентаризация имеющихся ресурсов для борьбы с разливом
- План обучения и обучение борьбе с разливами
- Справочник персонала и учреждений, которые могут действовать в случае разлива
- Организация реагирования
- План коммуникаций.

В результате проведенных нами исследований были предложена эффективная система организационно-технических мероприятий, позволяющих значительно повысить технологическую и экологическую безопасность и снизить риск возникновения аварий на магистральных нефтепроводах.

### **Библиографический список**

1. U.S. Energy Information Administration // Technically recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources Chad. September, 2015. – 44 p.
2. Moynihan K.J. Chad export project: environmental management and monitoring process and systems / K.J. Moynihan, C.F. Kaul, E.R. Caldwell // SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Calgary, Canada. – 2004. – 14 p.
3. Magrin G. The use of oil revenues in Africa. In Governance of oil in Africa: Unfinished business [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.525.6467&rep=rep1&type=pdf>
4. Воробьев А.Е., Махамат Тахир Мусса Махамат. Разработка технико-технологических мероприятий для предотвращения и ликвидации последствий

чрезвычайных ситуаций на магистральных нефтепроводах республики Чад. – М. : Издательство Икар, 2012. – 328 с.

5. Воробьев А.Е., Плющиков В.Г., Махамат Тахир Мусса. Научные основы предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на магистральных нефтепроводах республики Чад. – М. : РУДН, 2013. – 185 с.

6. Тахир Мусса М., Тагасов В.И. Особенности эксплуатации нефтяных хозяйств в республике Чад // Экологические системы и приборы. – 2007. – № 8. – С. 58–60.

7. Германова С.Е., Елисеев В.М., Тахир Мусса М., Тагасов В.И. Нефтяная промышленность республики Чад и ее влияние на окружающую среду // Маркшейдерский вестник. – 2011. – № 4. – С. 48–50.

8. Германова С.Е., Елисеев В.М., Тахир Мусса М., Тагасов В.И. Воздействие нефти и нефтепродуктов на важнейшие части биосферы // Маркшейдерский вестник. – 2011. – № 5. – С. 59–60.

9. Нифадьев В.И., Воробьев А.И., Мусса М.Т. Повышение экологической безопасности на нефтепроводах на основе мониторинга атмосферы // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 5. – С. 64–65.

10. Oyebande L. Water problems in Africa - how can the sciences help? / L. Oyebande // Hydrological Sciences Journal – 2001 – vol. 46. – No 6 – P. 947-962.

11. Шахова Ф.А., Ягафарова Г.Г., Мухаммадеева А.И. Воздействие на окружающую среду технологических процессов нефтегазовой отрасли: учеб. пособие. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2012. – 442 с.

12. Абросимов А.А., Долوماتов М.Ю., Теляшев Э.Г. Экология переработки углеводородных систем: учеб. для студентов и аспирантов вузов по хим.-технол. специальностям. – М.: Химия, 2002. – 608 с. Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2018. № 4 78

13. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Нефть и нефтепродукты в окружающей среде: учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 163 с. 12. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты / НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». – М.-Ижевск, 2005. – 268 с. 13. Консейсао А.А., да. Ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов с поверхности почвы и воды: монография / Уфим. гос. нефт. техн. ун-т. – Уфа, 2007. – 207 с.

14. Colom-Jain A. Oil in Chad and Equatorial Guinea: widening the focus of the resource curse / A. Colom-Jain, A. Campos-Serrano // The European Journal of Development Research. – 2013. – vol. 25. – No 4. – P. 584-599.

15. Абдель-Гадир Б.М. Модифицированные растительные сорбенты для очистки воды от нефтяных загрязнений / Б.М. Абдель-Гадир, В.О. Дряхлов, Г.Г. Ягафарова и др. // Башкирский химический журнал. – 2019. – т. 26. - № 2. – С. 75-79.

## РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЛЕСОСЕЧНЫХ РАБОТ

*Обзор путей утилизации древесных отходов, образующихся при производстве лесосечных работ. Произведен анализ существующих способов утилизации сучьев и веток. Выявлены наиболее перспективные направления. Предложен способ изготовления плитного материала из веток.*

*Ключевые слова: лесосечные отходы, ветки, сучья, древесные плиты, производство плит, способ переработки отходов.*

Основной целью предприятий лесного комплекса при заготовке древесины является получение максимального объема и высокого качества стволовой древесины. Но дерево – это не только ствол, но еще и крона. В процессе лесосечных работ образуются отходы древесины, в частности кроны. К таким отходам относятся сучья, ветки и вершинки, древесная зелень, все это составляет крону дерева.

Сучья и ветки (рис. 1) также содержат большой объем древесины, которая может быть вовлечена в дальнейшую переработку. Содержание коры на сучьях и ветках выше, чем на стволе, при этом корковые образования на них развиты слабо. Существует проблема утилизации древесных отходов, а именно отходов кроны, образующихся в результате лесозаготовки. Их объем составляет 14 % от общего объема биомассы дерева [1].



Рис. 1. Лесосечные отходы (сучья и ветки)

Порубочные отходы, к которым относятся сучья и ветки, можно утилизировать путем сжигания (но только в пожаробезопасный период), измельчения и разбрасывания, сбора в кучи или оставления на местах рубки для перегнивания.

С точки зрения комплексного использования биомассы дерева наиболее экологичным способом очистки лесосеки является вывоз сучьев и веток и вовлечение этой древесины в дальнейшую переработку на деревообрабатывающих или лесохимических производствах.

Рассмотрим варианты использования веток для получения различных видов продукции. Отходы древесины в виде сучьев и веток применяется в гидролизном производстве, которое базируется на химической переработке сырья. При гидролизе древесины образуются сахара, они могут быть выделены в виде кристаллов, однако чаще они подвергаются дальнейшей химической или биохимической обработки [2].

Известен способ утилизации древесных отходов непосредственно на месте лесозаготовки. Он включает в себя измельчение древесных отходов до размеров не более 10 мм, сушку и горячее прессование топливных брикетов. Часть отходов используется для получения тепловой энергии, которая используется для сушки и прессования, и газа, используемого в двигателях внутреннего сгорания для привода агрегатов, участвующих в утилизации отходов [3].

Наиболее перспективным вариантом использования древесных отходов в виде веток является изготовление плит. В качестве исходного материала применяются ветки с влажностью 20-30%. Плиты формируют послойно, при этом слои укладываются со смещением на 90 градусов. Процесс прессования проводится при температуре от 155-170°C. Такие плиты могут применяться для создания конструкционных и теплоизоляционных материалов [4].

Известен способ переработки отходов березовой древесины, веток и верхушек, для получения нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы, которую можно использовать для производства бумаги и картона. В данном случае возникает проблема окорки щепы, полученной из веток, т.к. получение полуцеллюлозы из неокоренной щепы нецелесообразно из-за ее сильной засоренности [5].

Также существует еще способ по производству декоративных панелей, которые могут быть использованы при декорировании интерьера и мебели. Суть способа заключается в том, что ветки с клеем собирают в пучки определенной формы поперечного сечения, затем

после отверждения клея пучки нарезают поперек волокон с получением декоративных панелей [6]. Сложность этого способа заключается в трудоемкости.

Проблема утилизации древесных отходов кроны остается острой стоящей в лесозаготовительной отрасли. Существующие методы переработки отличаются по эффективности и применимости: сжигание крайне нежелательно из-за пожароопасности и неэкономичности, производство топливных брикетов требует дополнительных материалов и условий хранения, а газогенерация технологически сложна.

В лабораторных условиях были получены образцы плитных материалов из еловых веток (рис. 2) путем их измельчения и дальнейшего горячего прессования.



Рис. 2. Плитный материал из веток

Данный материал в зависимости от направления его использования может иметь различные характеристики. Это зависит от его плотности, которая в свою очередь связана с массой веток, используемых для производства плитного материала. Дальнейшие исследования будут направлены на исследование характеристик данного материала.

Для оптимального решения проблемы необходимо совершенствование технологий, позволяющих максимально полно и экологично перерабатывать отходы в виде сучьев и веток, что будет способствовать более комплексному и рациональному использованию древесного сырья.

#### **Библиографический список**



1. Степанов, В. И. Отходы лесной промышленности и их использование в национальном хозяйстве / В. И. Степанов, Н. А. Мезина // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2012. – № 3(45). – С. 83-88.

2. Чемоданов, А. Н. Продукция комплексной переработки древесины и древесных материалов: учебное пособие / А. Н. Чемоданов. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2008. – 443 с.

3. Патент № 2322796 С2 Российская Федерация, МПК А01G 23/00, А01G 23/02. Способ утилизации лесосечных отходов: № 2006111552/12: заявл. 07.04.2006: опубл. 27.04.2008 / В. А. Данилкин, Э. П. Иванов, Ю. П. Панов; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие "Государственный ракетный центр "КБ им. академика В.П. Макеева".

4. Патент № 2179926 С2 Российская Федерация, МПК В27N 3/04. Способ изготовления плит из растительного сырья: № 99112340/13: заявл. 07.06.1999: опубл. 27.02.2002 / Н. В. Озерова, В. В. Арбузов; заявитель Пензенская государственная архитектурно-строительная академия.

5. Утилизация отходов лесозаготовок с получением полуфабриката для картона / Ф. Х. Хакимова, О. А. Носкова, С. А. Шевелева, Р. Р. Хакимов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 2(30). – С. 60-73.

6. Авторское свидетельство № 1189693 А1 СССР, МПК В44С 5/04. Способ изготовления декоративной панели: № 3713054: заявл. 22.03.1984: опубл. 07.11.1985 / А. Д. Липнягов.

Мапоссе Л.Ф.Ж., студент  
Латыпова М.М., доц., канд. хим. наук  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## **ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХВОСТОВ ДОБЫЧИ УГЛЯ И БОКСИТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МОЗАМБИКЕ**

*Рассмотрены экологические аспекты утилизации отходов, образующихся при добыче угля и бокситов. Представлены возможные пути использования хвостов добычи бокситов и угля для производства основных видов строительных материалов*

*Ключевые слова: отходы добычи, горнодобывающая промышленность, анализ состава хвостов, утилизация.*

В настоящее время Мозамбик является раем для горнодобытчиков: в год здесь добывается более 20 миллионов тонн угля и около 7300 тонн бокситов, что ставит страну на путь развития и делает ее одним из главных направлений для инвесторов в горнодобывающем секторе сегодня, причем в ближайшие годы этот показатель может возрасти [1,2]. Несмотря на всю эту шумиху, горнодобывающий сектор в Мозамбике относительно молод, что предрасполагает к многочисленным недостаткам в его государственном управлении, позволяя создавать различные проблемы, связанные с утилизацией отходов горнодобывающей промышленности. Такие провинции, как Тете и Маника, являются одними из основных, затронутых проблемой утилизации отходов, образующихся при добыче угля и бокситов соответственно, что ставит под вопрос устойчивость горнодобывающей промышленности Мозамбика в ближайшие годы.

После подписания в 1997 году в японском городе Киото «Киотского протокола», направленного на сокращение выбросов парниковых газов [3], можно было надеяться, что с этого дня следующие страны, которые начнут процесс индустриализации - особенно в горнодобывающем секторе, который несет ответственность за ряд экологических проблем, - будут выбирать более устойчивые и экологически безопасные средства. Несмотря на это, компании и организации по всему миру ищут

альтернативы для снижения воздействия промышленной деятельности на окружающую среду.

В контексте Мозамбика, слаборазвитой страны, повторное использование минеральных отходов открывает перед страной возможность расти и развиваться на основе экологически чистых технологий и методов, тем самым уменьшая свой экологический след и создавая больше возможностей, поскольку она выбирает переработку или повторное использование отходов.

В исследовании, проведенном на Пятом бразильском горном конгрессе по изучению характеристик хвостов, образующихся при добыче угля на шахте Чипанга в Тете, учитывались такие характеристики материала, как анализ золы, формы серы, влажность, минералогический состав и исследование мокрого клеточного выщелачивания. Был сделан вывод, что хвосты имеют более низкое содержание золы, но большое количество серы в мелкозернистых хвостах по сравнению с крупнозернистыми хвостами. Также было замечено, что во всех образцах кварц является основным компонентом; кальцит, кристаллическая форма карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), всегда присутствует в качестве второстепенного компонента. Присутствие пирита в этих хвостах не было выявлено, что является хорошим признаком, учитывая, что он является одним из компонентов [4].

Это очень ценно, поскольку означает, что данные хвосты вполне пригодны для гражданского строительства.

В другом исследовании, проведенном на XII симпозиуме по инженерно-геологической практике в южном регионе Бразилии, где анализировалась гранулометрическая кривая хвостов добычи бокситов из резервуара В, была отмечена высокая концентрация иловых частиц, около 62 %, и глины, около 26 % образца. Оставшаяся часть, около 12 %, может быть охарактеризована как мелкие частицы песка [5], что также позволяет предположить, что хвосты добычи этой руды могут быть использованы в гражданском строительстве.

Проанализировав вышеуказанную библиографию, мы увидели большой потенциал в производстве таких материалов, как:

Цемент: незаменимый материал для развития инфраструктуры и общественных сетей в стране. Хотя в Мозамбике имеются значительные залежи известняка и глины, незаменимых материалов для производства цемента, стоимость цемента остается высокой, что предрасполагает большинство населения к образу жизни, связанному с ненадежным строительством. Низкая зольность угольных отходов, добываемых в

провинции Тете, имеет большое значение для гражданского строительства, особенно для производства цемента, поскольку использование этого вида материала предполагает меньшее содержание примесей и значительное повышение качества и долговечности.

Бетон: еще одно большое применение этих отходов - смешивание с цементом для получения более прочного бетона, который может заменить использование гравия, обеспечивая большую надежность при строительстве зданий;

Строительный кирпич: как угольные, так и бокситовые отходы могут обеспечить лучшее качество и прочность кирпича, если превратить их в порошок и смешать с цементом.

В связи с частыми стихийными бедствиями, которые происходят в последние годы, в Мозамбике приветствуются более устойчивые и улучшенные альтернативы при строительстве зданий, и использование этих отходов может принести большую пользу и выгоду для страны.

Повторное использование отходов горнодобывающей промышленности имеет ряд преимуществ, в том числе сокращение деградации окружающей среды – фактор, имеющий большое значение с учетом реальной ситуации в стране перед лицом различных экологических проблем, затрагивающих различные районы страны.

### **Библиографический список**

1. <https://www.vulcaninternational.com/pt/products-services/>
2. <https://mina-alumina.com/mina-alumina-prospectus/>
3. [https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/66267/7/7\\_protocolo\\_kyoto.pdf](https://acervodigital.unesp.br/bitstream/123456789/66267/7/7_protocolo_kyoto.pdf); O Protocolo de Kyoto;
4. *Aline c. Da silva; jéssica weiler; beatriz a. Firpo; ivo a. H. Schneider; eunírio z.fernandes* – caracterização ambiental em termos de geração de drenagem ácidos rejeitos de carvão da mina de moatize – moçambique
5. *Amanda Reus; Helena Paula Nierwinski; Marcelo Heidemann; Edgar Odebrecht* –Caracterização Física de Amostras de Rejeito de Mineração de Bauxita e Ouro. XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul.

Мушенко Д.А., магистрант,  
Жиленко В.Ю, канд. биол. наук, доц.  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## АРХИТЕКТУРА БУДУЩЕГО: УМНЫЕ ГОРОДА И ЗЕЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*В статье рассматриваются вопросы формирования заказа городов и территорий на технологии «умного» города, неотъемлемой частью которого должны стать и зеленые технологии. Предлагаются возможности совмещения смарт- и зеленых подходов для городов и их отдельных секторов – промышленности, жилищного и коммунального хозяйства, коммерческой и общественной недвижимости.*

*Ключевые слова: умный город, смарт сити, зеленые технологии, цифровизация, энергоэффективность, ресурсосбережение, циклическая экономика.*

Архитектура будущего, особенно в контексте умных городов, представляет собой синтез современных технологий, устойчивого развития и инновационного урбанистического планирования. В основе этой концепции лежит использование умных технологий для повышения комфорта жизни людей, улучшения экологической ситуации и повышения эффективности использования ресурсов. Рассмотрим ключевые аспекты архитектуры будущего и её влияние на города и жизнь в них. [1]. "Зелёное" строительство, как концепция городского развития возникла в конце XX века в рамках международной программы по устойчивому развитию. В основе этой концепции лежит минимизация бытовых отходов и уровня выбросов углерода в атмосферу. Особое внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии, расширению зеленых зон, максимально эффективному водо- и электропользованию. Возводимые здания и сооружения должны обладать низким энергопотреблением. "Зелёное" строительство сегодня – это не просто тренд, а необходимость. Это направление привлекает инвесторов со всего мира. К 2030 году средства, вложенные в это направление, могут достигнуть 10 трлн долларов. Среди стран мира первенство по развитию "зелёного" строительства занимают Китай, США, Индия, Бразилия и Германия [2]. Значимым компонентом системы "умного" города является внедрение интернета вещей (IoT), который обеспечивает

взаимосвязь различных элементов городской инфраструктуры. Технологии больших данных и искусственного интеллекта используются для прогнозирования и оптимального распределения городских ресурсов. Перспективными направлениями считаются технологии дополненной и виртуальной реальности, а также геоинформационные системы. При этом особое внимание уделяется вопросам экологической устойчивости и энергоэффективности городского хозяйства. Эти две концепции довольно гармонично сочетаются и нередко реализуются в комплексе. Их интеграция позволяет создавать комфортную городскую среду нового поколения. Современные градостроительные проекты все чаще сочетают экологические принципы "зеленого" строительства с технологическими решениями "умных" городов [3,4]. Активное внедрение "зеленых" технологий происходит и в Сингапуре. Наиболее известными являются проекты вертикальных садов (например, Oasia Hotel, покрытый растениями) и здания с нулевым энергопотреблением (Solaris – здание с солнечными панелями). Одновременно создаются и "умные" районы. Ярким примером является цифровой район Пунгтол. В структуру района интегрирована цифровая магистраль Open Digital Platform (ODP), которая соединяет несколько интеллектуальных систем как на уровне района, так и на уровне здания. Она позволяет осуществлять мониторинг и управление в режиме реального времени объектами и системами, от интеллектуального охлаждения и освещения до роботизированных поставок. Этот интеллектуальный и технически развитый комплекс может создать 28 000 высокотехнологичных рабочих мест и разместить 12 000 студентов Сингапурского технологического института. Основной его задачей является внедрение новых способов работы и обучения [5]. Копенгаген, Дания – углеродно-нейтральный город к 2025 году. В Копенгагене реализуется план создания первого в мире углеродно-нейтрального города. СоренХилл – тепловая электростанция, работающая на сжигании мусора, практически с нулевыми выбросами в атмосферу. Площадь этого здания составляет 41 тысячу квадратных метров. Главной особенностью этой электростанции является наличие лыжного склона на крыше. Его длина составляет 400 метров, а высота 90. Покрытие склона составляет трава и пластиковая сетка, через которую она прорастает, в результате образуется щеточная поверхность, дающая тот же коэффициент трения, что и снег. С другой стороны на крыше расположен парк, где растут 7 тысяч кустарников и 300 деревьев [6]. Еще одним примером "зелёного"

строительства являются плавучие ветряные электростанции в Дании. В Северном море создается искусственный энергетический остров, который соединит все ветровые электростанции объединяя их в единую сеть. Проект носит название «Остров принцессы Елизаветы». В Марокко функционирует уникальный солнечный комплекс Noor Solar, использующий концентрированную солнечную энергию и способный вырабатывать электричество даже ночью. Сочетание "зелёного" строительства и "умных" технологий при создании современных городов необходимо по нескольким причинам. Во-первых, с помощью этих технологий обеспечивается экологическая устойчивость города. "Зелёное" строительство позволяет снизить углеродный след, а умные технологии помогают оптимизировать потребление. Во-вторых, повышение качества жизни. "Умные" города предлагают удобные сервисы, а зеленые пространства улучшают здоровье людей. В-третьих, экономическая эффективность. Сочетание этих двух направлений позволяет сокращать расходы на ресурсы, за счет оптимизации и введения новых технологических решений.

### **Библиографический список**

1. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision / United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. – New York: UN, 2018. – 126 p. – URL: <https://population.un.org/wup/> (дата обращения: 13.04.2025).
2. Зелёное строительство: принципы и технологии / А. В. Иванов [и др.]. – Москва: Стройиздат, 2020. – 320 с.
3. Smart sustainable cities of the future: A comprehensive review / S. E. Bibri, J. Krogstie // Sustainable Cities and Society. – 2017. – Vol. 31. – P. 183–212.
4. Умные города и зелёное строительство: интеграция технологий для устойчивого развития / А. Н. Ковалёв, Е. Л. Соколова // Устойчивое городское развитие. – 2022. – № 4 (15). – С. 56–72.
5. Punggol Digital District: концепция умного и устойчивого района в Сингапуре / Л. В. Миронова // Умные города и устойчивое развитие. – 2021. – № 3(12). – С. 34–48.
6. Zhilenko, V. Yu. Modern ecological framework of the city for the urban eco-tourism development / V. Yu. Zhilenko // Service and Tourism: Current Challenges. – 2024. – Vol. 18, No. 1. – P. 56-66.

## РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА В РОССИИ

*Экологический туризм – это важный сегмент туристической отрасли. В РФ больше всего уникальных мест для любителей экотуризма и площадь охраняемых природных территорий, в настоящее время экологический туризм бурно развивается, установлено, что в прошлом году, заповедные территории России посетили более 17,5 миллиона туристов, особо охраняемые природные территории федерального значения посетили около 15 миллионов человек.*

*Ключевые слова: экологический туризм, уникальные места, природоохранная сеть.*

Экологический туризм в России представляет собой важный сегмент туристической отрасли, где основным ресурсом служит естественная природная среда и её элементы: ландшафты, биологические компоненты экосистем, живописные пейзажи и другие природные факторы [1]. Это направление активно развивается, несмотря на то что Россия занимает лидирующие позиции в мире по площади охраняемых природных территорий. На начало 2020-х годов экотуризм составляет лишь 2% от общего объема туристической индустрии в стране.

Экологический туризм подразумевает путешествия в нетронутые человеком уголки природы. Хотя поездки к уникальным природным объектам и туристические походы существовали всегда, концепция экотуризма начала активно обсуждаться только в 1980-х годах. Наибольшее распространение экотуризм получил в Европе, США и других развитых странах. Самыми популярными направлениями для экологических путешествий стали страны Африки, Азии и Южной Америки, многие из которых сохранили свою первозданную природу, не подверженную влиянию технического прогресса.

По сравнению с западом экологический туризм в России начал развиваться относительно недавно. В первую очередь его тормозила сложная и дорогая логистика по стране. Да и без современных средств связи организовать такие путешествия было крайне сложно [2,3].



В России с ее огромной площадью, количеством климатических поясов и природных зон можно отыскать и арктические пустыни, и тундру с тайгой, и высокогорные регионы, и степи и пустыни. Многие из них – природные феномены, аналогов которым не встретить ни в одной другой стране [4]. Россия предлагает множество уникальных мест для любителей экотуризма [7,8].

Камчатка: территория огня и льда, где можно увидеть вулканы, бурых медведей и гигантских крабов. Это почти эпическое место, где человек ощущает себя гостем. Остров Врангеля: этот отдаленный остров в Чукотском море сохраняет исконную арктическую экосистему. Здесь морозы царствуют почти круглый год, и только в июле температура поднимается до положительных значений.

Природный парк «Ленские столбы»: погрузитесь в сердце Якутии и насладитесь фантастическими ландшафтами с гигантскими скалами вдоль реки Лены [5]. Озеро Байкал: это самое древнее, самое глубокое и самое большое пресноводное озеро в мире. Оно привлекает туристов не только своими пейзажами, но и богатым разнообразием эндемичной флоры и фауны. Каждое из этих мест представляет собой уникальную возможность для погружения в природу и изучения экосистемы России.

Природный заповедник расположен на севере Сибири за Полярным кругом. Некогда плато Путорана занимал громадный вулкан, от которого остались траппы – трещины в породе, застывшие в форме ступеней. Издалека они похожи на горы без верхушек, которые называют еще «столовыми».

Золотые горы Алтая – за романтическим названием которых скрываются три заповедника на Алтае: плато Укок, Катунский и Алтайский заповедники. В переливающихся разными цветами горах, запечатленных кистью Рериха, берут начало крупнейшие сибирские реки Обь и Иртыш, живут редкие снежные барсы, сибирские горные козлы и алтайские горные бараны аргали [6].

Лосиный остров – это один из первых национальных парков в нашей стране. Удобство состоит в том, что он располагается в черте города-столицы. Но не бойтесь, что из-за такой близости к большому городу вы не сможете насладиться природой. Ведь общая площадь парка составляет более 115-ти квадратных километров. Сколько бы туристов туда не приехало, вы все равно сможете найти укромное местечко для уединения с природой. На территории парка растут сосны, которым уже более ста лет. Весь парк поделен на зоны. Одна из них получила статус

«особо охраняемая территория». На ней находятся редчайшие виды животных, которые находятся на грани вымирания.

Куршская коса – это национальный парк, который является самым маленьким на территории России. Этот неширокий участок земли разделяет собой Балтийское море и Куршский залив. Здесь вы сможете насладиться чистейшими песчаными пляжами, которые находятся по соседству с реликтовыми лесами, березняками и сосновым бором. В зависимости от своего туристического опыта вы можете выбрать несколько маршрутов. Высокогорное плато Лаго-Наки – это жемчужина не только горной Адыгеи, а и всего Краснодарского края. Всех туристов завораживает нетронутая природа плато. Никто не останется равнодушным перед чистейшим горным воздухом и незабываемыми пейзажами. Туристы со всего мира приезжают сюда, чтобы побродить по горным массивам, умыться в горных прохладных родниках и сплавиться по бурлящим рекам [9,10]. В настоящее время экологический туризм в России набирает обороты: в 2021 году федеральные заповедники, заказники и национальные парки посетили около 10,6 млн человек. По данным на 2024 год, заповедные территории России посетили более 17,5 миллиона туристов. По информации на 2023 год, особо охраняемые природные территории федерального значения посетили около 15 миллионов человек. Самое большое количество гостей приняли национальные парки «Кисловодский» – 3,6 миллиона посетителей, «Сочинский» – 2 миллиона человек «Куршская коса» – 886 тысяч. Известно, что за последние пять лет природоохранная сеть пополнилась 23 новыми особо охраняемыми природными территориями. В результате площадь заповедных территорий увеличилась на 5,56 миллиона гектаров. К сегодняшнему дню открыто 15 визит-центров и 13 эколого-просветительских центров, создано свыше 65 объектов базовой инфраструктуры: переправы, гостевые дома, кемпинговые площадки, благоустроены берега рек и озёр. Оборудовано больше 70 экологических троп и туристских маршрутов. Благодаря чему отдых на природе становится комфортным и безопасным, специально оборудованная территория маршрутов защищает природу от излишнего влияния человека, а удобная навигация не позволяет заблудиться, и при этом позволяет увидеть самые красивые и интересные места.

Известно, что сегодня в особо охраняемыми природными территориями федерального значения функционирует 614 экологических троп общей протяжённостью 3151 километр и 896

туристических маршрутов, что примерно составляет около 50 тысяч километров.

### **Библиографический список**

1. Гененко, О.Н. Продвижение территории посредством событийных мероприятий: отечественный и региональный опыт. / О.Н. Гененко, Н.В. Посохова // Наука. Искусство. Культура. 2023 № 4 (40). С. 174-184.
2. Пендюрин, Е.А. Разработка и проектирование экологических туров. / Е.А. Пендюрин // Управление городом: теория и практика 2016 №3. С. 36-39.
3. Пендюрин, Е.А. Проектирование экологического тура в особо охраняемую природную территорию / Пендюрин Е.А., Ряднова С.А., Заманова И.Ф., Харьковская Е.В // Вектор ГеоНаук. 2018. Т. 1. № 4. С. 48-53.
4. Pendyurin, E. A. Analysis of natural prerequisites for the development of ecological tourism in the belgorod region / Pendyurin E.A., Glamazda S.N., Genenko O.N., Ryadnova S.A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. С. 012135.
5. Ширяевский, Д.С. Экологический туризм в субъектах азиатской части российской арктики: нормативно-правовой аспект / Ширяевский Д.С. В сборнике: Туризм в современном мире: проблемы и перспективы. Сборник статей по материалам XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Тула, 2025. С. 239-245.
6. Решетникова, Е. О. Перспективы и проблемы развития экологического туризма на территории Чукотского автономного округа на примере национального парка «Берингия» / Е. О. Решетникова, О. П. Баженова // Экология и управление природопользованием. – Томск. – 2017. – С. 41-42.
7. Дорофеев, А.А. К дискуссии о количестве экотуристов в России / Дорофеев А.А., Паршикова М.И // Сервис в России и за рубежом. 2023. Т.17. №7. С. 77–90.
8. Рудский, В.В., Сурова В.С. Экологический туризм: отечественный опыт развития и организации // Туризм и рекреация: фундаментальные и прикладные исследования: Сб. тр. XVIII Междунар. науч.-практ. конф., 25.04.2023. Гжель: Гжельский гос. ун-т, 2023. С. 196-202.
9. Киреева Ю.А. Современные тенденции развития экологического туризма в России / Киреева Ю.А., Филатова М.С., Охотников И.В., Сибирко И.В. // Экономика строительства. 2024. № 2. С. 49-55.
10. Охрименко Е.И. Экологический туризм в регионах: проблемы и перспективы развития / Охрименко Е.И., Радыгина Е.Г. // Вестник экономики, права и социологии. 2024. № 2. С. 291-295.

Пендюрин Е.А., препод.,  
Лебедева Ю.В., препод.,  
Гененко О.Н., канд. пед. наук, доц.  
(БГИИК, г. Белгород, Россия)

## БЛАГОУСТРОЙСТВО И ОЗЕЛЕНЕНИЕ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА БЕЛГОРОДА

*Городской образ жизни становится более привлекательным для человека. Основная задача озеленения и благоустройства территории заключается в создании комфортного и гармоничного окружения. Белгород можно отнести к благоустроенным городам, число зеленых насаждений на одного жителя по сравнению с предыдущим периодом выросло на 0,4 м<sup>2</sup>/чел. и составило 36,2 м<sup>2</sup>/чел.*

*Ключевые слова: благоустройство территории, зеленые насаждения города.*

Городской образ жизни становится все более и более привлекательным для человека. С 2001 года в городах проживает больше половины населения Земли, и этот показатель продолжает увеличиваться. На сегодняшний день городская среда представляет собой комплекс природных, природно-антропогенных и социально-экономических факторов, оказывающих большое и разнообразное воздействие на жителей городов. Городская среда жизни человека представлена совокупностью внутриквартирной жилой среды, искусственной среды вне квартир (предприятий, улиц, транспорта и др.), среды культурных ландшафтов (парков, садов, скверов и др.), естественной природной среды и социально-психологической, социально-экономическими средами [1].

Белгород, город в Российской Федерации, административный центр Белгородской области. Образует городской округ. Население около 400 тысяч человек. Расположен на южной окраине Среднерусской возвышенности, на реке Северский Донец. В города уличная сеть регулярного плана. Белгород можно отнести к благоустроенным городам, во многом это заслуга обусловлена существованием благоустроенных скверов и парков, а также наличие уникальных малых архитектурных форм, в том числе и тематических. Каждый благоустроенный озелененный участок – это маленький уголок природы, где можно отдохнуть от городской суеты и насладиться

красотой окружающего мира. Однако, чтобы создать уютное и гармоничное пространство, требуется правильное благоустройство и озеленение территории [2]. Независимо от размеров участка, задача озеленения и благоустройства имеет свои особенности и нюансы. Основная задача озеленения и благоустройства территории заключается в создании комфортного и гармоничного окружения, которое сочетает в себе функциональность и эстетическую привлекательность. Главные цели озеленения и благоустройства включают в себя: Создание зон отдыха и релаксации, где можно насладиться природой и провести время с семьей и друзьями. Улучшение микроклимата на участке, включая регулирование температуры и влажности, а также защиту от ветра и пыли. Улучшение внешнего вида участка и его ландшафтной композиции, создание гармоничных ансамблей и цветовых комбинаций. Озеленение участка может быть выполнено различными способами, включая использование растений, декоративных элементов и ландшафтного дизайна. Основные виды озеленения включают посадку растений. Это наиболее распространенный способ озеленения. При выборе растений следует учитывать климатические условия, особенности почвы и требования к уходу. Важно также подобрать растения, которые будут гармонично сочетаться друг с другом и создавать эстетически привлекательные композиции. Использование декоративных элементов, такие как фонтаны, скульптуры, садовые фигуры и др. Это поможет создать уникальный стиль и атмосферу на участке. Если говорить об озеленении городских улиц города Белгорода, то можно сказать что немного найдется городов, где ещё можно увидеть красивые клумбы, на разделительных полосах автомобильных дорог. В прошлом году на клумбах городского центра было высажено три миллиона четыреста тысяч различных цветочных растений. Среди разнообразных пород деревьев, используемых для озеленения города обычно используют Клён остролистный, Липу крупнолистную, Каштан конский, Тополь пирамидальный и серебристый. Листва деревьев активно улавливает пыль и снижает концентрацию вредных газов, причем эти свойства у разных пород проявляются в разной степени. Хорошо задерживает пыль листва вяза и сирени хвойные породы деревьев. Так, посадка из 400 молодых тополей за летний сезон улавливает до 340 кг пыли, а вяза – в 6 раз больше. Известно, что одно взрослое дерево очищает от поступающих выхлопных газов пространство объемом до 20-30 тыс. м<sup>3</sup>. По количеству поглощаемого углекислого газа и выделяемого

кислорода 25-летний тополь превосходит ель в 7 раз, а по степени увлажнения воздуха – почти в 10 раз. Анализ структуры зеленых насаждений города Белгорода показывает, что в городе имеются насаждения различных категорий:

а) общего пользования (дворовые сады, скверы, бульвары, парки культуры и отдыха, загородные парки;

б) ограниченного пользования (сады и парки медицинских учреждений, школ, детских садов, предприятий и др.);

в) зеленые насаждения специального назначения (зоопарк, сады кладбищ, питомники, ботанический сад) [3]. В 2023 г. доля озелененных территорий города Белгорода составила 53,1%. Общая площадь зеленых насаждений составила 4 890 га. Больше всего их находится в скверах, парках и лесопарках рисунок.1. Площадь, благоустроенная за отчетный период, по сравнению с 2022 г. возросла в 1,6 раза и составила 273,6 тыс. м<sup>2</sup>. За год в городе высажено 2 113 310 цветов это на 24% меньше, чем в 2022 г., 18 347 ед. кустов это на 59,9% больше, чем в 2022 г. и 1 082 саженца и сеянца деревьев это на 7% больше, чем в 2022 г. Число зеленых насаждений на одного жителя по сравнению с предыдущим периодом выросло на 0,4 м<sup>2</sup>/ чел. и составило 36,2 м<sup>2</sup>/ чел.

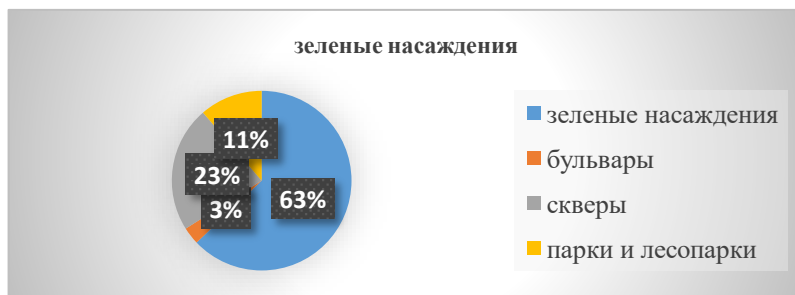


Рис. 1. Зеленые насаждения города Белгорода

Обязательным элементом любого зеленого строительства являются цветники, в которые входят клумбы, рабатки, группы, одиночные и другие посадки на фоне газона. В Белгороде такие клумбы можно наблюдать по улице Ватутина. Нередко можно встретить цветники имеющие необычную форму, к примеру, в г. Белгороде вблизи одной из объездных дорог расположился огромный цветник в форме Белгородской области, а напротив памятнику Князю Владимиру уже

много лет территорию, прилегающую к автодороге, украшает цветник в форме часов, который не только радует своим цветением весной и летом, но и показывает точное время. В июле 2024 года в Белгороде провели масштабную инвентаризацию зелёных насаждений. Все элементы городского озеленения занесены на интерактивную карту и в базу данных. Самым распространённым видом растений в Белгороде оказалась сирень более 13,5 тысячи. Также часто встречаются клён остролистный, липа крупнолистная и конский каштан обыкновенный. Редко можно встретить Вишню мелкопильчатую, Платан восточный, Рододендрон гибридный и Павлонию войлочную. Некоторые примеры озеленения территории города Белгорода. Набережная Везелки. На участке от парка «Берега» до спортивного кластера высажено 124 дерева, более 6,5 тысячи кустарников и более 1100 многолетних цветочных растений. пляж «Берега». Высажено более 250 деревьев, разбито 1100 м<sup>2</sup> цветников и более 3 га газонов. Среди растительности преобладают ивы, сосны, лиственницы, берёзы, а также многолетники. Следует отметить, что в городе внедряется географическая информационная система (ГИС) для управления зелёным хозяйством. В будущем все операции с городскими зелёными насаждениями – посадка новых деревьев и кустарников, обрезка существующих деревьев, вырубка аварийных видов – будут фиксироваться в режиме реального времени.

### **Библиографический список**

1. Чернявских, В.И. К вопросу о зеленом строительстве в городе Белгороде / Чернявских В.И., Думачева Е.В //Управление городом: теория и практика, 2017. – № 3 (26). – С. 45-52.
2. Клевцова, М.А. Биоиндикационная оценка урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной нагрузки (на примере города Белгорода) / Клевцова М.А. // Астраханский вестник экологического образования. 2022, №5 (71). С. 191-199.
3. Семченкова А.Д., Мониторинг зеленых насаждений города Белгорода / Семченкова А.Д., Пендюрин Е.А. // Актуальные вопросы охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности промышленных регионов. Материалы Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Т.А. Красновой. 2017. С. 323-325.

## АНАЛИЗ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕКИ ГУАЯС В ЭКВАДОРЕ

*Рассмотрены значения суммы активных температур и ГТК для реки Гуаяс, сопоставлено с агроклиматического зонирования в зависимости от условий влагообеспеченности, определены основные расчетные гидрологические характеристики реки*

*Ключевые слова: река Гуаяс, климат, гидрологические характеристики, сумма активных температур, характеристика водосбора.*

Эквадор – страна, богатая водными ресурсами, но, как и другие страны, он сталкивается со значительными проблемами в управлении ими и их использовании. Статья 12 Конституции Эквадора устанавливает, что право человека на воду является основополагающим и неотъемлемым, и что указанный ресурс представляет собой стратегическое национальное наследие для общественного пользования, неотчуждаемое, неотъемлемое и необходимое для жизни. [1]. Объект исследования река Гуаяс расположен в провинции Гуаяс, в городе Гуаякиль на побережье Эквадора и обладает следующими характеристиками : климат тропической саванны с теплой и постоянной температурой круглый год [2]. Ниже приведены характеристики по годовому количеству осадков ( $Q, \text{мм}$ ) ; среднегодовой температуре ( $t, ^\circ\text{C}$ ) [3]. и испарения суши ( $E_s, \text{мм}$ ) [4] (табл. 1). Продолжительностью теплого ( $T_{\text{тепл.}}, \text{сут}$ ) и холодного ( $T_{\text{хол.}}, \text{сут}$ ) периодов, суммой активных температур ( $\sum (t_{\text{акт}} \geq 0^\circ\text{C})$ ) и значением гидротермического коэффициента (ГТК). Сумма активных температур - сумма положительных среднесуточных температур после их устойчивого перехода через  $0^\circ\text{C}$ .

Данную величину оценили по среднемесячным температурам, представляемых в табл. 1, используя выражение

$$\sum (t_{\text{акт}} \geq 0^\circ\text{C}) = \sum (t \geq 0^\circ\text{C}) \cdot 30$$



$$= \sum (t \geq 0^{\circ}\text{C}) \cdot 30$$

$$= \sum (24,8 + 25 + 25,3 + 25,3 + 24,7 + 23,6 + 23,1 + 23 + 23 + 23,3 + 23,7 + 24,6) \cdot 30 = 8682^{\circ}\text{C}$$

Таблица 1 -Средне многолетние значения осадков (Q,мм), испарения с суши (Ес,мм) и температуры воздуха (t, °С)

Факт ор	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Q, мм	253	390	395	323	239	155	124	89	101	73	57	122	2321
Ес,мм	66,1	92,5	96,8	138,1	136,7	121,8	109,9	125,7	133,7	145,8	159,5	154,5	1481
t, °С	24,8	25	25,3	25,3	24,7	23,6	23,1	23	23	23,3	23,7	24,6	24,12

Сумма активных температур  $\sum (t_{\text{акт}} \geq +24,12^{\circ}\text{C}) = 8682^{\circ}\text{C}$ .

Значение ГТК определяется по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{Q, \text{ мм}}{E_c, \text{ мм}}$$

$$\text{ГТК} = \frac{2321}{1481} = 1,56$$

Величина гидротермического коэффициента составляет ГТК=1,56.

В ходе расчетов суммой активных температур было получено  $\sum (t_{\text{акт}} \geq 0^{\circ}\text{C}) = 8682^{\circ}\text{C}$ . и в соответствии с агроклиматическими зонами в зависимости от количества активных температур этот результат находится в диапазоне >8000, что означает, что климатическая зона жаркая.

Жаркая зона характеризуется тем, что культурные растения дают урожай два раза в год.

Рассчитав значение ГТК для реки Гуаяс, сопоставлено с агроклиматического зонирования в зависимости от условий влагообеспеченности, получили, что река Гуаяс находится в диапазоне избыточного увлажнения.

Агроклиматическое районирование по условию влагообеспеченности. В зоне избыточного увлажнения возрастает необходимость осушения земель. По классификации рек по площади водосбора бассейна, который составляет 34 500 км<sup>2</sup>, Гуаяс может быть отнесена к средним рекам. Гидрологические расчеты выполняются в соответствии с СНиП 2.01.14-83 "Определение расчетных гидрологических характеристик"[6]. Гидрологическими характеристиками водосбора реки являются: водосборная площадь  $F$ , км<sup>2</sup>, длина реки  $L$ , км, модуль стока воды  $g$ , л/с·км<sup>2</sup>, заозеренность  $f_{оз}$ , заболоченность  $f_{бол}$ , залесенность  $f_{л}$  и распаханность  $f_{паш}$  территории. К гидрологическим характеристикам реки относятся: норма стока воды в реке  $W_p$ , млн.м<sup>3</sup>, среднегодовой расход воды  $Q_p$ , м<sup>3</sup>/с, коэффициенты вариации  $C_v$  и асимметрии  $C_s$ , уклон реки  $I_p$ , ‰. [7,8] (табл.2).

Таблица 2 - Гидрологические характеристики

Створ	L, км	F, км <sup>2</sup>	g, л/с* км <sup>2</sup>	I <sub>p</sub> , ‰	Q <sub>p</sub> , м <sup>3</sup> /с	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	Площадь угодий, %			
								F <sub>оз</sub>	F <sub>бол</sub>	F <sub>л</sub>	F <sub>паш</sub>
1-1	60	34 500	33,5	0,001	1157	1,2	0	0,0	2	15	75

Расчетная норма стока составила 36 452 млн.м<sup>3</sup>. В табл. 3 представлено внутригодовое распределение объемов стока обеспеченностью 95%.

Таблица 3 - Внутригодовое распределение объемов стока воды в створе 1-1, млн.м<sup>3</sup>

P, %	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
95	382,57	578,30	623,03	582,64	385,48	198,97	127,01	67,61	82,63	85,41	100,27	150,75	3364,77

Таким образом нами определены основные гидрологические характеристики реки Гуаяс, которые необходимы для оценки изменения годового стока реки в результате антропогенной деятельности на водосборной площади.

### **Библиографический список**

1. Constitución de la República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial No. 449. Artículo 12. Disponible en <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Constitucion.pdf>. (дата обращения: 05.04.2025).
2. Gráfico Climático de Guayaquil, Ecuador / [Электронный ресурс] // Climechart : [сайт]. – URL: <https://www.climechart.com/es/grafico-climatico/guayaquil/ecuador> (дата обращения: 23.03.2025).
3. Río Guayas / [Электронный ресурс] // Wikipedia : [сайт]. — URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/Río\\_Guayas](https://es.wikipedia.org/wiki/Río_Guayas) (дата обращения: 02.05.2025). Montaña Armijos, M., Sanfeliu Montolío, T. Ecosistema Guayas (Ecuador). Medio ambiente y Sostenibilidad. [Текст] / Montaña Armijos, M., Sanfeliu Montolío, T. // Revista Tecnológica ESPOL. – 2008. – № Vol. 21. – С. 1–6.
4. Provincia del Guayas / [Электронный ресурс] // WIKIPEDIA : [сайт]. – URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia\\_del\\_Guayas](https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_del_Guayas) (дата обращения: 04.05.2025).
5. La cuenca del Río Guayas: la región más fértil del Ecuador / [Электронный ресурс] // Ecuador Today : [сайт]. – URL: <https://ecuadortoday.media/2020/10/26/la-cuenca-del-rio-guayas-la-region-mas-fertil-del-ecuador/> (дата обращения: 02.05.2025).
6. СНиП 2.01.14–83. Определение расчетных гидрологических характеристик/Гострой СССР . – М .: Стройиздат, 1985. – 36 с.
7. Recursos Hídricos del Ecuador / [Электронный ресурс] // Instituto del Agua : [сайт]. – URL: <https://institutodelagua.es/recursos-hidricos/recursos-hidricos-del-ecuadorrecursos-hidricos/> (дата обращения: 26.03.2025).
8. Cuenca hidrográfica Fuente / [Электронный ресурс] // ResearchGate : [сайт]. – URL: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Cuenca-hidrografica-Fuente\\_fig2\\_302930473](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Cuenca-hidrografica-Fuente_fig2_302930473) (дата обращения: 26.03.2025).

Святченко А.В., канд. техн. наук, доц.,  
Михайлов И.С., студент,  
Косолапов В.П., студент  
(Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## **ПРОБЛЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ОТХОДОВ ЯМАЛО- НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА**

*Рассмотрены некоторые проблемы накопления отходов производства и потребления на территории Ямало-ненецкого автономного округа. Сегодня регион сталкивается с серьезными экологическими вызовами, связанными с загрязнением окружающей среды. На территории имеется 41 объект размещения отходов, которые не включены в ГРОРО и в перечень объектов размещения ТКО на территории субъекта. К ключевой проблеме размещения отходов на рассматриваемой территории можно отнести постоянное увеличение объемов производства. Внедрение государственных программ по управлению отходами, оптимизация законодательства и контроль за выполнением норм могут помочь в решении проблемы.*

*Ключевые слова: полезные ископаемые, ТКО, ЯНАО, промышленность*

Проблема накопления отходов производства и потребления сегодня является одной из основных в мире [1-2].

На территории России в 2023 г. было образовано более 9,2 млрд. т отходов. Высокие значения показателей отмечаются в регионах в первую очередь с развитой отраслью добычи полезных ископаемых. В разрезе федеральных округов РФ Уральский федеральный округ (УФО) занимает 4 место по распределению объема образования отходов производства и потребления [3].

При этом территория УФО занимает всего лишь около 10 % от всей территории России. В состав УФО входит 6 субъектов, одним из которых является Ямало-ненецкий автономный округ (ЯНАО).

Для ЯНАО вопрос накопления отходов становится все более актуальным на фоне быстрого роста населения и интенсивной хозяйственной деятельности. Регион, обладая уникальной природой средой и богатыми ресурсами, сталкивается с серьезными экологическими вызовами, связанными с фрагментацией экосистем и загрязнением окружающей среды.

Одной из ключевых проблем является недостаточная инфраструктура для утилизации отходов. Многим населённым пунктам не хватает современных полигонов и перерабатывающих предприятий, что приводит к накоплению отходов на улицах и на природных территориях. Также значительно затруднено управление отходами в удаленных районах, где логистика транспортировки отходов является сложной и дорогостоящей, а суровые климатические особенности региона усугубляют ситуацию.

Не менее важной является и проблема осведомленности населения. Нередко жители не понимают значимости раздельного сбора отходов и устойчивого потребления, что усложняет ситуацию.

Для решения этих задач необходимы комплексные меры: внедрение образовательных программ, развитие экологической инфраструктуры и активное вовлечение местных жителей в процесс управления отходами.

Только совместными усилиями можно улучшить экологическую ситуацию в округе и сохранить природные богатства для будущих поколений.

Важными факторами с точки зрения организации сбора и удаления отходов для северного региона являются: продолжительные периоды преобладания низких температур, большое количество осадков в зимний период, снегопереносы.

В этих условиях усложняется эксплуатация специального оборудования и транспортных средств, срок службы которых резко сокращается из-за повышенной хрупкости металла и резины.

Согласно данным государственного реестра объектов размещения отходов (ГРОРО) [4] на территории ЯНАО располагаются 121 полигон отходов, из которых только на 96 отмечено отсутствие влияния на окружающую среду.

По информации Минприроды России [5] еще 41 объект размещения отходов не включен в ГРОРО и в перечень объектов размещения ТКО на территории субъекта, что является нарушением ФЗ «Об отходах производства и потребления».

При этом ряд источников [5-6] указывают, что на территории ЯНАО имеются так называемые свалки, т.е. территории, где размещаются отходы без соблюдения правил эксплуатации и требований санитарных норм.

К ключевой проблеме размещения отходов на территориях с развитой нефтяной и газовой промышленностью, таких как ЯНАО, можно отнести постоянное увеличение объемов производства.

С развитием промышленности, а следовательно, и с ростом населения, наблюдается резкое увеличение объемов отходов производства и потребления.

Это требует создания новых инфраструктурных объектов по обращению с отходами. Многие населенные пункты, особенно удаленные, сталкиваются с недостатком современных систем по сбору и утилизации отходов. На контейнерных площадках по сбору ТКО выявляют нарушения по обустройству, а также наблюдаются нарушения санитарно-эпидемиологических требований при нехватке места и дальнейшего переполнения контейнеров.

Увеличение отходов и их неэффективное управление отрицательно сказываются на экологии любого региона.

Происходит загрязнение близлежащих территорий, почв, подземных вод вследствие отсутствия твердых бетонированных/асфальтных покрытий или ограждений, обеспечивающих предупреждение распространения отходов за пределы контейнерной площадки.

При длительном накоплении ТКО происходит разложение и наблюдаются соответствующие выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Подобные выбросы негативно влияют на здоровье населения, приводя к распространению различных заболеваний, а также представляют серьезную угрозу для уникальных природных экосистем ЯНАО. Перечисленные проблемы значительно усугубляются, когда подобное происходит на площадках хранения с отходами производства [7-8].

Таким образом, чтобы решить проблему накопления отходов необходимы инвестиции в инфраструктуру современных сетей по обращению с отходами.

Внедрение государственных программ по управлению отходами, оптимизация законодательства и контроль за выполнением норм могут помочь решить проблемы в этой области. Привлечение местных и федеральных предпринимателей к разработке государственных программ и внедрению новых технологий и методов по управлению отходами может привести к более эффективным решениям.

### **Библиографический список**

1. Чуйков, Ю. С. Проблемы выявления и ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде в Российской Федерации [Электронный ресурс] / Ю. С. Чуйков, Л. Ю. Чуйкова // Отходы и ресурсы. – 2024. – Т. 11. – №

1. – URL: <https://resources.today/PDF/04NZOR124.pdf> DOI: 10.15862/04NZOR124.

2. Святченко, А.В. Современный взгляд на утилизацию отходов стекла и изделий из стекла / А.В. Святченко, С.И. Барабанщикова // Всероссийская научная конференция «Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования», Белгород, 23-27 октября, 2023. С. 263-267.

3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада. – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. – 707 с.

4. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия: [сайт]. – Государственный реестр объектов размещения отходов. – URL: <https://fcao.ru/grogo> (дата обращения: 23.04.2025). – Текст: электронный.

5. Зеленый фронт: [сайт]. – Ключевые полигоны ТКО в ЯНАО работают вне правового поля. – URL: <https://greenfront.su/post/6576?ysclid=m7z7wfc7t62037247> (дата обращения: 24.04.2025). – Текст: электронный.

6. Бурдыгин, С. А. Проблемы системы утилизации твердых бытовых отходов в ЯНАО [Электронный ресурс] / С. А. Бурдыгин // Молодой ученый. – 2016. – № 8 (112). – С. 475-477. – URL: <https://moluch.ru/archive/112/28363>.

7. Постановление Правительства Российской Федерации от 31.08.2018 N 1039 «Об утверждении Правил обустройства мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов и ведения их реестра».

8. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Об утверждении санитарных правил и норм 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».

## ОЦЕНКА ВОМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИДОННЫХ ОСАДКОВ ОЗЕРА ЗАВЬЯЛОВО

*Описана технология восстановления оз. Завьялово, рассмотрены перспективы использования изымаемых осадков. Подтверждена возможность использования донных отложений в качестве сапропелевого удобрения посредством инфракрасной Фурье-спектроскопии.*

*Ключевые слова:* донные отложения, реабилитация озер, ИК-спектроскопия, сапропель, органическое удобрение, тяжелые металлы.

В рамках реализации федерального проекта «Сохранение уникальных водных объектов» национального проекта «Экология» осуществляется реабилитация оз. Завьялово, расположенного в Завьяловском районе Алтайского края. Технологический комплекс работ предусматривает изъятие донных отложений с применением землесосных снарядов.

Полученная гидросмесь транспортируется к местам размещения, которыми служат карты намыва или геотубы. Для ускорения процесса обезвоживания донных осадков в откачанную гидросмесь вводится флокулянт, способствующий агрегации дисперсных частиц и улучшению седиментации.

Донные отложения оз. Завьялово по результатам термогравиметрического анализа имеют около от 23 до 34 % органической составляющей. Образцы ила, высушенные на воздухе, твердые, плохо поддаются измельчению, что может свидетельствовать о содержании сапропеля.

Сапропели классифицируются как тонкодисперсные коллоидные осадочные породы, формирующиеся в пресноводных водоемах.

Их образование является результатом комплексного взаимодействия физико-механических, биохимических и микробиологических процессов, воздействующих на остатки акваторической биоты, биогенные неорганические компоненты и минеральные примеси аллохтонного характера. Сапропели характеризуются высоким содержанием органического вещества,



составляющим не менее 15% от сухой массы, а также присутствием минеральных компонентов.

Органическая фракция сапропелей включает битумы (липиды) – группу гидрофобных соединений, таких как высшие жирные кислоты и стероиды, а также гуминовые вещества, демонстрирующие хорошую растворимость в щелочных средах и представленные гуминовыми и фульвокислотами. Неорганическая составляющая представлена разнообразными минеральными фазами, происхождение которых может быть, как аллохтонным, так и автохтонным.

В совокупности эти компоненты формируют устойчивый органоминеральный комплекс, определяющий ключевые физико-химические и механические свойства сапропелей. Минеральная часть содержит значительные концентрации макроэлементов (Ca, Si, N, S, P, K) и содержит широкий спектр эссенциальных микроэлементов (Fe, Cu, Zn, Ni, Ag, Mg, Mo, Mn, Cr, Co, Se, Al и др.) [1].

Формирование органической составляющей сапропелей обусловлено аккумуляцией на дне водоемов биомассы, различного происхождения. Существенная фракция органического вещества представлена остатками автохтонных организмов, относящихся к первичным продуцентам акваторической экосистемы – фитопланктона и макрофитов, которые синтезируют органическое вещество в процессе фотосинтеза. Кроме того, в состав сапропелей входят остатки гетеротрофных организмов, принадлежащих к различным трофическим уровням консументов водоема, включая зоопланктон, разнообразных беспозвоночных и представителей ихтиофауны, питавшихся первичными продуцентами или другими консументами.

Сапропель рассматривается как перспективное органоминеральное удобрение, обладающее высоким содержанием органического вещества и значительной долей гуминовых веществ. Эти характеристики способствуют повышению плодородия почвы и оптимизации её агрофизических свойств.

Результаты проведённых исследований показывают, что использование сапропеля приводит к снижению гидролитической кислотности почв, улучшению их структуры и водно-воздушного режима, а также к увеличению концентрации макро- и микроэлементов. Указанные эффекты обуславливают рост урожайности ряда сельскохозяйственных культур таких как кукуруза, сахарная свекла, картофель, капуста, злаковые [2].

Пролонгированный эффект сапропеля на плодородие почв отмечается на протяжении 2–4 лет после его внесения.

Кроме прямого воздействия на плодородие, сапропель проявляет мелиорирующие свойства, выражающиеся в оптимизации агрохимических параметров почвы, отсутствии кумуляции тяжёлых металлов и редукции численности патогенной микрофлоры.

Данный материал является экологически безопасным и может быть интегрирован в системы органического земледелия.

Оценить агротехнический потенциал придонных осадков возможно по присутствию в них гуминовых соединений. С этой целью образцы ила подвергались анализу методом инфракрасной Фурье-спектроскопии. Результаты исследований представлены на рисунке 1.

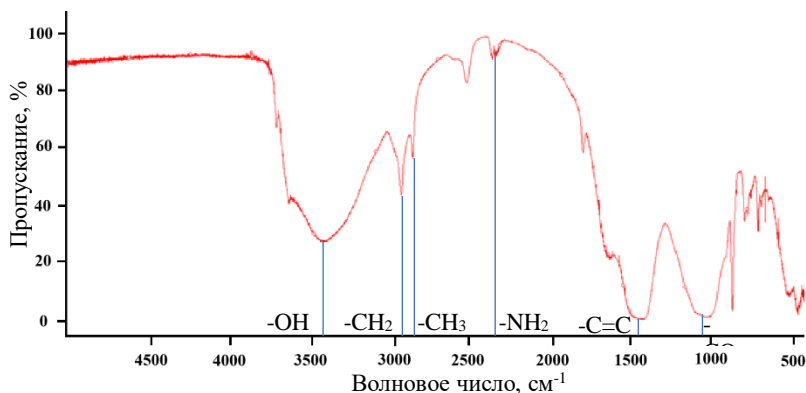


Рис. 1. ИК-спектр донных отложений

В работе [3] авторы проводили изучение ИК-спектров гумусовых кислот, выделенных из различных субстратов. Спектр для гуминовых кислот, полученных на основе гумата цинка, имеет несколько совпадающих пиков со спектрами донных отложений оз. Завьялово (рис. 1). Эти пики находятся в областях длин волн, соответствующих группам -OH, -CH<sub>2</sub>, -CH<sub>3</sub>, NH<sub>2</sub>, C=C, CO<sub>угл.</sub>, т.е. показывают наличие органических соединений.

Таким образом изучаемые придонные осадки содержат соли гуминовых кислот, что делает целесообразным их использование в составе сапропелевого удобрения.

Проведенные исследования выявили соответствия показателей придонного ила требованиям ГОСТ как по содержанию ионов тяжелых металлов, так и органических соединений [4, 5].

Применение придонного осадка оз. Завьялово в составе сапропелевых удобрений исключит их накопление на картах намыва и позволит повышать плодородие сельхозугодий.

### Библиографический список

1. Адеева Л. Н., Коваленко Т. А., Кривонос О. И., Плаксин Г. В., Струнина Н. Н. Определение химического состава сапропеля // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2009. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-himicheskogo-sostava-sapropelya> (дата обращения: 18.05.2025).

2. Митюков Алексей Савельевич, Румянцев Владислав Александрович, Крюков Леонид Николаевич, Ярошевич Георгий Степанович Сапропель и перспективы его использования в аграрном секторе экономики // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2016. №2 (39). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sapropel-i-perspektivy-ego-ispolzovaniya-v-agrarnom-sektore-ekonomiki> (дата обращения: 18.05.2025).

3. Корельская Т. А., Румянцева Т. И. Строение гумусовых кислот как функция выполнения ими экопротекторной роли в отношении тяжелых металлов // Журнал СФУ. Химия. 2014. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stroenie-gumusovyh-kislot-kak-funktsiya-vypolneniya-imi-ekoprotektoynoy-rol-i-v-otnoshenii-tyazhelyh-metallov> (дата обращения: 19.05.2025).

4. Скорикова Д.П., Лазуткина Ю.С., Горелова О.М. Исследования по применению флокулянтов для восстановления пресноводных озер // Ползуновский вестник. 2025. No 1, С. 232–237.

5. ГОСТ 54000-2010 Удобрения органические. Сапропели. Общие технические условия. Москва. Стандартинформ. 2011. – 12.

Старостина И.В., канд. техн. наук,  
Бек С.С., аспирант,  
Лифинцев А.Н., аспирант,  
Лушников А.С., аспирант  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ ВОДНЫХ СРЕД**

*Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами относится к одной из глобальных экологических проблем современного мира. В качестве эффективных сорбционных материалов для извлечения нефтезагрязнений из водных сред рассматриваются углеродсодержащие, полученные на основе отходов промышленного и сельскохозяйственного производства.*

*Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, сточные воды, токсичность, углеродсодержащий адсорбционный материал, нефтеемкость.*

Нефтяная промышленность - одна из отраслей, производящих сточные воды с высоким потенциалом загрязнения. Завода из-за высокой токсичности и устойчивости к биологическому разложению могут нанести серьезный ущерб экосистеме [1]. Эти сточные воды состоят из высоких концентраций ароматических и алифатических углеводородов, которые обычные методы биологической очистки не могут обработать. Поэтому исследователи применили усовершенствованный процесс окисления в качестве многообещающих методов удаления и повышения способности к биоразложению устойчивых сточных вод [2].

Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами относится к одной из глобальных экологических проблем современного мира. При добыче, хранении, транспортировке, переработке и использовании нефти и нефтепродуктов происходит загрязнение воды, воздуха, почвы, а ее разливы оказывают угнетающее воздействие на растительный и животный мир. В результате техногенных аварий, сброса неочищенных и недоочищенных сточных вод, неорганизованного отвода ливневых стоков и смылов с загрязненных производственных территорий являются причинами повышения концентрации нефтепродуктов в поверхностных водоемах, а иногда и в

подземных источниках питьевого водоснабжения. Так общее количество нефти и нефтепродуктов, попадающих ежегодно в Мировой океан, согласно исследованиям [3], составляет от 6 до 12 млн т. Нефтеперерабатывающие заводы - это центры использования воды, которые часто расположены в непосредственной близости от крупных городов, а иногда и в городах. Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов образуются в процессе переработки сырой нефти и производства топлива, смазочных масел и нефтехимических продуктов среднего уровня, которые характеризуются высоким потенциалом загрязнения. Они включают масла, смазки, а также многих токсичных нефтяных соединений, в том числе ароматические и алифатические углеводороды в достаточно высоких концентрациях [4]. Анализ данных о сбросе загрязняющих веществ в сточных водах в поверхностные природные водоемы Российской Федерации за 2014-2023 гг. (рис. 1) показал тенденцию на снижение сбросов по ряду веществ, в том числе и НП. Хотя снижение поступления нефти и НП в поверхностные водоемы РФ в 2023 году по сравнению с 2022 г составило 18,9%, но объем поступления все равно остается на высоком уровне – 2,155 тыс. т.

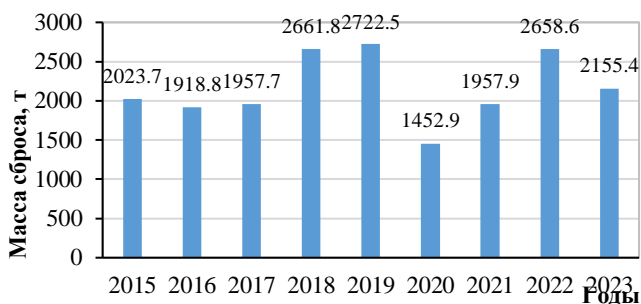


Рис. 1. Динамика сброса нефти и нефтепродуктов в составе сточных вод в поверхностные природные водные объекты РФ, 2014 – 2023 гг. [5].

Подобные стоки характеризуются высокой токсичностью и устойчивостью к биологическому разложению, что делает их потенциально опасными загрязнителями, которые при попадании в окружающую среду могут нанести серьезный ущерб экосистеме [1].

Концентрация и состав нефтезагрязнений конкретных предприятий определяется преимущественно используемыми товарными

нефтепродуктами. Это автомобильное (бензины, легроины, газойли), дизельное (смесь керосиновых и соляровых фракций крекинга нефти, каталитический газойль), котельное топливо (мазуты) и смазочные материалы. Основная особенность нефтезагрязнений в сточных водах – меньшая плотность по сравнению с водой (бензин  $0,7 - 0,76 \text{ г/см}^3$ , дизельное топливо –  $0,8 - 0,9$ , реактивное топливо –  $0,8 - 0,85$ , мазут –  $0,95 - 1,0 \text{ г/см}^3$ ) и низкая растворимость в воде. Для легких фракций нефти (бензинов) она не превышает  $20 - 30 \text{ мг/дм}^3$ , для керосинов –  $70 - 90 \text{ мг/дм}^3$ , а для тяжелых фракций, например, мазута – практически равна нулю [6, 7]. Нефтепродукты в зависимости от дисперсности могут присутствовать в сточных водах в различном состоянии: свободном, что позволяет формировать пленки различной толщины на поверхности воды, эмульгированном и растворенном. Растворимые фракции нефтепродуктов это, как правило, компоненты с полярными связями: фенолы, низкомолекулярные ароматические углеводороды, органические кислоты. Их растворимость зависит от времени контакта. Так, с увеличением времени от 2 до 120 ч содержание нефти в воде возрастает от  $0,2$  до  $1,4 \text{ мг/л}$  [8]. В виде эмульсий в воде обычно существуют неопределенные соединения, полиароматические углеводороды, жирные и нафтенновые кислоты [9].

Для очистки промышленных стоков от эмульгированных и растворенных нефтепродуктов на стадии физико-механической очистки применяют реагентные методы: коагуляцию, флотацию, флокуляцию, обратный осмос, ионный обмен и адсорбцию. Сорбционные методы на сегодняшний день наиболее широко распространены в практике водоочистки. Они позволяют удалить как растворенные, так и эмульгированные нефтепродукты из водной среды с высокой эффективностью, достигая низких остаточных концентраций [8, 10, 11].

Для очистки промышленных стоков от нефтепродуктов в основном используются механические и биологические методы. Однако использование этих групп методов не позволяет достигать значений ПДК. Отсюда возникает необходимость введения в технологическую схему водоочистки стадии доочистки. Одним из наиболее широко используемых и эффективных методов доочистки воды от нефтепродуктов является сорбция [11]. Популярность сорбционного метода обусловлена его объективными преимуществами: отсутствие вторичных загрязняющих веществ, возможность удаления поллютантов различного происхождения различных концентраций до нормативных

значений или их полного удаления [12]. В качестве сорбентов используют материалы различной природы и происхождения. В настоящее время разработано более 300 различных видов сорбционных материалов для удаления нефтепродуктов. К наиболее популярным относятся углеродные материалы на основе активированных углей, которые характеризуются высокой эффективностью очистки, однако являются дорогостоящими. Поэтому разработка новых видов нефтесорбентов, обладающих не только высокой эффективностью извлечения НП, но и экономической целесообразностью, является актуальной задачей. В этом плане очень актуальным является развитие направления по использованию отходов промышленного и сельскохозяйственного производства либо в качестве готовых сорбционных материалов, либо в качестве сырьевых материалов для их получения. Такой подход позволяет не только получить новые дешевые сорбционные материалы, но и использовать вторичное сырье. В настоящее время большое внимание уделяется получению углеродсодержащих сорбционных материалов, особенно в результате низкотемпературной модификации различных сырьевых компонентов. В результате – получается сорбционный материал, обладающий бифункциональными свойствами, т.е. эффективный в отношении различных загрязнителей – как минерального, так и органического характера. Это позволяет расширить область их применения и эффективно использовать для обезвреживания многокомпонентных сточных вод.

В работе [13] представлены результаты исследований применения сорбента «SynergySorb® ПС-1000» на основе модифицированного гидролизного лигнина для очистки сточных вод крупных нефтеперерабатывающих предприятий. Показано, что развитая система микро- и мезопор сорбента эффективно поглощает легкие фракции углеводородов, снижая общее содержание нефтепродуктов в сточной воде на 94% и интенсивность запаха вблизи открытых очистных сооружений с 5 до 2 баллов. Средняя эффективность очистки до проскока нефтепродуктов составила 94%, интенсивность запаха воды в результате испытаний снижена с 5 до 2 баллов. Полная динамическая обменная емкость сорбента по нефтепродуктам составила 0,605 г/г при фильтрации сточных вод одного из крупных российских нефтеперерабатывающих заводов.

В работах [14, 15] показана возможность получения нефтесорбента путем низкотемпературного пиролиза гранул на основе древесных

отходов и органического связующего, полученного путем анаэробного сбраживания биомассы животноводческих предприятий (прометохранилища) в количестве 30-80%. Полученные гранулы диаметром 2 – 10 мм с содержанием связующего вещества 40% имеют нефтеемкость 4,3 г/г и по «плавучести» в 4-10 раз превосходит используемые сегодня углеродные сорбенты, полученные из древесины и угля.

Разработан нефтесорбент, основанный на формировании пироуглерода на каркасе сорбента при пиролизе жидких и газообразных углеводородов и введение дополнительных компонентов (мелассы, лигносульфоната, карбамидоформальдегидной смолы, дифурфурилиденацетона и минеральных присадок) [16]. В качестве исходного сырья использовались углеродсодержащие отходы деревообрабатывающих предприятий (опилки), избыточный активный ил биологических очистных сооружений и минеральные добавки (цемент и глина), которые выступали в роли модифицирующей добавки. Лабораторные исследования показали, что прочность на сжатие сорбентов увеличивается в 2,95-3,58 раза, влагоемкость снижается до 0,187-0,55 г/г. Однако с увеличением плотности сорбентов их нефтеемкость уменьшается в 2,5 раза – с 3,5 г/г (без минерализаторов) до 1,37 г/г при содержании цемента 8%. Результаты исследования, представленные в работе [17], показали, что в результате пиролиза скорлупы грецкого ореха получен углеродный материал с удельной поверхностью 237 м<sup>2</sup>/г, который может быть использован для очистки воды от нефти. В работе [18] представлены результаты по получению нефтесорбента для очищения водной поверхности в результате пиролиза измельченного тростника при 500°C в течение 10 мин, с последующей модификацией 3Н раствором NaOH. Максимальная нефтеемкость составила 5,7 г/г при водопоглощении 3,6 г/г. Авторами [19, 20] проведены исследования по получению высокогидрофобного углеродсодержащего сорбционного материала для удаления нефтепродуктов из сточных вод и для сбора разливов нефти и нефтепродуктов с водной поверхности в результате низкотемпературного пиролиза отработанного шламового отхода производства рафинированных растительных масел. Показано, что нефтеемкость и маслосемкость полученного материала составила 1,67 г/г/ и 3,9 г/г, соответственно. Таким образом можно заключить, что разработка углеродсодержащих сорбционных материалов с использованием отходов производства для извлечения нефтепродуктов



из водных сред является экономически и экологически перспективной задачей.

### Библиографический список

1. Almasi A., et al. Removal of Penicillin G by combination of sonolysis and Photocatalytic (sonophotocatalytic) process from aqueous solution: process optimization using RSM (Response Surface Methodology) // *Electronic Physician*. 2016. Vol. 8 (9). Pp. 2878 – 2889.
2. Yu N., et al. Electricity and methane production from soybean edible oil refinery wastewater using microbial electrochemical systems. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42 (1). Pp. 96 – 102.
3. Власова Т.В. Источники загрязнения океана // *Молодой ученый*. 2019. № 45 (283). С. 56-58. URL: <https://moluch.ru/archive/283/63864/> (дата обращения: 27.12.2024).
4. Alavi N., et al. Evaluating the palm leaves efficiency as a natural adsorbent for removing cadmium from aqueous solutions: Isotherm adsorption study// *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Vol. 8 (2). Pp. 13919 – 13929.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада. – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. 707 с.
6. Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1983. 263 с.
7. Кузубова Л.И., Морозов С.В. Очистка нефтесодержащих сточных вод: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ, НИОХ. – Новосибирск, 1992. 72 с.
8. Ульрих Е.В., Берлинтейгер Е.С. К вопросу об очистке нефтесодержащих сточных вод физико-химическими методами // *Экология и промышленность России*, 2014. № 3. С. 40 – 43.
9. Lee K., Neff J.N., Produced water. – London: Springer Science+Businedd media LLC, 2011. – 607 p.
10. Трусова В.В. Угольно-сорбционная технология очистки нефтесодержащих сточных и оборотных вод // *Водоочистка*. 2014. №12. С. 32 – 41.
11. Фоменко А.И., Соколов Л.И. Сорбционная очистка сточных вод от нефтепродуктов // *Экология и промышленность России*. 2015. Т. 19. № 5. С. 8 – 12.
12. Шайхиев И.Г., Шмоткина А.Н., Санатуллова З.Т. Очистка водных сред от нефти и масел отходом птицеводства – гусиным пухом // *Вестник технологического университета*. 2016. Т. 19. № 14. С. 180 – 184.

13. Гималетдинов Р.Р., Усманов М.Р., Валеев С.Ф., Бодров В.В., Паскару К.Г., Вежновец В.П. Сорбент на основе модифицированного гидролизного лигнина для очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 3. С.40-44.
14. Брюханова Е.С. Процессы получения нефтесорбента пиролизом гранул на основе древесных отходов и органического связующего в слоевых аппаратах: Автореф. на соискание канд. техн. наук, спец. 05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий. – Томск, 2013. 19 с.
15. Брюханова Е.С., Ушаков А.Г., Авдюшкин М.Н., Андрейкина К.И. Пиролиз топливных гранул // Вестник КузГТУ. – Кемерово: КузГТУ, 2010. № 4. С. 134-136.
16. Ушакова Е. С., Соловьева Л. В., Ушаков А. Г. Разработка упрочненных углеродных нефтесорбентов на основе углеродсодержащих промышленных отходов с применением минеральных присадок // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. №. 6 (142). С. 82-86.
17. Сафаралиев Д.Г., Садомцева О.С., Фидурова С.Н. Получение и изучение нефтесорбентов из растительных материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы получения новых материалов: исследования, инновации и технологии. 2022. С. 163 - 166.
18. Каблов В. Ф. и др. Исследование свойств разработанных нефтесорбентов на основе растительного сырья // Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета 2023. № 5. С. 94.
19. Никитина А.Е., Старостина И.В., Порожнюк Е.В., Анищенко И.В., Боднарь О.Б. Применение карбонизованного углеродсодержащего отхода маслоэкстракционного производства для сорбционной очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2018. № 12. С.23-29.
20. I. Starostina, A. Nikitina, M. Kosukhin, Yu. Starostina Efficient carbonaceous sorbent based on the waste sludge of oil extraction industry for purifying wastewater from petroleum products // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Vol. 7. Issue 2. Pages 266-269.  
DOI: 10.14419/ijet.v7i2.23.11928

Бек С.С., аспирант,  
Лифинцев А.Н., аспирант,  
Лушников А.С., аспирант,  
Старостина И.В., канд. техн. наук, доц.  
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ СПАВ СОРБЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

*Среди большого разнообразия органических загрязняющих веществ сточных вод промышленных предприятий особое место занимают синтетические поверхностно-активные вещества. В работе представлены основные методы очистки промышленных и бытовых стоков от СПАВ, в том числе с использованием различных сорбционных материалов.*

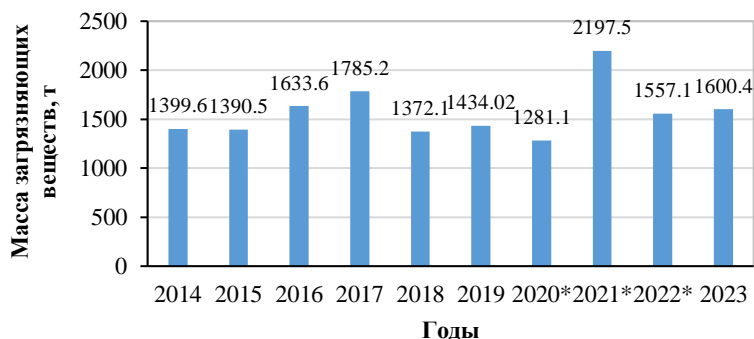
*Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, сточные воды, токсичность, адсорбционный материал, эффективность очистки.*

Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) широко используются в различных отраслях промышленного производства – это предприятия по выпуску моющих средств, косметики, лекарств и даже пищевых продуктов, смазочных жидкостей и антикоррозийных составов. СПАВ используются в технологии нанесения электролитических покрытий, в качестве компонентов лакокрасочных составов, в нефтедобыче, в горнорудной флотации, для получения противопожарной пены, для крашения и замасливания текстильных волокон и др. Наиболее широкая и экологически значимая область использования СПАВ - приготовление синтетических моющих и чистящих веществ (детергентов) для использования в быту.

СПАВ представляют собой обширную группу соединений, различных по своей структуре, относящихся к разным классам. Эти вещества способны адсорбироваться на поверхностях раздела фаз и понижать вследствие этого их поверхностную энергию (поверхностное натяжение). В зависимости от свойств, проявляемых синтетическими поверхностно-активными веществами при растворении в воде, их делят на анионоактивные вещества (активной частью является анион), катионоактивные (активной частью молекул является катион), амфолитные и неионогенные, которые совсем не ионизируются.

Анализ данных о количестве СПАВ, поступающих в поверхностные водные объекты РФ, представленных на рис.1, показал,

что в последние годы наметилась тенденция снижения сброса поверхностно активных веществ (АСПАВ, КСПАВ, НСПАВ), однако их масса по-прежнему остается на высоком уровне - в 2023 году сброс составил 1600,4 т, в том числе анионные синтетические поверхностно-активные вещества - 1069,27 т.



\*сумма АСПАВ КСПАВ

Рис. 1. Динамика сброса органических загрязняющих веществ (ОП-10, СПАВ, смесь моно- и диал- килфеноловых эфиров полиэтилен-гликоля) в составе сточных вод в поверхностные природные водные объекты Российской Федерации, 2014-2023 гг.[1].

Поступление СПАВ в природные водоемы происходит:

- с хозяйственно-бытовыми сточными водами;
- с промышленными стоками текстильной, нефтяной, химической промышленности;
- со сточными водами прачечных хозяйств и автомоек;
- со смывами от сельскохозяйственных территорий, обработанных химическими реагентами с эмульгаторами (гербициды, инсектициды, фунгициды) [2].

В поверхностных водах СПАВ находятся в растворенном и сорбированном состоянии, а также в поверхностной пленке воды водного объекта.

В слабозагрязненных поверхностных водах концентрация СПАВ колеблется обычно в пределах тысячных и сотых долей миллиграмма в 1 дм<sup>3</sup>. В зонах загрязнения водных объектов концентрация повышается до десятых долей миллиграмма, вблизи источников загрязнения может достигать нескольких миллиграммов в 1 дм<sup>3</sup> [3].

Накапливаясь в водоемах, СПАВ оказывают сильное токсическое действие на флору и фауну, ухудшают органолептические показатели воды, препятствуют процессам самоочищения водных объектов. Содержание в воде СПАВ в количестве 0,4-3,0 мг/дм<sup>3</sup> придаёт ей горький привкус и мыльно-керосиновый запах [4]. Даже небольшие количества ПАВ (0,8-2,0 мг/дм<sup>3</sup>) вызывают обильное пенообразование, нарушают кислородный обмен в водоемах (при концентрации СПАВ около 1мг/1 дм<sup>3</sup> поступление кислорода в воду из атмосферы снижается на 15%), тормозят процессы фотосинтеза, сокращая кормовую базу, и приводят к гибели рыб. При концентрациях 5-15 мг/дм<sup>3</sup> рыбы теряют слизистый покров, замедляют рост и развитие многих видов фауны, при более высоких концентрациях может наблюдаться кровотечение жабр. ПДК СПАВ для различных видов гидробионтов и ПДК ПАВ для водоемов различного назначения представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1-Предельно-допустимые концентрации СПАВ

	Группы гидробионтов		
	микроорганизмы	водоросли	беспозвоочные
ПДК, мг/дм <sup>3</sup>	0,8 – 4,0	0,5 – 6,0	0,01 – 0,9

Таблица 2-Предельно-допустимые концентрации СПАВ

	ПАВ	
	анионные	неионогенные
ПДК <sub>кб</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,1
ПДК <sub>рх</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,1

При смешении с городскими канализационными стоками сточные воды от прачечных дают стойкое пенообразование. СПАВ, попадающие на городские очистные сооружения, затрудняют работу отстойников, повышают нагрузку на очистные сооружения и снижают общую эффективность очистки хозяйственно-бытовых стоков.

В работах [5, 6] обобщены негативные последствия действия ПАВ на организм человека. ПАВ способны снизить проницаемость биологических мембран эритроцитов, миелиновых оболочек нервов и эпителия кишечника; вызывают нарушения в центральной нервной, сердечно-сосудистой, пищеварительной и выделительной системах. Кроме того, многие ПАВ обладают аллергенными свойствами при даже

низких концентрациях в организмах, например, при вдыхании паров и пыли [5].

Необходимо отметить влияние ПАВ на обмен в организме аминокислот, глюкозы и других веществ. Известно отрицательное влияние СПАВ и на неорганическую среду – это эрозия почв, повышение коррозии металлов, ускорение процессов старения железобетонных конструкций. При взаимодействии с другими загрязнителями СПАВ способствуют эмульгированию и стабилизации жидких и твердых дисперсных видов загрязнений. Поэтому сточные воды, содержащие СПАВ, можно классифицировать как особый вид сточных вод со сложным химическим и фазово-дисперсным составом [7, 8]. В настоящее время для очистки сточных вод, содержащих СПАВ, применяются различные методы – адсорбция, коагуляция, флотация, био- и электрохимические, а также физические - обработка в магнитном поле, ультразвук, радиационно-химическое разложение и пр.), каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки [3, 9, 10].

Для очистки низкоконцентрированных стоков (с содержанием СПАВ от 10 до 100 мг/дм<sup>3</sup>) традиционно используются методы адсорбции с использованием активированных углей, ионообменных смол и полимерных адсорбентов; методы обратного осмоса; биохимические методы (биоокисление и биосорбция); а также флокуляция, электрокоагуляция и озонирование. Для очистки высококонцентрированных стоков (с содержанием СПАВ от 100 до 1000 мг/дм<sup>3</sup>) наиболее эффективны методы коагуляции; флокуляции; экстракции; ионного обмена, а также электрические и комбинированные методы электро- флотация и коагуляция [11]. К наиболее эффективным сорбентам относятся активированные угли. Однако высокая их стоимость и сложность регенерации не осложняет их использование.

В качестве сорбентов для извлечения СПАВ из водных сред известно использование природных материалов – глин, перлитов, цеолитов и др. [12], а также углеродсодержащих материалов [13].

В настоящее время с целью снижения не только стоимости получения сорбентов, но и технологических схем водоотведения в целом в качестве сорбционных материалов рассматривается использование отходов как промышленного, так и сельскохозяйственного производства.

Так, в работе [14] сравнивается эффективность извлечения лаурилсульфат натрия из модельных водных сред различными

сорбционными материалами, полученными на основе модифицированных шламовых отходов пищевой промышленности. Рассматриваются - сатурационный осадок производства сахара и кизельгуровый шлам пивоваренного производства. Показано, что максимальная эффективность сорбционной очистки (79%) достигается при использовании кизельгурового шлама, термически модифицированного при температуре 450°C в сочетании с последующей гидрофобизацией стеариновой кислотой.

В работе [15] рассматривается использование в качестве сорбента гидролизного лигнина. Показано, что сорбционная емкость в отношении катионного СПАВ составляет 0,15 – 0,21 ммоль/г. при этом в области  $pH = 1 - 4$  взаимодействие сорбента и загрязняющего вещества осуществляется по типу физической сорбции, а при  $pH = 4 - 11$  – по хемосорбции.

Известно сорбционное извлечение СПАВ с использованием материала, полученного по методике покапельного гранулирования из смеси хитозана с остаточной биомассой хлореллы и ряски [16]. Содержание СПАВ в очищенных бытовых канализационных стоках достигают значений ПДК, а эффективность очистки составляет 67%.

Результаты исследований, представленные в работах [17, 18] показали принципиальную возможность использования дефеката, модифицированного при температуре 600°C, в качестве углеродсодержащего сорбционного материала для извлечения СПАВ из модельных растворов. Эффективность очистки составила 98,2%.

Анализ литературных источников показал, что адсорбционный способ извлечения СПАВ с использованием отходов производства является экономически и экологически перспективным методом очистки сточных вод. Позволяет не только решить задачу получения дешевых материалов, используемых в системах водоотведения, но и снизить объемы накопления отходов и улучшить экологическую обстановку в регионах их образования.

### **Библиографический список**

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада. – М.: Минприроды России; ООО «Интеллектуальная аналитика»; ФГБУ «Дирекция НТП»; Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. 707 с.

2. Химия воды. Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://wwtec.ru/index.php?id=222> (Дата обращения 13.01.2025 г.).
3. Волкова Г.А., Сторожук Н.Ю. Методы очистки сточных вод, содержащих синтетические поверхностно-активные вещества // Вестник Брестского государственного технического университета. 2012. № 2. С.38-41.
4. Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А. Введение в экологическую химию. – М.: Высшая школа, 1994. 400 с.
5. Плетнев М.Ю. Поверхностно-активные вещества и композиции: Справочник. – М.: ООО «Фирма Клавель», 2002. 768 с.
6. Холмберг К., Иссон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимерыв водных растворах: Пер. с англ. – М.: БИНОМ, 2007. 530 с.
7. Субботкин Л.Д., Вербицкая Н.Ю. Очистка сточных вод от поверхностно-активных веществ методом электрофлотокоагуляции // Строительство и техногенная безопасность. 2011. Выпуск 38. С. 96-106 с.
8. Петухова Е. О. Методы очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ //Высшая школа. 2020. № 18. С. 21-25.
9. Хабибрахманова А.И., Югина Н.А., Хабибрахманов В.З., Михайлова Е.О., Шулаев М.В. Исследование влияния биостимуляторов на процесс биологической очистки модельной сточной воды, загрязненной СПАВ // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №. 17. С. 121-122.
10. Мамедова Н.Т., Кулиева У.А., Курбанов М.А. Радиационно-химическое разложение СПАВ в сточных водах// Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность - 2019: сб. статей междунар. научно-практ. конф., 23-26 сент. 2019. - Севастополь: СевГУ, 2019. С.970-972.
11. Дьячков А.А., Кащенко О.В. Сравнение методов очистки сточной жидкости от СПАВ // Устойчивое развитие регионов в бассейнах великих рек: Труды научного конгресса 20-го Междунар. научно-промышленного форума, В 3-х томах, Нижний Новгород, 15 – 18 мая 2018 г. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородский гос. арх.-строит. Университет, 2018. Т.3. С. 340-342.
12. Шулаев М.В., Баширов Р.Р., Емельянов В.М. Исследование адсорбционной очистки сточных вод производства органического синтеза с использованием промышленного отхода перлита //Башкирский химический журнал. 2009. Т.16, № 3. С.23 – 30.
13. Патент РФ 3 2450859 С 1 Углеродный сорбент, способ его получения и использования //Тарнопольская М.Г., Тарнопольский В.М. Оpubл. 20.05.2012.
14. Сапронова Ж.А., Святченко А.В. Сравнение сорбционных свойств органоминаеральных отходов различных модификаций при очистке модельных



вод от СПАВ // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: Сб. докл. Всерос. научной конф., Белгород, 11 – 15 октяб. 2021 г. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021. С.302-306.

15. Никифоров А.Ф., Астафьева О.В. Сорбционное извлечение синтетических поверхностно-активных веществ из водных растворов гидролизным лигнином //Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2011. №. 5. С. 105-115.

16. Султанова А.Р., Смятская Ю.А. Использование сорбентов из микроводорослей для очистки бытовых канализационных стоков в коттеджном поселке // Неделя науки СПбПУ: мат-лы научной конф. с междунар. участием: в 3 частях, Санкт-Петербург, 18 – 23 нояб. 2019 г. – С-Петербург: Изд-во ФГАОУВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2019. Ч. 1. С. 94 – 96.

17. Сапронова Ж.А., Свергузова С.В., Тарасова Г.И., Фетисов Р.О. Сорбционная очистка сточных вод от СПАВ отходом производства сахарной промышленности – сатурационным осадком: монография. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015 – 113 с.

18. Сапронова Ж.А., Фетисов Р.О., Шайхиев И.Г., Свергузова С.В. Сорбционное извлечение лаурилсульфата натрия из водных сред с помощью отхода сахарной промышленности // Вестник Красноярского государственного технического университета. 2014. Т.17. № 3. С. 163.

## АДСОРБЦИОННЫЕ КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ КУЛЬТУР

*Получение органо-неорганических композиционных материалов и нанобиокмполитов, имеющих высокоразвитую поверхность и сочетающих в себе адсорбционные свойства и биологически активную составляющую представляют практический интерес для обеспечения качества кормовых компонентов, что, несомненно, играет важную роль в обеспечении безопасности питания человека. Исследование посвящено разработке способа получения адсорбционной кормовой добавки на основе натриевой формы бентонитовой глины и бактериальной культуры *Lysobacter* sp., подвергнутых лиофилизации, изучению их коллоидно-химических характеристик, а также механизмов и процессов, происходящих при экранировании бактериальных клеток.*

*Ключевые слова: бентонитовые глины, монтмориллонит, адсорбция, кормовые добавки, бактерии – пробиотики, микотоксины, тяжёлые металлы*

Микотоксины, бактерии, тяжелые металлы и другие токсичные загрязнители в кормах сельскохозяйственных животных оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье животных. Глинистые минералы являются эффективной кормовой добавкой благодаря их экономичности и практически полному отсутствию побочных эффектов. В настоящее время применяются лекарственные средства, БАДы и кормовые добавки на основе бентонитовой и бентонитоподобной глины для с/х животных [1, 2]. Бактерии *Lysobacter* sp. являются продуцентами протеолитических ферментов (сериновых протеаз), расщепляющих пептидные связи в белках [3]. Ряд штаммов *Lysobacter* применяется в животноводстве, в том птицеводстве, рыбководстве для профилактики и лечение заболеваний ЖКТ бактериальной этиологии, дизбактериоза, лёгочных инфекций, увеличения продуктивности, получения здорового потомства, подавления роста патогенных и условно патогенных микроорганизмов [4, 5]. В качестве сырьевых материалов для получения кормовой добавки использовалась монтмориллонит содержащая глина (МСГ) Воронежской области Подгоренского месторождения участка

«Подгорное-1»; культура бактерий рода *Lysobacter* sp., выделенная из почвы города Белгород. МСГ Подгоренского месторождения Воронежской области является перспективной сырьевой базой для получения адсорбентов, так как минералогический состав содержит до 55 масс.% монтмориллонита, в том числе после обогащения до 85 масс.% монтмориллонита. Из почвы города Белгород выделен штамм бактерий рода *Lysobacter*, произведено его секвенирование методом 16S рРНК: получена последовательность гена 16S рРНК (1484 нуклеотида), в результате чего выявлена уникальная последовательность нуклеотидов штамма среди представленных в GenBank: максимальный процент сходства наблюдается с штаммом *L-43* (MT229166.1) и *Lysobacter enzymogenes* M497-1 (AP014940.1) - по 99,7%. Для изучения влияния экранирования микроорганизмов и их ферментов были использованы твёрдые носители: Натрий карбоксиметилцеллюлоза технической марки «КМЦ 85/500» производства ООО «Давос-Трейддинг». ТУ 2231-001-53535770-2010 (с изм. №1,2): степень замещения по карбоксиметильным группам 80-90; степень полимеризации 500-550; водородный показатель (рН) водного раствора с массовой долей КМЦ 1% в пределах 8-12; динамическая вязкость 2% раствора КМЦ при температуре 25 °С мПа\*с по методу Брукфильда, не менее 100. Кремния диоксид коллоидный в виде коммерческого препарата «Полисорб» производства АО «Полисорб». Полисорб МП (медицинский пероральный) - неорганический, неселективный, полифункциональный энтеросорбент на основе высокодисперсного кремнезема с размерами частиц до 0,09 мкм, с химической формулой  $\text{SiO}_2$ . Сорбционная емкость препарата при внутреннем употреблении равна 300 м<sup>2</sup>/г. Натриевая форма монтмориллонита Подгоренского месторождения Воронежской области, полученная путём введения в суспензию нативной породы (5 масс.%) кальцинированной соды (4 масс.%) с последующим седиментационным обогащением и сушкой ( $t=95\pm3^\circ\text{C}$ ). Количественное содержание монтмориллонита, определённое по ГОСТ 28177-89 -  $79,35\pm0,14$  масс.%. В результате модифицирования, произошло изменение параметров кристаллической решётки: для нативной формы Са-монтмориллонита  $a = 5,16 \text{ \AA}$ ,  $b = 8,94 \text{ \AA}$ ,  $c = 15,02 \text{ \AA}$ ; для модифицированного монтмориллонита  $a = 5,22 \text{ \AA}$ ,  $b = 9,04 \text{ \AA}$ ,  $c = 13,82 \text{ \AA}$ . Удельная поверхность 60 м<sup>2</sup>/г, удельный объем пор 0.083 см<sup>3</sup>/г; средний размер пор 55.5 Å [6]. Экранирование бактериальных клеток осуществляли путём внесения в культуральную жидкость в виде биомассы микроорганизмов в логарифмической фазе

роста, твёрдого стерильного носителя при постоянном механическом перемешивании в соотношении «носитель: биомасса», равном 1:(2-4), при температуре 30°C; смесь тщательно перемешивали в течение не менее 40 минут, замораживали при минус 40°C и затем подвергали лиофильной сушке при температуре минус 40-45°C в течение 24 часов до уровня 3-7% влажности композиции. После полученные сухие композиции хранили в стерильных фалконах при комнатной температуре. По истечении трёх месяцев (92 суток) хранения лиофилизатов получены следующие результаты: лиофилизация бактериальной культуры *Lysobacter* sp. без экранирования приводит к снижению сохранности до 37,5 %; экранирование клеток натрий карбоксиметилцеллюлозой позволяет повысить сохранность до 65 %; коллоидным диоксид кремния («Полисорб») - до 50%; при экранировании клеток *Lysobacter* sp. минералом монтмориллонитом проявляется не только сохранность микроорганизмов, но и наблюдается рост количества клеток на 18 %. Исследования адсорбции проводили в статических условиях ( $T = 25^{\circ}\text{C}$ ) с использованием монокомпонентных модельных водных растворов с начальной концентрацией катионов  $\text{Ni}^{2+}$  5 мг/л и  $\text{Fe}^{3+}$  3 мг/л, что составляло 50-кратное и 10-кратное превышение ПДК в воде, соответственно. В конические колбы помещали по  $1,0 \pm 0,0001$  г глины/кормовой добавки и в каждую колбу приливали монокомпонентные растворы  $\text{Ni}^{2+}$  5 мг/л и  $\text{Fe}^{3+}$  3 мг/л. Время контакта «образец : раствор» - от 5 до 60 мин. Остаточную концентрацию катионов ТМ определяли спектрофотометрически (УФ/Вид спектрофотометр для исследования нано- и микрообъемов жидкостей NABI NICRODIGITAL). Рассчитывали остаточную концентрацию катионов  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  в растворе по уравнению регрессии. Максимальная скорость адсорбции катионов  $\text{Fe}^{3+}$  наблюдается в первые 5 минут эксперимента. Адсорбционное равновесие устанавливается в течение 10 минут экспозиции, о чём свидетельствует выход кривых на плато. Средняя скорость адсорбции катионов железа нативной формой глины - 0,61 мг/л·мин; натриевой формой – 0,67 мг/л·мин. При адсорбции катионов никеля, наивысшая скорость поглощения наблюдается в 5 минут. В случае адсорбции катионов  $\text{Fe}^{3+}$  остаточная концентрация соответствует ПДК катионов железа в воде (0,3 мг/л);, что свидетельствует об эффективности применения бентонитовых глин Подгоренского месторождения для нейтрализации катионов железа. Однако, в случае использования натриевой формы, эффективность адсорбции увеличилась в 4,5 раз. При адсорбции катионов  $\text{Ni}^{2+}$ ,

эффективность составила 79,5% (нативная форма), 94% (натриевая форма); остаточная концентрация  $\text{Ni}^{2+}$  превысила ПДК в случае нативной формы – в 10,2 раза, натриевой формы – в 3 раза. Оценку адсорбционной способности также проводили с помощью модельных растворов (ГОСТ 4453-74) органических красителей: в катионной форме - метиленовый голубой (МГ) и в анионной форме - конго красный (КК). Измерения проводили на спектрофотометре Micro Digital Nabi ( $\lambda(\text{МГ})=664$  нм,  $\lambda(\text{КК})=499$  нм,  $l=10$  мм). По результатам анализа адсорбционная способность экспериментальной кормовой добавки составила по МГ  $366,53 \pm 0,05$  мг/г, по КК  $248,70 \pm 0,08$  мг/г; в то время как адсорбционная ёмкость Na-модифицированной формы глины –  $465,3 \pm 0,04$  мг/г по МГ и  $332,7 \pm 0,03$  мг/г по КК. Выявлено, что адсорбционная способность полученной экспериментальной нанобиокомпозиции снижается по сравнению с Na-модифицированной формой глины на 27% и на 34% по отношению к катионным (МГ) и анионным (КК) красителям, соответственно.

#### Выводы.

1. Разработаны физико-химические основы технологии получения натриевой формы монтмориллонита глины Подгоренского месторождения Воронежской области участка Подгорное–1. Установлен минеральный состав нативной и фазовый состав созданной формы глины (монтмориллонит (нонтронит), низкотемпературный тригональный кварц, иллит). В модифицированной глине увеличено содержание монтмориллонита до  $79,35 \pm 0,14$  масс.%, т.е. на 26,22%; Выявлен гранулометрический состав и удельная поверхность, составившая  $60 \text{ м}^2/\text{г}$ , удельный объем пор  $0.083 \text{ см}^3/\text{г}$ ; средний размер пор  $55.5 \text{ \AA}$ .

2. Доказана повышенная адсорбционная активность (по сравнению с нативной), натриевой формы бентонитовой глины Подгоренского месторождения участка Подгорное–1: по отношению к органическим красителям: на 80% к катионным и на 86% к анионным; по отношению к катионам тяжелых металлов на 10%, что подтверждает перспективность материала для получения адсорбционно-активных композиций на её основе.

3. Выявлены кинетические закономерности и механизм поглощения нативной формой МСГ и разработанной кормовой добавкой ионов тяжелых металлов ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ), органических красителей (метиленовый голубой, конго красный). Неорганические вещества (ионы тяжелых металлов) поглощаются по механизму ионного обмена и физической

адсорбции, органические вещества (конго красный, метиленовый голубой) - по механизму объемного заполнения микропор.

4. Установлен механизм взаимодействия натриевой монтмориллонитсодержащих глин с бактериальными клетками *Lysobacter*: в виду различий размерности МСГ (85 масс.% составляют тонкие плёночные кристаллы изометричной формы толщиной до 100 нм) и бактериальной клетки (палочки размером  $1 \times 5$  мкм) частицы монтмориллонита покрывают клетку «защитной» оболочкой, оказывают стрессопротекторное воздействие и препятствуют агрессивному влиянию окружающей среды, вследствие чего сохранность (жизнеспособность) бактериальной культуры биоконпозиции по сравнению бактериями в лиофилизированном состоянии возрастает и проявляется не только сохранность микроорганизмов, но и наблюдается рост количества клеток на 18 %.

### Библиографический список

1. Зуев Н.П., Буханов В.Д., Везенцев А.И., Арсеев Е.А. Эффективность композиционных препаратов на основе наноструктурных монтмориллонитсодержащих глин при эшерихиозе птиц // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. № 2(160). – С. 147-154.
2. Сагдеева З.Х., Матросова Л.Е., Семенов Э.И., Сагдеев Д.Р., Мишина Н.Н., Ермолаева О.К. Эффективность модифицированного сорбента при токсикозе птиц // Ветеринария. – 2023. № 7. – С. 50-53.
3. Brescia F., Pertot I., Puopolo G. *Lysobacter* // Beneficial microbes in agro-ecology. Academic Press. – 2020. – С. 313-338.
4. Martínez-Servat S., Pinyol-Escala L., Daura-Pich O., Almazán M., Hernández I., López-García B., Fernández C. Characterization of *Lysobacter enzymogenes* B25, a potential biological control agent of plant-parasitic nematodes, and its mode of action // AIMS microbiology. – 2023. – V. 9(1). – P. 151.
5. Wang X., Wang Y.H., Yang H.X., Chuang S.C., Zhou C.F., Yu X., Zhang H. *Lysobacter lactosilyticus* sp. nov., a Novel  $\beta$ -Galactosidase Producing Bacterial Strain Isolated from Farmland Soil Applied with Amino Acid Fertilizer // Current Microbiology. – 2023. – V. 80(1). 43 p.
6. Шайдорова Г.М., Везенцев А.И., Труфанов Д.А. Получение натриевой формы глин Подгоренского месторождения Воронежской области // Вестник технологического университета. – 2022. – Т. 25 № 11. – С.101-105.

Научное издание

**Рациональное использование природных ресурсов и  
переработка техногенного сырья: фундаментальные  
проблемы науки, материаловедение, химия и  
биотехнология**

Международная научная конференция

Сборник докладов

Ответственный за выпуск:  
Жиленко Вилена Юрьевна

Подписано в печать                      Формат 60х84/16. Усл. печ. л.                      Уч.-изд.л.

Тираж 15 экз. Заказ №                      . Цена договорная

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом  
университете им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46