

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*На правах рукописи*



**ЛЕБЗИН МАКСИМ СЕРГЕЕВИЧ**

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНСЕРВАЦИИ ПОРОДНЫХ  
ОТВАЛОВ СОРБЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННЫМ МЕТОДОМ**

Специальность - 2.8.8 Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук, профессор  
Валиев Нияз Гадым Оглы

Екатеринбург, 2024

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	11
ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ.....	11
1.1. Воздействие отвалов на окружающую природную среду .....	11
и перспектива их рекультивации.....	11
1.2. Механизм воздействия тяжёлых металлов .....	19
на экосистемы окружающей среды .....	19
1.3. Минеральные и органические природные сорбенты ТМ .....	28
1.4. Анализ опыта использования отходов в качестве сорбентов.....	33
1.5. Выводы по главе 1 .....	39
1.6. Цель работы, задачи исследования .....	40
2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОРФА И ОСАДКОВ .....	42
ВОДОПОДГОТОВКИ .....	42
2.1. Исследования физико-химических свойств торфа.....	42
2.2. Исследование свойств осадков водоподготовки.....	48
2.3. Исследование процесса сорбции тяжелых металлов .....	53
2.4. Термодинамические исследования иммобилизации ионов.....	60
сорбентом-мелиорантом на основе торфа и осадков водоподготовки..	60
2.5. Математическое моделирование иммобилизации ионов сорбентами на основе торфа и осадков водоподготовки .....	64
2.6. Выводы по главе 2 .....	70
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЕНТОВ –.....	71
МЕЛИОРАНТОВ ДЛЯ КОНСЕРВАЦИИ ПОРОД .....	71
3.1. Типизация пород отвалов.....	71

3.2. Технология консервации отвала сорбентами-мелиорантами.....	75
3.3. Эффективность сорбентов-мелиорантов при консервации отвала	89
3.4. Выводы по главе 3.....	100
4. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОНСЕРВАЦИИ ПОРОДНОГО ОТВАЛА .....	102
4.1. Экологическое обоснование применения технологии консервации породного отвала.....	102
4.2. Экономическое обоснование применения технологии консервации породного отвала.....	114
4.3. Выводы по главе 4 .....	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ .....	131
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	133
Приложение 1 .....	149
Приложение 2 .....	150
Приложение 3 .....	151
Приложение 4 .....	152
Приложение 5 .....	153
Приложение 6 .....	154
Приложение 7 .....	155
Приложение 8 .....	156

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Деятельность человека связана с воздействием на природную среду и проявляется в виде изъятия природных ресурсов, загрязнения и деградации поверхности Земли. С каждым годом техногенное воздействие на природу возрастает: ежегодно в атмосферный воздух поступает более 30 миллионов тонн загрязняющих веществ, до 20 % сточных вод сбрасывается в водные объекты без очистки.

Наблюдается ухудшение состояния почв в силу водной и ветровой эрозии, переувлажнение, подтопление земель и заболачивание. Опустынивание затронуло более 100 миллионов гектаров земель, еще 18 миллионов гектаров представляют собой зоны загрязнения почв вокруг промышленных комплексов.

Ежегодно образуется около 4 млрд тонн отходов производства и потребления, при этом отходами занято примерно 4 млн гектаров земельных площадей на сегодняшний день. Накоплено более 30 млн тонн отходов производства и потребления, из которых более 400 тыс тонн относятся к числу высокотоксичных.

Ежегодные потери ВВП России, обусловленные ухудшением качества окружающей среды (без учета ущерба здоровью людей), составляют до 6 % [1-2]. Немаловажную роль в ухудшении состояния экологической безопасности играет горнопромышленный комплекс России, который оказывает воздействие на все элементы биосферы и участвует в перемещении огромных масс геоматериалов.

На единицу извлекаемой из недр рудной массы приходится 1...7 единиц пустой породы. Отвалы и хвостохранилища занимают до 75 % земельного отвода при разработке железорудных месторождений и еще больше – на меднорудных предприятиях [3].

К числу регионов с высоким уровнем деградации земель относятся Уральский, Сибирский и Дальневосточный округа, которые представляют собой основные минерально-сырьевые центры Российской Федерации.

Антропогенные нарушения, связанные с разработкой месторождений полезных ископаемых, достигают 80 % [4]. Наибольшая доля нарушенных земель приходится на открытый способ разработки месторождений, который в России является основным. Ярким проявлением этого является создание породных отвалов, загрязненных тяжелыми металлами.

В силу того, что скорость изменения окружающей среды под влиянием антропогенных воздействий гораздо выше, чем восстановление экологического равновесия, требуется ликвидация последствий освоения ресурсов недр.

Поэтому работа, связанная с обоснованием использования сорбентов-мелиорантов для сорбции ионов тяжелых металлов из породных отвалов является своевременной и актуальной

### **Степень разработанности темы**

Значительный вклад в создание теоретических основ использования торфа и осадков водоподготовки в составе сорбентов-мелиорантов, технологии консервации породных отвалов и эколого-экономического обоснования сорбент-ориентированных методов восстановления нарушенных земель внесли:

доктор технических наук, профессор Лиштван И. И., доктор технических наук, профессор Гамаюнов Н. И., доктор технических наук, профессор Александров Б.М., доктор технических наук, доцент Мисников О. С., доктор технических наук, профессор Гревцев Н. В., доктор геолого-минералогических наук Гуман О. М., доктор химических наук, профессор Апакашев Р. А., доктор технических наук, профессор Голик В. И., доктор экономических наук, профессор Игнатьева М. Н.

Несмотря на наличие научных исследований, по результатам анализа работ установлено, что в настоящее время отсутствует оптимальная техноло-

гия консервации породного отвала сорбент-ориентированным методом с применением композитных сорбентов-мелиорантов, что требует проведения дополнительных исследований.

**Объект исследования** – породные отвалы, загрязненные тяжелыми металлами.

**Предмет исследования** – процессы сорбции ионов тяжелых металлов в рамках сорбент-ориентированной геотехнологии консервации отвалов.

**Цель работы** – совершенствование сорбент-ориентированного метода с использованием природных и техногенных материалов при консервации отвалов с минимизацией воздействия на окружающую природную среду.

**Идея работы** состоит в применении сорбентов-мелиорантов для консервации породных отвалов при рекультивации нарушенных земель с целью сохранения качества окружающей природной среды.

**Основные задачи исследования:**

1. Провести анализ технологий, методов и средств иммобилизации ионов тяжелых металлов природными и техногенными сорбентами.
2. Изучить физико-химические свойства торфа и осадков водоподготовки, как сорбентов-мелиорантов.
3. Исследовать процессы сорбции и иммобилизации ионов тяжелых металлов сорбентом-мелиорантом на основе торфа и осадков водоподготовки.
4. . Обосновать параметры эффективного применения технологии консервации породного отвала сорбент-ориентированным методом.
5. Обосновать эколого-экономические расчеты применения сорбентов-мелиорантов на примере Левихинского рудника.

**Область исследования** соответствует паспорту ВАК по специальности 2.8.8. «Геотехнология, горные машины» (технические науки), а именно: п. 13. «Техногенное воздействие на окружающую среду в процессе ведения открытых и подземных горных работ при строительстве, эксплуатации, реконструкции, техническом переоснащении, консервации и ликвидации предприятий горной промышленности и подземных сооружений».

**Методы исследований:** обобщение, анализ, изучение, моделирование, сорбции ионов, атомно-адсорбционная и атомно-эмиссионная спектрометрия, инженерное прогнозирование, сорбент-ориентированный метод.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Использование торфа и осадков водоподготовки в составе композитного сорбента-мелиоранта торф - осадки водоподготовки, в пропорциях 20/80, 40/60, 60/40 (масс. %) обеспечивает сорбцию не менее 98 % ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , не менее 49 % ионов  $\text{Pb}^{2+}$ , не менее 59 % ионов  $\text{As}^{3+}$ .

2. Модифицированный сорбент-мелиорант на основе торфа и осадков водоподготовки обеспечивает сорбцию ионов тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$  при комнатной температуре в течение 60 минут. Содержание ионов тяжелых металлов с концентрацией 5 ПДК уменьшается в 3 раза для иона  $\text{Cu}^{2+}$ , в 4 раза для  $\text{Pb}^{2+}$  и в 10 раз для  $\text{As}^{3+}$ . Полная сорбция ионов  $\text{Cu}^{2+}$  происходит через 48 ч, ионов  $\text{Pb}^{2+}$  - через 24 ч, ионов  $\text{As}^{3+}$  - через 5 ч.

3. Геотехнология консервации породного отвала сорбент-ориентированным методом за счет сорбции ионов тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$  эффективна при условии обводнения, положительных температур и рыхления верхнего слоя отвала на глубину не менее 1 м.

**Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждается** представительным объемом экспериментальных данных, дублированием экспериментальных работ, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

**Научная новизна:**

1. Обоснован и разработан оптимальный состав сорбента-мелиоранта для сорбции ионов тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ , отличающийся присутствием торфа и осадков водоподготовки.

2. Обоснованы параметры использования сорбентов-мелиорантов на основе торфа и осадков водоподготовки для повышения эффективности процессов сорбции ионов тяжелых металлов.

3. Обоснованы параметры эффективного применения геотехнологии консервации породного отвала сорбентами-мелиорантами на основе торфа и осадков водоподготовки.

**Теоретическая значимость** исследования заключается в развитии концепции применения новых методов решения экологических проблем.

**Практическая значимость** работы заключается в: разработке новой технологии консервации породного отвала сорбент-ориентированным методом, отличающейся относительной экономической эффективностью; разработке методики расчета параметров иммобилизации ионов тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$  сорбентом-мелиорантом на основе торфа и осадков водоподготовки, позволяющей повысить эффективность консервации отвала.

**Реализация работы.** Результаты диссертационного исследования были использованы:

- при выполнении научно-исследовательских работ по проекту РНФ № 22-24-20102 на тему «Научные основы "зеленой утилизации" осадков водоподготовки в составе природных почвенных мелиорантов для селективной сорбции тяжелых металлов» (2022-2023 гг.);

- по проекту РНФ № 24-17-20033 на тему «Новая технология ликвидации объектов накопленного вреда на территориях затопленных медных рудников Среднего Урала (Дегтярский, Левихинский, Карпушихинский, Ломовский, Белореченский, Зюзельский)» (2024 г.);

- в качестве эколого-экономического раздела государственного задания для ФГБОУ ВО УГГУ «Разработка и эколого-экономическое обоснование новых технологий рекуперации техногенных минеральных образований в условиях циркулярной экономики и растущей потребности промышленности в минеральном сырье» (FEUU-2024-0008) (2024-2026 гг.).

На основе результатов диссертационного исследования был сертифицирован торфяной сорбент для рекультивации земель, загрязнённых тяжелыми металлами (Сертификат соответствия № РОСС RU HE06.H08673 от 26.06.2023 г.).



Материалы работы используются при чтении лекционных курсов для студентов ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», обучающихся по направлению подготовки 20.02.01 «Рациональное использование природно-хозяйственных комплексов» по дисциплинам: «Промышленная экология и промышленная радиэкология», «Природопользование и охрана окружающей среды».

**Апробация работы.** Основные выводы и теоретические материалы данного исследования были презентованы на восьми ведущих международных конференциях, включая XVIII Международную научно-техническую конференцию «Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2022)» г. Уфа, Международную научно-техническую конференцию «Уральская горная школа – регионам» (2019-2024 гг.) г. Екатеринбург, Международную научно-практическую конференцию «Окружающая среда, устойчивость природных экосистем и проблемы экологической инженерии» (ICESSE 2024).

**Публикации.** По существу данной диссертации опубликованы 25 научных трудов, включая 12 статей в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК. Получено 5 патентов на изобретение и 1 свидетельство на базу данных ЭВМ.

**Личный вклад соискателя.** Положения настоящей диссертационной работы осуществлены при непосредственном участии автора на основании проведенных исследований. Автором разработана технология консервации породного отвала сорбент-ориентированным методом и проведены многофакторные физико-химические и термодинамические исследования иммобилизации ионов тяжёлых металлов сорбентами-мелиорантами на основе торфа и осадков водоподготовки.

**Объём и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего 131 наименование и 8 приложений. Текст диссертации изложен на 159 страницах, содержит 39 рисунков и 27 таблиц.

**Исходные материалы** обобщены автором в научно-исследовательской лаборатории рекультивации нарушенных земель и техногенных объектов ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» в период с 2020...2023 гг.

**Благодарности.** Автор выражает благодарности научному руководителю настоящей работы, доктору технических наук, профессору Валиеву Ниязу Гадым оглы; ученым, высказавшим ряд ценных замечаний при подготовке материалов диссертации – доктору химических наук, профессору Апакашеву Рафаилу Абдрахмановичу, доктору технических наук, профессору Голику Владимиру Ивановичу, доктору экономических наук Юрак Вере Васильевне, доктору технических наук, профессору Гревцеву Николаю Васильевичу а также научным сотрудникам научно-исследовательской лаборатории рекультивации нарушенных земель и техногенных объектов, работникам кафедры «Природообустройство и водопользование» ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

# 1. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

## 1.1. Воздействие отвалов на окружающую природную среду и перспектива их рекультивации

Породные отвалы являются одним из главных негативных факторов воздействия на окружающую природную среду в долгосрочной перспективе. Они воздействуют на все географические сферы – гидросферу, атмосферу, литосферу. Крайне негативное воздействие испытывает биосфера, так как такой техногенный объект существенно меняет ландшафт, обогащает природные водные источники повышенными концентрациями различных химических веществ и соединений, процессы почвообразования замедляются или отсутствуют продолжительное время.

Подотвальные воды крайне негативно воздействуют на окружающую среду, отравляя поверхностные и подземные водные источники сульфатами, ионами тяжёлых металлов (Mg, Zn, Fe, Cu и др.), кислотами ( $H_2SO_4$ ), следами реагентов, которые применяются при обогащении руды. Кислотность подотвальных вод (pH) варьируется в различных пределах (от 2 до 9).

Складированные в породных отвалах техногенные образования характеризуются значительными концентрациями тяжелых металлов, обуславливающих механическое и химическое загрязнение прилегающих территорий, при этом наиболее высокие содержания металлов выявляются в верхнем слое почв, что способствует их усвоению растениями [5]. Общий объем складированных в отвалах отходов может достигать сотен миллионов тонн.

Негативное воздействие отвалов в загрязнении атмосферы в основном связано выбросом таких веществ как, водяной пар, летучие соединения токсичных элементов – ртуть, мышьяк, кадмий, свинец, медь, хром и др. [6]. Выбросы в атмосферу характеризуются распространением химических элементов и соединений на большие расстояния от точки выброса. Кроме того, токсичные соединения тяжелых металлов имеют свойство осаждаться вместе

с атмосферными осадками на почвенный покров и поверхностные воды, часть соединений аккумулируется в нижних слоях (гумус, ил), часть мигрирует в растительность.

Водная эрозия бортов отвалов приводит к расширению площади отвала. Со временем породная масса за счет своего веса уплотняет основание отвала, что приводит к изменениям фильтрационных свойств и оказывает негативное влияние на поверхностный водоносный горизонт [6].

В исследованиях вещественного состава отвалов медноколчеданных руд Левихинского рудника Свердловской области анализировались пробы на содержания вредных (Cu, Zn, S) компонентов с помощью атомно-эмиссионной спектрометрии (спектрометр Spectroflame Modula S). Минеральный состав определялся с помощью оптического микроскопа Axio Image, растрового электронного микроскопа SNE4500M, оборудованного энергодисперсионной приставкой XFlash Detector 630M, и методом рентгенофазового анализа (рентгеновский дифрактометр XRD 7000C). Пробоотбор осуществлялся в соответствии с ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов» методом вычерпывания. Точечные пробы отбирались на пробной площадке из одного или нескольких слоев методом конверта (рисунок 1.1). Глубина лунки составляла не менее 0,3 м. Исследуемые отходы – рыхлый терригенный материал, сложенный неокатанными зернами в верхней части отвалов преимущественно псаммитовой и псефитовой фракциями (песок и щебень), а в нижней части – псефитовой (глыбы). Количество пелитовой фракции обычно не превышает 5-10 %. Сложены отходы фрагментами и обломками кварц-серицитовых и кварц-хлоритовых сланцев, колчеданной руды, лимонитом, халцедоном, кварцем с прожилками и вкраплениями сульфидов.



Рисунок 1.1. Общий план отвала минеральных пород вблизи пос. Лёвиха с указанием точек пробоотбора

Результаты химического анализа вещественного состава отвалов Левихинского рудника приведены в Таблице 1.1.

Таблица 1.1. Содержание в отвалах Левихинского рудника вредных компонентов, их коэффициенты концентрации

Компонент	Содержание, масс.% min/max	Содержание в сульфидных песках, масс.%	Норма ПДК и ОДК*, масс.%	Коэффициент концентрации min/max	Коэффициент концентрации в сульфидных песках min/max
Сера	0,026/1,37	32,6	0,016	1,6/85,6	2037,5
Медь	0,005/0,1	0,16	0,0132	0,4/7,6	11,9
Цинк	0,0097/0,0353	0,015	0,022	0,4/1,6	0,7

Примечание: \*для группы почв близких к нейтральным и нейтральные (суглинистые и глинистые), рН КС1>5.5. (КС1 - коэффициент концентрации i-го компонента загрязнения)

Из таблицы 1.1 следует, что главные загрязняющие компоненты – сера и медь, причем основным источником загрязнения являются сульфидные пески и фрагменты колчеданных руд. Уровень загрязнения окружающей среды цинком незначителен.

Для первых двух групп материалов (по максимальным содержаниям в них S, Cu и Zn) значение суммарного показателя загрязнения почв Zc (сумма отношений фактического содержания каждого загрязняющего вещества, концентрация которого превышает установленные для химических веществ нормативы ПДК, к величине его норматива ПДК ) составляет 94,8, что относится к опасной категории. Это способно привести к увеличению общей заболеваемости населения, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями сердечно-сосудистой системы. Снизить категорию загрязнения почв, а также доизвлечь ценные компоненты можно за счет гравитационного обогащения отвалов. При первичном испытании был получен концентрат с содержаниями золота более 40 г/т, серебра до 600 г/т и меди до 0,5 масс. %.

Ситуация для третьей группы материалов обстоит намного хуже: за счет преобладания сульфидов в их минеральном составе величина Zc достигает 2050 – чрезвычайно опасная категория загрязнения почв. В такой категории увеличивается заболеваемость детского населения, нарушается репродуктивная функция у женщин. С учетом высокого содержания золота и серебра (3,8 и 10 г/т соответственно), данный сульфидный материал можно подвергнуть пирометаллургической переработке, тем самым снизив в конечном отходном продукте содержания вредных компонентов.

Таким образом, в исследовании дана краткая характеристика материалов из отвалов вмещающих и вскрышных пород Левихинского рудника. Главный потенциальный источник загрязнения – сера, в меньшей степени медь. Так как в отвалах отмечены достаточно высокие содержания золота и серебра, вопрос снижения негативного воздействия отходов на окружающую среду можно решить, например, путем их пирометаллургической переработки и гравитационным обогащением. Последующие хвосты с высоким содержанием SiO<sub>2</sub> (свыше 90 масс. %) возможно использовать в стекольной промышленности. Для использования отвалов в качестве материала для рекуль-

тивации нарушенных земель необходимо провести дополнительные исследования и операции по извлечению полезных и вредных компонентов.

По состоянию на 2020 год согласно заявлению заместителя главного прокурора Свердловской области: «Более 350 объектов накопленного экологического вреда на Урале требуют рекультивации». В таблице 1.2 приведена характеристика горных отводов негативно влияющих на окружающую природную среду в Свердловской области.

Таблица 1.2. Характеристика горных отводов месторождений  
Свердловской области [8]

№	Объект <i>Object</i>	Площадь населенного пункта, км <sup>2</sup>	Площадь горного отвода, км <sup>2</sup>	Степень нару- шенности	Характеристика
1	Левихинское ме- сторождение <i>Lekvikhinsky field</i>	10,2	21	Высокая сте- пень нарушен- ности	Зона экологиче- ского бедствия
2	Дегтярское ме- сторождение <i>Degtyarskoye field</i>	19	2,2	Высокая сте- пень нарушен- ности	Зона экологиче- ского бедствия
3	Березовское ме- сторождение <i>Berezovsky field</i>	33	15,1	Средняя сте- пень нарушен- ности	Территория плот- ной застройки
4	Буланашское ме- сторождение <i>Bulanash field</i>	16,8	3,3	Высокая сте- пень нарушен- ности	Зона опасного об- рушения и под- топления террито- рии
5	Пышминско- Ключевское ме- сторождение <i>Pyshminskiy- Klyuchevskaya field</i>	20	Нет дан- ных No data	Средняя сте- пень нарушен- ности	Территория плот- ной застройки

Вследствие бурной горнодобывающей деятельности в Советский пери-  
од и по настоящее время, в Свердловской области весьма актуальны вопросы  
рекультивации нарушенных земель. Большое количество отработанных руд-  
ников и карьеров наносят существенное негативное воздействие природе и  
требуют эффективных методов рекультивации нарушенных земель.

В отношении выбора перспективного и эффективного вида рекультивационных работ следует отметить, что опираясь на данные исследований [8-10] по восстановлению нарушенных земель, выделяют два подхода к рекультивации нарушенных земель: первый – традиционный, который объединяет сложный комплекс последовательно выполняемых реконструктивно-восстановительных мероприятий (горнотехнических, мелиоративных, биологических), начиная от очистки и выравнивания рекультивируемой территории, ее землевания путем нанесения плодородного слоя почв необходимой мощности, и заканчивая внесением удобрений и мелиорантов, посевом или посадкой растений. Второй – инновационный, который ориентирован на приемы и способы стимулирования естественных процессов ренатурализации нарушенной природной среды, главным образом, процесса почвообразования, путем физико-химического и биологического воздействия на техногенный субстрат. Согласно авторской классификации, данный подход подразделяется на четыре базовых метода: водорослевой, промывки, биоремедиации и сорбент-ориентированный [11]. При этом наибольший интерес в рамках инновационного подхода вызывают биоремедиационные и сорбент-ориентированные технологии, направленные на стимулирование почвенной микрофлоры. Сравнение по критерию экономической целесообразности показало, что сорбент-ориентированный метод в сравнении с биоремедиационным – наиболее перспективен [12-13]. Исследуя более подробно сорбент-ориентированный метод, на повестку дня в настоящий момент выходят композитные органоминеральные сорбенты природного происхождения в связи с их низкой стоимостью, эффективностью и наличием больших запасов, а также функциональной способностью выступать не только сорбентами, но и мелиорантами [14-16]. При этом современный научный тренд представлен «зеленой» утилизацией отходов деревообработки, сельского хозяйства, ЖКХ и других отраслей экономики в качестве составляющих новаторских композитных сорбентов-мелиорантов [17-20].



Осадки водоподготовки образуются в результате обработки природной воды, как правило, поверхностного происхождения, перед подачей в водопроводную сеть. В крупных городах значительная часть бюджета идет на вывоз и депонирование данных осадков, образующихся в большом количестве. Обработка природной воды на сооружениях водопровода заключается в ее очистке от механических примесей, отстаивании, фильтровании и обеззараживании. Отходом предварительного процеживания воды является шлам, содержащий частицы плавающих примесей и планктона. Для удаления мелкодисперсных и коллоидных частиц технологическим процессом очистки воды предусмотрено введение коагулянта. Для ускорения процесса коагуляции примесей воды и интенсификации работы очистных сооружений применяют флокулянт.

Отходы процесса отстаивания (шламы) состоят из взвешенных веществ, содержащихся в обрабатываемой воде, и хлопьеобразных продуктов гидролиза коагулянтов с сорбированными на них органическими и минеральными соединениями. По мере накопления шламы удаляются из отстойников.

В общем случае осадки водоподготовки по своим физико-химическим свойствам подобны органоминеральным коллоидам, состоящим преимущественно из гумусовых веществ и глинистых минералов, а также осажденных форм гидроксидов железа, алюминия и оксида марганца. Наличие гумусовых веществ в составе осадка водоподготовки обеспечивает возможность применения данного осадка в составе почвогрунта. Одновременно присутствующие глинистые минералы, гидроксиды и оксиды металлов обеспечивают возможность применения осадка водоподготовки в качестве мелиоранта-стабилизатора тяжелых металлов [21]. Физико-механические и химические свойства осадков водоподготовки приведены в таблице 1.3. В общем случае осадок водоподготовки является нетоксичным веществом, поэтому часто утилизируется в качестве компонента почвогрунта [21, 22].

Стратегия устойчивого развития предполагает правильное управление отходами, способное обеспечить повторное их использование и, тем самым, снизить экологическую нагрузку на окружающую среду [23, 24]. Рациональное использование осадков водоподготовки в качестве техногенного вторичного сырья позволяет решать две задачи – экологически безопасную утилизацию отходов и восстановление нарушенных земель.

Таблица 1.3. Физико-механические и химические свойств осадков водоподготовки [22]

№ п/п	Показатели физико-механических и химических свойств	Значения показателей физико-механических свойств осадков водоподготовки ЗФС
1.	Влажность, д.ед.	5,351
2.	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	0,00107
3.	Плотность сухого грунта, кг/м <sup>3</sup>	0,000168
4.	Плотность частиц грунта, кг/м <sup>3</sup>	0,00201
5.	Пористость, д.ед.	0,916
6.	Коэффициент пористости, д.ед.	10,929
7.	Коэффициент водонасыщения, д.ед.	0,984
8.	Влажность на верхнем пределе пластичности, д.ед.	4,069
9.	Влажность на нижнем пределе пластичности, д.ед.	2,747
10.	Степень разложения органического вещества, %	99
11.	Относительное содержание органических веществ, д.ед.	0,6
12.	Химический состав (из водной вытяжки)	Fe - 11,7 мг/кг (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 0,20 %); Al - 19,1 мг/кг (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) - 13,96 %; Mn - 63,3 мг/кг (MnO - 0,21 %).

Путь почвенной утилизации осадков водоподготовки в настоящее время выбирают все большее число стран. При этом в научной литературе присутствует ограниченное число публикаций с информацией о физико-химических свойствах осадков водоподготовки. Знание данных свойств необходимо для обоснования возможных вариантов вторичного использования осадков водоподготовки, в том числе, в составе сорбентов-мелиорантов для загрязненных почв.

В работе [25] перспективным материалом для использования в качестве техногенного грунта промежуточной изоляции при рекультивации нарушенных земель методом закладки выработанного пространства вскрышными по-

родами месторождений полезных ископаемых считаются осадки водоподготовки фильтровальных станций. Преимущества применения изолирующего грунта на основе осадка водоподготовки обусловлены возможностью его использования на поверхности крутых склонов и связаны с хорошей сорбционной способностью в отношении загрязняющих химических элементов, а также с пониженными фильтрационными свойствами.

В работе [26] исследованы осадки водоподготовки и отнесены к отходам в V классе опасности. Кроме того, исследования биотестирования водной вытяжки из осадков водоподготовки не подтвердили острого токсического воздействия на тест-объекты (дафния магна, водоросли хролелла). Авторы рекомендуют использовать осадки водоподготовки в рекультивации нарушенных земель с поэтапным заполнением рекультивационной выемки с чередованием маломощных слоев осадков водоподготовки.

Авторы [27] не рекомендуют использовать осадки водоподготовки в чистом виде для биологической рекультивации нарушенных земель, так как состав осадка содержит органических веществ в 4,5 раза меньше требований ГОСТа, а питательных веществ – примерно в 2 раза. Авторы рекомендуют готовить растительный почвогрунт, предусматривающий внесение органических (торфа) и минеральных удобрений. Использование верхового торфа неизбежно будет способствовать созданию кислой среды, что потребует известкования. Полученные результаты по агрохимическим свойствам и биотестированию осадков дают основание для предварительных выводов, что они при соответствующем контроле могут быть использованы в качестве вторичных материальных ресурсов для рекультивации нарушенных земель.

## **1.2.Механизм воздействия тяжёлых металлов на экосистемы окружающей среды**

Термин «тяжелые металлы» на данный момент очень сложен и противоречив [28]. Его часто используют для обозначения металлов и металлои-

дов, являющихся поллютантами биогеоценозов, токсичных для биоты. Этот термин определяют по-разному, но обычно по критерию плотности относительно атомной массы и атомного номера. Такое разнообразие дефиниций вызвало вопросы об итоговом перечне тяжелых металлов и металлоидов, т.е., какие элементы попадают в этот список, а какие – нет. Например, до сих пор ученые спорят: включать металлоид As и, по сути, неметалл Se в перечень тяжёлых металлов и металлоидов, или нет. Присутствует даже мнение, что этот термин бессмысленный и от него необходимо отказаться [28]. Тем не менее, в рамках текущего исследования предлагается использовать широкое понимание данного термина, подтвержденное множеством исследований [29-33], где тяжелые металлы (ТМ) выступают загрязнителями, устойчивыми к биологической и химической деградации, способными накапливаться в течение длительного времени в природной среде и проявлять свои токсичные свойства в отношении биотического разнообразия экосистем. Согласно исследованию [34] наиболее распространенными ТМ в природной среде принято считать медь, цинк, хром, никель, свинец, марганец, кадмий и мышьяк.

Поступление ТМ в окружающую среду в большей степени происходит в результате выветривания горных пород и антропогенной деятельности, при этом с последней связывают обострение экологической проблематики. Схематично поступление от антропогенных источников загрязнения отражено в таблице 1.4.

Таблица 1.4. Тяжелые металлы от антропогенной деятельности\*

Антропогенный источник загрязнения	Основные ТМ, поступающие в окружающую среду
Горно-металлургический комплекс	Свинец, ртуть, мышьяк, медь, хром и кадмий
Сельское хозяйство	Мышьяк, свинец, медь, селен, кадмий, уран, цинк
Остальные отрасли промышленности	Кадмий, медь, хром, кобальт, никель, цинк, ртуть, мышьяк
Размещение отходов производства и потребления	Свинец, кадмий, медь, цинк, хром, ртуть, мышьяк
Выбросы в атмосферный воздух от частных домохозяйств и транспорта	Уран, ртуть, хром, кадмий, мышьяк, свинец

Примечание\* – составлено автором с использованием источников [34-35]

Согласно вышеизложенному, ключевой характеристикой ТМ является их токсичность. ТМ даже при относительно небольшой концентрации наносят вред почве, растениям, живым организмам и, как следствие, здоровью человека. Наиболее токсичные ТМ – это хром, кадмий, свинец, цинк, медь, ртуть и мышьяк [36-37]. В таблице 1.5 отражен общий уровень ПДК, включающий в себя как подвижные водорастворимые формы, так и неподвижные.

Таблица 1.5. Токсичность тяжелых металлов

Страна/организация	Категория земель/тип почв, ед. изм.	Хром (VI)	Кадмий	Свинец	Цинк	Медь	Ртуть	Мышьяк
ООН [38]	Земли сельскохозяйственного назначения, ppm	0,1	0,003	0,1	н/д	н/д	0,08	н/д
Китай [38]		150-300	0,3-0,6	80	н/д	н/д	0,3-1,0	н/д
США [39]		11	0,43	200	н/д	н/д	1,0	н/д
Италия [40]	Земли населенных пунктов, мг/кг	2	2	100	150	120	1	20
	Земли промышленности, мг/кг	15	15	1000	1500	600	5	50
Финляндия [41-42]	Пороговое значение, мг/кг	100	1	60	60	100	0,5	5
	Минимальное значение, мг/кг	200	10	200	200	150	2	50
	Максимальное значение, мг/кг	300	20	750	400	250	5	100
Канада [43]	Земли сельскохозяйственного назначения, ppm	250	3	200	н/д	н/д	0,8	н/д
Германия [44-45]		500	5	1000	10-300	2-100	5	1-50
Испания [46]	Кислые почвы, мг/кг	100	1	50	150	1.000	1	5
	Щелочные почвы, мг/кг	150	3	300	450	1700	1,5	55
Российская Федерация [47]	Песчаные и супесчаные почвы, мг/кг	0,05	0,5	32,0	55,0	33,0	2,1	2,0
	Кислые (суглинистые и глинистые) почвы, рН КС<5,5, мг/кг	0,05	1,0	65,0	110,0	66,0	2,1	5,0
	Близкие к нейтральным, нейтральные (су-	0,05	2,0	130,0	220,0	132,0	2,1	10,0

Страна/ организация	Категория земель/тип почв, ед. изм.	Хром (VI)	Кадмий	Свинец	Цинк	Медь	Ртуть	Мышь-як
	глинистые и глинистые) почвы рН КС1 >5,5, мг/кг							

Примечание: «н/д» – нет данных.

Таблица 1.5 демонстрирует, что предельно допустимые значения по ТМ изменяются в разных границах, более того не в каждой стране, или объединении стран, предельно допустимые концентрации приняты на законодательном уровне, это касается, например, в целом Евросоюза [35]. Повышенные концентрации несут за собой экологические риски для здоровья человека и его качества жизни (рисунок 1.2.), определяемые по известным методикам в зависимости от уровня загрязнения почв и грунтов ТМ [49-51].



Рисунок 1.2. Токсичное воздействие ТМ на биоту

Среди самых известных выделяют две методики:

1. Методика оценки потенциального экологического риска от ТМ ( $ER$ ):

$$ER = I_t \times Z = I_t \times \frac{Z_m}{Z_a}, \quad (1)$$

где  $I_t$  – уровень токсичности ТМ и чувствительности к нему биоты (данный показатель определен эмпирически и принимается в качестве константы для Cr, Ni, Cu, As, Cd, Pb, Zn, S и равен, соответственно 2, 6, 5, 10, 30, 5, 5, 15);  $Z$

– коэффициент загрязнения микроэлементом (определяется отношением измеренной концентрации элемента на исследуемом объекте ( $Z_m$ ), к фоновой ( $Z_a$ )).

Результаты расчета  $ER$  характеризуют исследуемую почву/грунт следующим образом: если  $ER < 150$ , то экологический риск от ТМ признается низким; если  $150 \leq ER < 300$ , то экологический риск от ТМ – средний; если  $300 \leq ER < 600$ , то экологический риск от ТМ – высокий; если  $ER \geq 600$ , то экологический риск от ТМ – очень высокий.

Недостатком данной методики можно считать ограничения по перечню элементов ТМ в части наличия данных по показателю  $I_t$ .

2. Вторая методика направлена на определение рисков возникновения экологического ущерба ( $EH$ ):

$$EH = \frac{Z_m}{Z_l}, \quad (2)$$

где  $Z_m$  – как, и в первой формуле, это измеренная концентрация элемента на исследуемом объекте;  $Z_l$  – в отличие от  $Z_a$  – предельно-допустимая концентрация элемента, установленная действующим законодательством.

Результаты расчета показателя риска возникновения экологического ущерба ( $EH$ ) демонстрируют малую вероятность наступления негативных последствий, если  $EH < 1$ . И наоборот, если  $EH > 1$ , то вероятность наступления неблагоприятных событий и возникновения экологического ущерба высока, следовательно почва/грунт должны быть восстановлены и рекультивированы.

Таким образом, как при первой методике определения потенциального экологического риска от ТМ, так и при второй – определения рисков возникновения экологического ущерба, в случае высоких значений итоговых показателей почва/грунт подлежат восстановительным работам.

Современное интенсивное промышленное производство сопровождается образованием различных техногенных отходов, требующих обезвреживания и утилизации. Распространенной является ситуация, когда накапливаю-



щиеся отходы уже не могут быть восприняты природной средой без серьезных негативных экологических последствий [52, 53]. При этом особую потенциальную опасность представляют отходы, содержащие соединения токсичных химических элементов, объединяемых термином «тяжелые металлы» (ТМ). В отличие от отходов органического происхождения, ТМ являются поллютантами, устойчивыми к микробиологической и химической деградации, а также способными накапливаться в течение длительного времени в воде и почве. Соответствующая нагрузка на окружающую среду особенно ощутима в промышленно развитых урбанизированных регионах [54-59]. Во многих случаях повышенным содержанием ТМ как в твердой минеральной фазе, так и в подземных водах характеризуются земли, нарушенные в результате деятельности предприятий горнодобывающего комплекса промышленности [60]. Ареал загрязнения может расширяться за счет миграции при попадании ТМ в грунтовые воды [61]. Перевод ТМ в малоподвижную форму и труднорастворимые соединения – одна из важных задач, решение которой поможет снизить их токсическое воздействие.

Технологии, направленные на ограничение геохимической подвижности ТМ в загрязненной почве, в настоящее время получают все большее применение. Уменьшение подвижности токсичных элементов в распространенном варианте данных технологий, в том числе, достигается путем иммобилизации ионов ТМ специальными веществами функционального назначения – природными и искусственными сорбентами, изучение мирового опыта применения которых и является целью текущего исследования. Задачами выступают: 1) изучить теоретические аспекты отнесения химических элементов к понятию «тяжелые металлы» (ТМ); 2) дифференцировать современные методы реабилитации почв, загрязненных ТМ; 3) представить обзор эффективности использования сорбент-ориентированного метода восстановления нарушенных земель в российской и зарубежной практике и определить наиболее перспективные составы сорбентов для дальнейшей исследовательской работы по их совершенствованию.

ТМ при определенной, как правило, уже относительно небольшой концентрации токсичны для почвы, растений, водных организмов и здоровья человека [62]. В соответствии с ГОСТ 17.4.1.0283 [63] ТМ по степени опасности подразделяются на три класса. Первый класс опасности включает следующие элементы: мышьяк, кадмий, ртуть, бериллий, селен, свинец, цинк; второй класс опасности: кобальт, хром, медь, молибден, никель, сурьма; третий класс опасности: ванадий, барий, вольфрам, марганец, стронций. Известны различные определения термина «ТМ» [64]. Соответственно, список ТМ согласно разным определениям может включать большее или меньшее число элементов. Основным критерием отнесения к данной группе химических элементов часто служит относительная атомная масса свыше 50 г/моль. Тогда в список попадают все металлы, расположенные в периодической системе элементов Д.И. Менделеева начиная с ванадия, независимо от плотности. Другим используемым критерием отнесения является плотность, примерно равная, или большая плотности железа (округленно 8 г/см<sup>3</sup>), тогда в список попадают такие элементы как свинец, ртуть, медь, кадмий, кобальт, а менее плотные выпадают из списка. Существуют классификации, основанные на других значениях пороговой плотности или атомной массы. Некоторые классификации делают исключения для благородных и редких металлов, не относя их к ТМ, некоторые исключают не цветные металлы (железо, марганец).

ТМ могут присутствовать в почве в различной химической форме, представляя собой гидратированные катионы, либо входя в состав анионов, как правило, кислородсодержащих. С геохимической точки зрения выделяют следующие формы нахождения ТМ в почвах [65]: а) водорастворимые, б) обменные, в) связанные с органическими соединениями, г) фиксируемые оксидами железа и марганца, д) собственные минералы (например, карбонаты, фосфаты и сульфиды тяжелых металлов). Растворимая и обменная формы представляют собой подвижную фракцию металлов. Другие формы рассматриваются, как менее подвижные.

Практическое применение технологий и способов очистки почв в существенной мере определяется свойствами поллютантов, а также такими характеристиками почв, как гранулометрический состав, особенно соотношение песчаных и глинисто-суглинистых частиц, содержание гумуса и др. Значение имеет также степень однородности распределения как физико-химических свойств почв, так и распределения поллютантов в их толще.

В зарубежной практике способы и технологии очищения почвы от загрязнителей обычно рассматривают с позиций их места (способа) применения [66-68]: 1) обработка вне загрязненного участка, которая связана с извлечением загрязненного грунта и переработкой его в специальных стационарных установках, расположенных за пределами рекультивируемой территории (так называемая обработка *off situ*); 2) обработка *in situ* (на месте) с инжектированием в загрязненный участок соответствующих химических реагентов и последующей утилизацией выделяющихся фракций поллютантов; 3) обработка извлеченной почвы непосредственно вблизи загрязненного участка с последующим возвращением очищенных грунтов на место их прежнего залегания (обработка *ex situ*); 4) локализация поллютантов в пределах участка посредством проведения физико-химической стабилизации (использование цемента, шлаков, жидкого стекла и т. п.), что осуществляется, как правило, для предотвращения загрязнения грунтовых вод (разновидность обработки *in situ*).

В последнее время возрос интерес к развитию технологий очистки почв, загрязненных ТМ с помощью растений. Соответствующий способ очистки называют фиторемедиацией [69]. Технология очистки заключается в выращивании в течение определенного периода времени на загрязненных почвах специально подобранных видов растений, способных извлекать из почвы ТМ корневой системой и накапливать их в надземной части, которая впоследствии пожинается и утилизируется [70].

Технологии, направленные на ограничение геохимической подвижности ТМ в загрязненной почве, в настоящее время получают все большее при-

менение. Широкое распространение получило использование сорбент-ориентированного метода. Сорбенты обеспечивают закрепление наиболее токсичных подвижных форм ТМ и, тем самым, существенно уменьшают их поступление в биомассу растений. В технологии иммобилизации используются вещества органического и неорганического происхождения, способные обеспечить уменьшение подвижности ТМ и его токсичность в почвах. Основная роль процесса иммобилизации ТМ заключается в их переводе в новые, более геохимические стабильные фазы с помощью сорбции, осаждения и процессов комплексообразования [71, 72].

Кроме варианта классификации сорбентов по типу структуры возможна их градация, например, по происхождению (природные / техногенные, минеральные / органические), конкретному назначению (сорбция определенных веществ) и т.п. Далее для удобства в текущем исследовании с большим объемом фактических литературных данных сорбенты ТМ рассматриваются как 1) сорбенты природного происхождения и как 2) сорбенты, полученные при рациональной утилизации отходов промышленных производств.

### **1.3. Минеральные и органические природные сорбенты ТМ**

Минералы, представляющие собой гидратированные алюмосиликаты слоистой структуры, относят к глинам. Глинистые природные минералы – это полимерные высокодисперсные системы со сложным химическим составом: 40-72 % (масс.)  $\text{SiO}_2$ ; 5-33 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 12-15 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; до 8 %  $\text{MgO}$ ; до 4-5 % щелочных металлов. Для глинистых минералов наряду с ионным обменом характерна физическая и молекулярная сорбция. Физическая сорбция обусловлена наличием некоторого избыточного отрицательного заряда на гранях кристаллов. При молекулярной сорбции, сорбируемые вещества располагаются между плоскостями пакетов. При этом расстояние между слоями увеличивается, так как глинистый минерал набухает. Глины являются наиболее распространенными горными породами, характеризуются высокой удельной

поверхностью и значительной емкостью катионного обмена. В этой связи проводятся исследования сорбционной и десорбционной способности глин в отношении ТМ, удерживающей способности и кинетики сорбции с целью использования глин в качестве геохимических барьеров для снижения миграции ТМ [73, 74].

Алюмосиликатные глинистые минералы состоят из чередующихся слоев оксидов кремния и алюминия. На глинистых минералах существует несколько различных типов участков, которые потенциально могут сорбировать ионы. Считается, что только гидроксильные группы, ассоциированные с ионами алюминия, расположенными на ребрах частиц глины, являются акцепторами протонов и, тем самым, обеспечивают способность глины связывать, например, анионные разновидности мышьяка [75]. При сорбции различных форм мышьяка глинистыми минералами площадь межфазной поверхности играет важную роль. Так отмечено, что монтмориллонит может сорбировать примерно вдвое больше  $As(III)$  и  $As(V)$ , чем каолинит, благодаря большей в 2,5 раза удельной поверхности [61]. В экспериментах с каолинитом и монтмориллонитом при сопоставимой площади их поверхности, количество сорбированного  $As(V)$  в том и другом случае было практически одинаковым. Галлуазит и хлорит сорбировали  $As(V)$  намного лучше, чем каолинит, иллит и монтмориллонит [76]. Результат обусловлен значительно большей площадью поверхности галлуазита. Использованный хлорит богат железом, что увеличивает число поверхностных функциональных групп  $Fe-OH$ , участвующих в сорбции мышьяка. Следует отметить, что кроме площади поверхности на сорбцию мышьяка глинистыми минералами заметное влияние оказывает концентрация ионов водорода. В обзоре [61] отмечено, что главными свойствами почвы, определяющими скорость сорбции арсенита, являются концентрация оксидов железа и pH. В целом, сорбция мышьяка происходит быстрее при более низком pH и замедляется с его повышением, особенно при  $pH > 7$  [61].

Сорбционная способность монтмориллонита и его рекультивационный потенциал для извлечения никеля и меди из загрязненной воды исследованы в работе [77]. Исследование показало, что глина обладает способностью удалять никель и медь из водного раствора при низкой температуре. При этом сорбция на катионзамещенной натриевой форме монтмориллонита выше, чем на природной, что связано с увеличением емкости катионного обмена.

В другом исследовании сорбция ионов  $Pb^{2+}$  на глине достигала максимума при  $pH=7$  и снижалась выше данного значения  $pH$  из-за образования осадков труднорастворимых соединений свинца [78]. Аналогично, сорбция ионов  $Cu^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  на белый монтмориллонит показала рост с увеличением количества исходного количества сорбента,  $pH$  и температуры. Белый монтмориллонит проявляет большее сродство к  $Cu^{2+}$  со 100 % сорбцией по сравнению с  $Ni^{2+}$  [79]. В другом исследовании сорбция ионов  $Ni^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  на монтмориллоните выявила 90 % -ное удаление этих ионов из раствора с содержанием 500 мг/л при  $pH 6,0$ , с максимальной сорбционной ёмкостью 166,67 мг/г для никеля и 142,86 мг/г для марганца [80]. Обработанный кислотой монтмориллонит проявляет повышенную сорбционную способность в отношении ТМ (Zn, Cu, Mn, Cd, Pb, Ni), зависящую от начальной концентрации металла [81].

К глинистым минералам, способным связывать ТМ, также относятся монтмориллонит, бейделлит, гидрослюда и каолинит, в т.ч. вермикулит [82]. Сорбционная способность бентонитов основана, главным образом, на ионообменных свойствах. Вермикулиты – магнезиально-железистые слюды высокой степени гидратированности характеризуются катионообменными и сорбционными свойствами, основная роль среди обменных катионов принадлежит магнию [83].

Большая часть различных видов природного сорбентного сырья представляет собой равномерную смесь частиц активного минерала и сопутствующих составляющих. Применяют сырье в естественном состоянии, предусматривают лишь его измельчение, при необходимости – разделение по

крупности. Для экологической реабилитации загрязненных почв и мелиоративных целей имеют распространение порошки с размером частиц 1-3 мм. Исходное природное сырье с высокими поглотительными свойствами без дополнительной активации применимо в качестве сорбентов и почвенных мелиорантов. Для повышения сорбционных свойств природного сырья используют термические и химические методы активации. При термической активации предусмотрено существенное увеличение сорбционной активности за счет удаления поглощенной воды из порового пространства природного материала. Сущность методов химической активации заключается в химическом взаимодействии реагента с поверхностными функциональными группами структуры сорбентов, приводящем к изменению их химического состава (деалюминированию, декатионированию), изменению характера пористости (объема и размера пор, удельной поверхности), получению дополнительных активных центров. Для цеолитов и опок используют кислотную, щелочную, солевую технологию и комбинированную активацию. Разработаны технологические схемы активации цеолитов и опок, повышающие их сорбционную способность в 2-5 раз в процессах сероочистки природных газов, сжиженных газов, продуктов переработки нефти и газа, очистки сточных вод гальванических производств от ионов металлов и т.д. Производство активированных природных сорбентов получается в 3-5 раз дешевле искусственных, они более кислото- и термоустойчивы, чем искусственные цеолиты. Перлиты и вермикулиты для сорбционных целей используют после специальной термообработки (вспучивании с формированием высокопористого материала, обладающего фильтровальными и сорбционными свойствами). Обжиг перлита проводят в печах шахтного типа при температуре 1000-1100°C. В промышленности используют два вида обожженного перлита – фильтроперлит классифицированный измельченный и пористый не дробленый. Применяют различные способы улучшения фильтровальных свойств порошков. Так, для увеличения их сорбционной активности к чистому перлиту добавляют до 40 % глинистого порошка асканита, для придания поверхности частиц олео-

фильных гидрофобных свойств перлит модифицируют органическими составами (кремнийорганическими соединениями и др.).

Особое место среди эффективных природных сорбентов ТМ занимает торф. Автор работы [84] провел исследование для выбора сорбента для очистки водных растворов от ионов кадмия, свинца, никеля. Результаты показали, что сорбенты на основе торфа являются хорошими стабилизаторами ионов ТМ, имея в 3-10 раз более высокую сорбционную емкость, чем другие однокомпонентные сорбенты. Важно, что общая концентрация ионов  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$ , сорбированных на торфе, была равна суммарным концентрациям десорбированных ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , следовательно, ионный обмен является одним из основных механизмов процесса сорбции ТМ торфом [84]. В диссертационном исследовании [84] показано, что использование гидроксида кальция при механохимической обработке торфа приводит к блокированию фульвокислот и увеличению сорбционных свойств гуминовых кислот при очистке сточных вод от ТМ. Применение осадков, образующихся при очистке промышленных сточных вод реагентами на основе торфа для создания почвенного слоя на отвалах и хвостохранилищах горно-перерабатывающих предприятий, обеспечивает увеличение всхожести и энергии прорастания семян сельскохозяйственных культур, использующихся при биологической рекультивации. В работе [85] изучена возможность повышения сорбционных свойств торфа за счет его модифицирования. Установлено, что наиболее эффективными из рассмотренных способов модифицирования природных материалов оказались электромагнитное воздействие и кислотная активация. Однако, последняя методика связана с применением агрессивных реактивов и требует использования химически стойкого оборудования, а также связана с формированием дополнительных стоков, требующих затрат на утилизацию. Авторы констатируют, что предварительная механическая активация торфа, в частности, в присутствии гидроксида железа, улучшает его характеристики в качестве сорбента нефти и ТМ [85]. Важно, что оксиды железа обладают высокой иммобилизирующей способностью в отношении мышьяка как в



форме арсената, так и арсенита. Роль железа в закреплении ТМ и металлоидов в почвах очень велика. Соединения железа используют в качестве мелиорантов, а также для геохимических барьеров при закреплении ТМ.

#### **1.4. Анализ опыта использования отходов в качестве сорбентов**

Перспективным направлением исследований является разработка технологий создания и использования новых сорбционных материалов, изготовленных из различных промышленных отходов. Реализация возможности использования техногенных отходов в качестве сорбентов ТМ позволяет уменьшить подвижность токсичных химических элементов и рационально утилизировать различные отходы. Промышленные отходы в исходном виде, как правило, обладают невысокими сорбционными свойствами [86]. Для повышения уровня этих свойств отходы модифицируют или комбинируют с другими сорбентами. Для модификации, в основном, используют термические или химические способы, как по отдельности, так и в комплексе. Для придания механических свойств и удобства в использовании сорбенты гранулируют или создают композиционные материалы с введением связующего [87].

В работе [88] разработан и экспериментально проверен способ получения гранулированного сорбента для очистки сточных вод от ионов ТМ (на примере меди и цинка). В состав сырьевой смеси входят железистый шлам, отходы водоподготовки, жидкое стекло, оксид кальция, вода. Степень извлечения ионов цинка и меди при тестировании сорбента составила соответственно 53,5 и 44,0 %. Авторы работы [89] на основе отходов производства древесноволокнистых плит и магнетита получили магнитный композиционный материал, обладающий сорбционными свойствами по отношению к ионам свинца, меди и хрома. Исследования кинетики сорбции ионов ТМ показали, что для полученного сорбента характерна сравнительно высокая скорость процесса. Установлено, что продолжительность сорбции составляет 15

минут для ионов меди, 10 минут для ионов свинца и хрома. При повышении температуры до 60°C время сорбции ионов ТМ сокращается незначительно. Увеличение температуры приводит также к небольшому росту сорбированных ионов ТМ (не более 5 %). Много исследований по иммобилизации ионов ТМ проведено на растительных материалах, в частности, таких как древесина. В работе [90] обобщены литературные сведения об использовании компонентов деревьев акации (листья, опилки коры и древесины, стручки), а также экстрактов из них в качестве сорбционных материалов и реагентов для удаления ионов ТМ. Показана возможность дополнительного увеличения сорбционных показателей путем химической модификации. В работе [91] изучена возможность очистки сточных вод отходами металлообработки предприятия от ионов хрома (VI). Установлено, что максимальной эффективностью для очистки стоков от ионов хрома обладают отходы, содержащие соединения кремния и оксида железа. В работе [92] представлены результаты исследования по созданию комбинированных сорбентов на основе отходов керамического производства и сельскохозяйственных отходов (шелуха подсолнечника) и по изучению сорбционных свойств сорбентов по отношению к ионам свинца. Показано, что наиболее высокими сорбционными свойствами обладает материал, полученный при соотношении смеси отходов 50:50 и подвергшийся термообработке при температуре 300°C в течение 20 минут. Для решения проблемы присутствия ТМ в природной среде зарубежными авторами также проводились исследования по использованию в качестве сорбента сухих листьев капусты, порошка из скорлупы куриных яиц, а также древесных опилок [93]. В ряде научных работ были изучены сорбционные свойства модифицированных опилок – отходов деревообрабатывающей промышленности. Древесный опил содержит различные органические соединения (лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозу) с полифенольными группами, которые способны связывать ионы ТМ [93]. В работе [61] оценивали потенциал трех различных утилизируемых отходов для удаления мышьяка из почвы с помощью лабораторных экспериментов и полевых испытаний. Первый сор-

бент был синтезирован с использованием кислотного шахтного дренажного ила, цемента и песка. Два других сорбента были синтезированы путем добавления к первому соответственно летучей золы или гидроксида кальция. Исследования показали, что синтезированные сорбенты являются очень эффективными и обеспечивают более 80 % удаления мышьяка из загрязненной почвы.

### **1.5. Применение сорбентов ТМ в качестве удобрений – мелиорантов загрязненных земель**

Иммобилизация ионов ТМ с помощью сорбентов является распространенным вариантом ремедиации загрязненных земель. С другой стороны, земли, нарушенные в результате деятельности предприятий горно-промышленного комплекса, требуют также проведение мероприятий рекультивации с применением удобрений мелиорантов. При этом мелиоранты выступают в качестве субстрата, улучшающего физико-химические свойства почвы и повышающие ее плодородие. В этом направлении получил развитие перспективный способ ремедиации и рекультивации нарушенных земель, основанный на применении мелиорантов–стабилизаторов (МСТМ). В качестве МСТМ могут быть использованы различные удобрения и сорбционные материалы природного и техногенного происхождения. Одним из наиболее известных приемов устранения избытка ТМ в почве является внесение негашеной или гашеной извести в качестве мелиоранта [94]. Однако нейтрализация кислотной среды внесением в почву извести не всегда приводит к снижению подвижности ТМ. Так, известкование нейтральной почвы с целью снижения подвижности и фитотоксичности ТМ практически не дает положительного результата. Металлы, присутствующие в почве преимущественно в форме металлоорганических комплексов (хелатов), могут оставаться растворимыми даже после сильного известкования. Такое явление установлено для Cu, Zn и Cr [65]. Хром и молибден в нейтральных и слабощелочных почвах более по-

движны, чем в кислых почвах. В принципе, известкование не рекомендуется для почв, загрязненных Mo, As, Se. В большинстве случаев при ремедиации и рекультивации почвы эффективно совместное внесение извести, органического вещества (например, торфа) и фосфатов, способствующее заметному снижению поступления ТМ в растения, в связи с протеканием химических реакций, ведущих к образованию труднорастворимых карбонатов и фосфатов ТМ. Достаточно эффективны сорбционные барьеры, образующиеся при внесении органических удобрений, которые подразделяются на биологически активные (навоз) и биологически инертные (торф). В работе [95] изучали влияние удобрений и сорбентов на иммобилизацию ТМ в почве. Лучшие результаты с точки зрения иммобилизации ТМ (Cd, Pd, Ni) были получены в навозном варианте для самого низкого содержания ТМ. Диапазон pH почвы (5,5-6,5) в течение испытательного периода не оказывал влияния на содержание ТМ в соевых бобах, выращенных на искусственно загрязненной почве.

Химические компоненты в составе органических удобрений связывают ТМ в органоминеральные комплексы с низкой растворимостью и большой прочностью. Благоприятный режим фосфора в почвах снижает токсическое действие ТМ, образующих нерастворимые фосфаты. Внесение суперфосфата или фосфоритной муки в кислую почву рассматривается, как один из методов иммобилизации ТМ [95].

Использование глинистых минералов с добавками оксидов, например, железа, может также быть эффективным в целях рекультивации. Кроме того, глинистые минералы и оксиды могут быть переработаны и регенерированы для дополнительного рекультивационного использования [96]. Например, сорбент на основе палыгорскита с добавками оксида железа проявлял способность к связыванию свинца. Многие варианты рекультивации используют проницаемые геохимические барьеры, химически реагирующие с загрязняющими веществами из подземных вод. Такими барьерами могут быть оксиды железа, монтмориллонит, монтмориллонит с оксидом марганца, монтмориллонит с оксидом железа. Сочетание оксид металла – модифицированная гли-

на увеличивает количество связываемых ионов ТМ из загрязненной среды [96].

Известны исследования, ориентированные в соответствии со стратегией устойчивого развития на изучение возможности повторного рационального применения компонентов промышленных отходов в качестве МСТМ. Авторы [97] исследовали возможность применения отходов вторичного обогащения комплексных руд АО «Ковдорский ГОК» карбонатитового состава в качестве мелиоранта, являющегося субстратом для формирования растительного покрова. Предложенный способ позволяет снизить экологическую нагрузку на техногенные ландшафты путем использования карбонатитовых отходов для уменьшения накопления ТМ в грунте с высоким уровнем загрязнения. Авторы другого подобного исследования [98] провели полевые эксперименты по использованию серпентинсодержащих отходов для ремедиации техногенно-загрязненных территорий, которые также показали положительные результаты.

Многими физическими и химическими свойствами, потенциально предоставляющими возможность рационального повторного использования техногенных отходов, обладают осадки водоподготовки фильтровальных станций (ОВФС). В общем случае ОВФС по своим физико-химическим свойствам подобны органо-минеральным коллоидам, состоящим преимущественно из гумусовых веществ и глинистых минералов, а также осажденных форм гидроксидов железа, алюминия и оксида марганца. Наличие гумусовых веществ в составе ОВФС обеспечивает возможность применения данного осадка в составе почвогрунта. Одновременно присутствующие глинистые минералы, гидроксиды и оксиды металлов обеспечивают возможность применения ОВФС в качестве МСТМ [99]. В общем случае ОВФС является нетоксичным веществом и поэтому часто утилизируется в качестве компонента почвогрунта. Путь почвенной утилизации ОВФС в настоящее время выбирает всё большее число стран. Другой известный альтернативный вариант для решения проблемы утилизации ОВФС включает повторное его использова-

ние в качестве коагулянта, или в качестве недорогого сорбента для ТМ: ртути, свинца, а также селена и мышьяка. При этом отмечено, что добавленный в почву коагулянт, полученный из ОВФС, усиливает ее буферные свойства, повышая устойчивость к изменению водородного показателя. Данный факт также способствует иммобилизации химических элементов, предотвращая их нежелательную эмиссию.

Исследования сорбции ТМ с помощью ОВФС проводятся уже достаточно продолжительное время. Например, сравнительные сорбционные испытания, проведенные на сорбентах с добавками ОВФС и с добавками гетита, показали большую эффективность при удалении из растворов ионов  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  [100]. Широко изучалось применение ОВФС для удаления мышьяка. Проведены исследования ОВФС, полученные при использовании в качестве коагулянта в одном случае сульфата алюминия, в другом – сульфата железа (III). Исследуемые растворы содержали As (III) и As (V) при pH 5,3–6,3. Результаты исследований показали, что ОВФС с содержанием железа имеют более высокую сорбционную емкость в отношении As (III), чем As (V) (99 % As (III) сорбировано против 67 % As (V)). В то же время ОВФС с содержанием алюминия эффективно удаляли больше As (V), чем As (III) (55 % As (III) против 93 % As (V)). Исследования сорбции мышьяка подтверждают, что основным сорбентом ионов, содержащих мышьяк, является гидроксид трехвалентного железа. Гидроксид железа – эффективный регулятор миграции мышьяка в природной среде. Было проведено несколько исследований в которых изучалось применение ОВФС, частицы которых предварительно диспергировались до размера менее 100 нм с целью увеличения площади сорбирующей поверхности [101]. Исследования показали, что ОВФС, диспергированные до наноразмерных частиц, проявляют высокую сорбционную эффективность в отношении As, Cd и P, которая на порядок величины больше, чем у ОВФС с обычным размером частиц. Отметим, что ОВФС может служить перспективным материалом для использования в качестве техногенного грунта промежуточной изоляции. Результаты проведен-

ных исследований свидетельствуют о стабильности в атмосферных условиях несущих свойств техногенного грунта, полученного при высыхании ОВФС. Такие токсичные элементы, как свинец и мышьяк активно связываются образующими осадок глинистыми и органическими частицами, гидроксидами и оксидами металлов. В результате подвижность токсичных элементов может заметно снижаться. С другой стороны, ОВФС может служить для растений источником микроэлементов, необходимых для нормального протекания биохимических процессов и реализации биологического этапа рекультивации. Ремедиационный потенциал ОВФС может быть усилен совместным применением с природным или модифицированным торфом.

### **1.5. Выводы по главе 1**

Вышеприведенный литературный обзор позволяет сделать следующие предварительные выводы:

- породные отвалы являются крайне опасными техногенными объектами способными влиять на состояние окружающей природной среды, загрязнять биосферу химическими элементами и соединениями токсических металлов.

- в восстановлении нарушенных земель, выделяют два подхода: традиционный - объединяет сложный комплекс последовательно выполняемых реконструктивно-восстановительных мероприятий (горнотехнических, мелиоративных, биологических), начиная от очистки и выравнивания рекультивируемой территории, ее землевания путем нанесения плодородного слоя почв необходимой мощности, и заканчивая внесением удобрений и мелиорантов, посевом или посадкой растений; инновационный - ориентирован на приемы и способы стимулирования естественных процессов ренатурализации нарушенной природной среды, главным образом, процесса почвообразования, путем физико-химического и биологического воздействия на техногенный субстрат;

- сорбент-ориентированный метод восстановления нарушенных земель в сравнении с биоремедиационным по критерию экономической целесообразности наиболее перспективен. Сорбент-ориентированный метод – это применение органоминеральных сорбентов природного происхождения перспективен в связи с их низкой стоимостью, эффективностью и наличием больших запасов, а также функциональной способностью выступать не только сорбентами, но и мелиорантами.

- использование сорбентов на основе природных материалов таких как торф и осадков водоподготовки для детоксикации техногенных грунтов требует создание технологии рекультивации нарушенных земель загрязненных тяжелыми металлами;

- необходимо тестировать композитные сорбенты в отношении иммобилизации водорастворимой формы тяжелых металлов для последующего закрепления их в сорбентах и снижении негативного воздействия на окружающую среду.

### **1.6. Цель работы, задачи исследования**

Изученные материалы, полученные предварительные выводы позволили сформулировать **цель собственного диссертационного** исследования: *совершенствование сорбент-ориентированного метода с использованием природных и техногенных материалов при консервации отвалов с минимизацией воздействия на окружающую природную среду.*

Достижение поставленной цели сопряжено с решением **ряда задач исследования:**

*1. Проанализировать методы, технологии и средства иммобилизации ионов тяжелых металлов природными и техногенными сорбентами.*

*2. Изучить физико-химические свойства торфа и осадков водоподготовки, как сорбентов-мелиорантов.*

*3. Исследовать процесс сорбции ионов тяжелых металлов сорбентом-мелиорантом на основе торфа и осадков водоподготовки.*



*4. Обосновать технологию консервации породных отвалов сорбент-ориентированным методом с использованием сорбентов-мелиорантов.*

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТОРФА И ОСАДКОВ ВОДОПОДГОТОВКИ

### 2.1. Исследования физико-химических свойств торфа

Исследования физико-химических свойств торфа широко известны.

Химический состав органической части торфа в значительной степени определяется химическим составом растений-торфообразователей и условий, при которых происходило их разложение. Все твердые горючие ископаемые, входящие в генетический ряд каустобиолитов, являются результатом превращения различных растительных остатков как наземных, так и водных [102-107].

В элементный состав органической массы входят пять элементов: углерод, водород, сера, азот и кислород. Авторы [108] широкомасштабных исследований представили количественный анализ элементного состава в зависимости от вида, группы, типа торфа и привели обширный справочный материал.

Малоразложившийся торф по составу схож с составом дерева, торф высокой степени разложения схож с составом бурого угля.

На рисунке 2.1 представлен групповой состав торфа, он делится на следующие группы соединений: битумы Б, водорастворимые ВР, легкогидролизуемые ЛГ, гуминовые вещества ГВ (гуминовые кислоты ГК), целлюлозу Ц и негидролизуемый остаток (лигнин) Л.

Зольная часть торфа в основном состоит из микроэлементов: кремния, алюминия, железа, кальция, магния, натрия, фосфора, серы. Общая минерализация дисперсной среды верхового торфа составляет 40-70; переходного – 70-180, а низинного – более 180 мг/л.

В таблице 2.1 описаны соединения, составляющие торф в зависимости от их состава, содержания и других свойств.

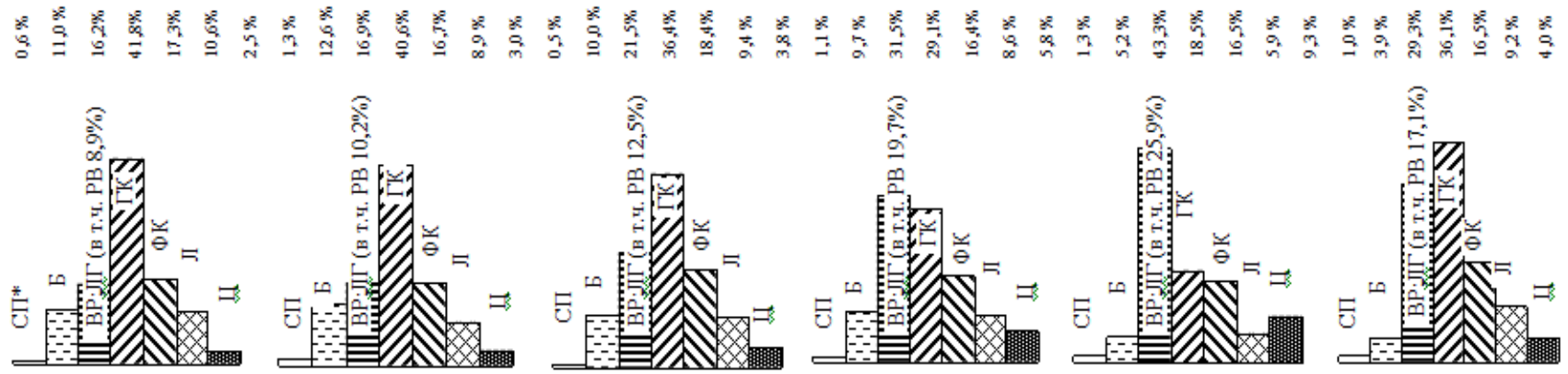
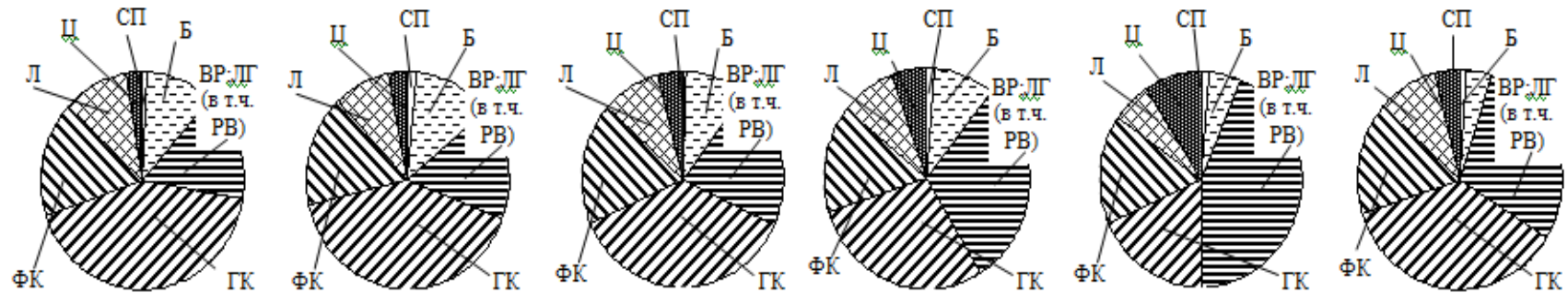


ДИАГРАММА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУППОВОГО СОСТАВА



\* СП - суммарные потери при групповом анализе

Под-тип	Лесной	Лесо-топяной		Топяной		
	древесная	древесно-травяная	древесно-моховая	травяная	травяно-моховая	моховая
Группа						
Вид	3,1101	3,2202	3,2303	3,3404; 3,3405	3,3506; 3,3507	3,3608; 3,3609; 3,3610; 3,3611; 3,3612
КТС	В-3-1	В-3-1	В-(2-3)-1	В-(2-3)-1	В-(2-3)-1	В-(0-1)-1

Рисунок 2.1. Групповой состав органической массы верхового торфа (в процентах на сухое вещество)

Таблица 2.1. Соединения, составляющие торф

№ п/п	Вещество	Содержание в низинном или верховом торфе		Состав
		Низинный,%	Верховой,%	
1.	Битумы	до 7	до 15	Асфальтены, воски, парафины и масла. С=70,4 (65-75); Н=10 (9-12) и N=0,53 (0,36-0,67)
2.	Водорастворимые и легкогидролизуемые	от 6,9 до 63		Гемицеллюлозы, аминокисло- ты, углероды
3.	Негидролизуемый остаток	от 12 до 20	от 6 до 12	Лигнины, нерастворимые би- тумы, углеводы и гуминовые вещества
4.	Лигнины	от 1,8 до 22		Н = 5,4-6,5 и О = 34,6-27,5
5.	Гуминовые	от 4,6 до 49,9	от 18,6 до 55,5	Гуминовые кислоты, гуматы и фульвокислоты
6.	Целлюлоза	от 0,7 до 20,7	от 0 до 9	С – 44,4; О – 6,2 и Н – 49,4

Негидролизуемый остаток торфа – это не растворенная часть торфа, способная выдержать воздействие щелочью и концентрированной кислотой. Негидролизуемый остаток торфа напрямую зависит от степени разложения торфа – чем он выше, тем меньше остаток. Больше лигнина содержат древесные и травяные виды торфа, меньше – моховые [109].

Гуминовые вещества являются важнейшим элементом торфа, так как выступают продуктом распада органических соединений растений-торфообразователей, и сильно влияют на структурообразование торфа. В молекулах гуминовых кислот содержится большое количество различных функциональных групп: карбоксильные –  $\text{COOH}$ ; фенольные гидроксилы –  $\text{OH}$ ; метоксильные –  $\text{OCH}_3$ ; аминные –  $\text{NH}_2$  и многие другие. Это обуславливает разнообразие свойств гуминовых кислот и их высокую обменную емкость [110].

Целлюлоза – трудногидролизуемая часть торфа. Степень разложения напрямую влияет на общее количество целлюлозы в торфе – чем выше сте-

пень разложения, тем меньше количество целлюлозы в торфе и, наоборот, соответственно. Однако количество целлюлозы зависит и от группы торфа, например в моховой группе содержание целлюлозы выше, в древесной – ниже. Целлюлоза обладает свойством природного полимера, является аккумулятором питательных веществ для растений [110].

Минеральные вещества являются составным элементом торфа, зависят от вида торфа, условий его залегания и питания торфяных месторождений грунтовыми, сточными водами, атмосферными осадками и составляют до 50 % включительно [110].

Важное значение имеет влажность торфяного сырья для использования его в отраслях народного хозяйства. В залежи влажность торфа варьируется от 92 до 99 %. Влажность торфа для сельскохозяйственного использования в качестве удобрений варьируется от 50 до 70 %; для торфяных брикетов – от 5 до 17 %; для производства сорбентов от 15 до 60 %.

В качестве объекта исследования был изучен верховой нейтрализованный фракционированный (фракция 0-10) торф. Влажность торфа составила 50-60 %, водородный показатель водной вытяжки (рН) – 5,5-6,0. Верховой нейтрализованный торф готовился из верхового торфа низкой степени разложения. Для нейтрализации торфа использована известняковая мука. Степень разложения верхового торфа не превышала 18 %, массовая доля влаги в нем составляла не более 65 %, зольность – менее 5 %.

Структура торфа изучалась с помощью на растрового электронного микроскопа Tescan Vega 4. Результаты определения физико-химических свойств торфа из Мало-Рефтинского месторождения, Свердловской области представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Результаты определения физико-химических свойств торфа [111]

Определяемый показатель	%
Массовая доля общей серы в пересчете на сухое состояние топлива $S^d$	0,21
Выход летучих веществ в пересчете на сухое беззольное состояние топлива $V^{daf}$	70,8
Массовая доля азота в пересчете на сухое беззольное состояние топлива $N^{daf}$	2,82
Массовая доля углерода в пересчете на сухое беззольное состояние топлива $C^{daf}$	57,28
Массовая доля нелетучего углерода в аналитической пробе C	23,95
Массовая доля водорода в пересчете на сухое беззольное состояние топлива $H^{daf}$	6,34
Массовая доля кислорода в пересчете на сухое беззольное состояние топлива $O^{daf}$	33,33
Химический состав золы, масс. %	
$SiO_2$	48,84
$CaO$	9,81
$MgO$	3,65
$Fe_2O_3$	14,47
$Al_2O_3$	13,70
$P_2O_5$	1,40
$SO_3$	5,20
$K_2O$	1,67
$Na_2O$	0,59
$TiO_2$	0,62

Исследования деструкции торфа и его горения при нагреве проводились с помощью прецизионного оборудования – термического синхронного анализатора STA 449 F5 Jupiter, результаты представлены на рисунке 2.

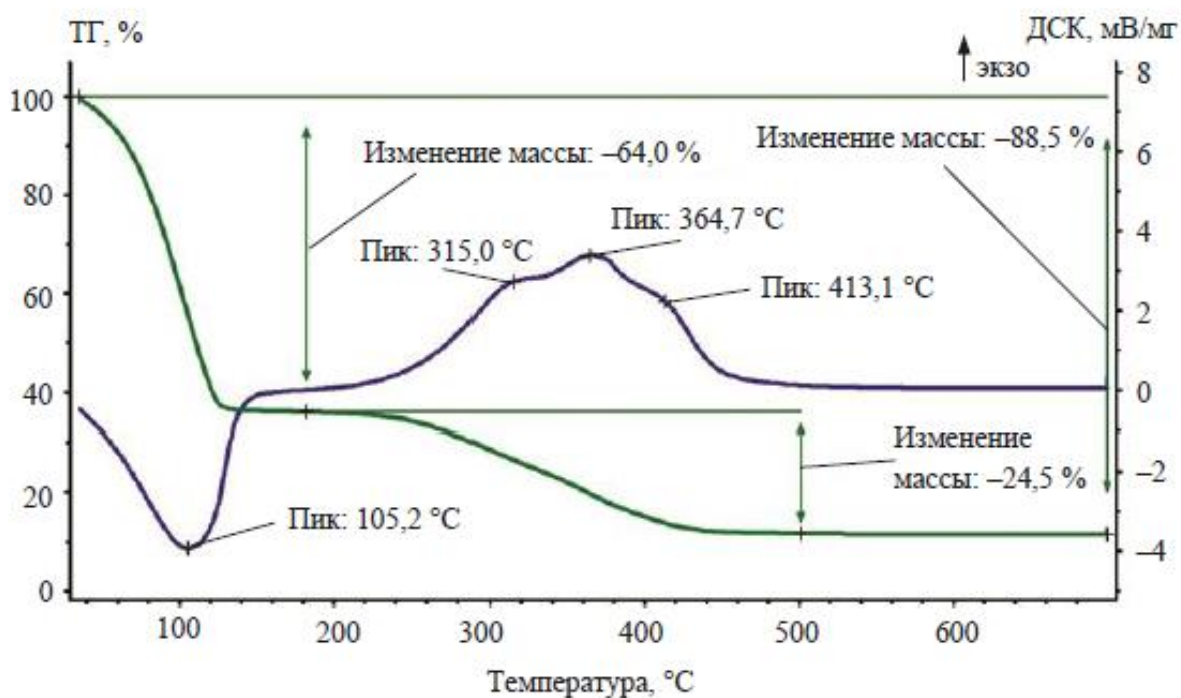


Рисунок 2.2. Кривые изменения веса (ТГ – термогравиметрия, ДСК – дифференциальная сканирующая калориметрия) при нагреве торфа в атмосфере воздуха, расход 20 мл/мин

Анализ показал, что при обжиге торфа (температура 950°C) сгорает углерод. Размеры частиц золы от 5 до 100 мкм – полиминеральные агрегаты.

Термические исследования показали, что основная масса – это вода (64 %). Максимальная интенсивность испарения происходит при температуре 105,2°C и заканчивается при 130–140°C. Горение углерода начинается при температуре 220°C и заканчивается при 440°C (сокращение массы от общей 24,35 %). Общее сокращение массы составило 88,52 %, что коррелируется с химическим составом торфа. В состав газов входят: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO и NO<sub>2</sub> [112].

На рисунке 2.3 представлена фотография частицы нейтрализованного торфа, полученная с помощью электронного микроскопа.

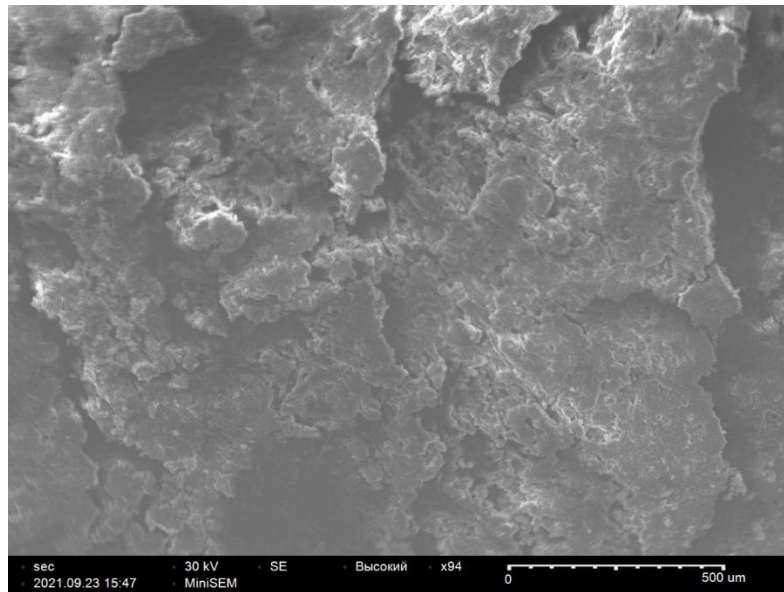


Рисунок 2.3. Торф нейтрализованный

Из рисунка 2.3 видно, что частица торфа имеет четкую структуру. Наличие пор, гуминовых кислот и лигнина обеспечивает достаточную сорбционную способность иммобилизации ионов тяжелых металлов.

## 2.2. Исследование свойств осадков водоподготовки

В качестве объекта исследования изучались осадки водоподготовки Западной фильтрационной станции г. Екатеринбурга, отобранные в летний период водозабора. Для анализа были выбраны следующие параметры осадков: гранулометрический, фазовый и химический состав, электропроводность, а также кислотно-основные свойства.

Осадки водоподготовки перед проведением экспериментов предварительно обезвоживали при  $99,85\text{ }^{\circ}\text{C}$  К в течение двух суток.

Гранулометрический состав осадков водоподготовки определялся ситовым методом с промывкой водой, а также методом седиментации с использованием торсионных весов. Для проведения анализа гранулометрического состава осадков водоподготовки ситовым методом взвешивали  $49 \pm 1$  г сухого материала. Применяли набор сит с размерами ячеек 0,100; 0,071; 0,063; 0,050 мм. Для промывки сит использовали дистиллированную воду. После



просева с каждого сита осуществлялся сбор материала. Собранный материал просушивали при 373 К в течение 8 ч и взвешивали.

Фазовый состав образцов определяли методом рентгеновского фазового анализа с помощью дифрактометра XRD 7000 (Shimadzu).

Химический состав образцов определяли методом рентгеноспектрального микроанализа EDAX с помощью соответствующей приставки к сканирующему электронному микроскопу Tescan Vega.

Удельную электропроводность системы *вода–осадки* водоподготовки исследовали мостовым методом. Для измерений использовали мостовую схему, питаемую переменным током. Перед проведением измерений навеску осадков водоподготовки смешивали со 100 мл дистиллированной воды и выдерживали в течение 24 ч.

Исследование кислотно-основных свойств осадков водоподготовки проводили в статических условиях при комнатной температуре. Навеску обезвоженного материала массой 1,5 г (точность взвешивания  $\pm 0,01$  г) помещали в стеклянную колбу достаточной емкости. В колбу с помощью мерного цилиндра добавляли 25,0 мл раствора уксусной кислоты с различной концентрацией. По истечению двух часов контакта компонентов раствор из колбы фильтровали через бумажный фильтр. Исходную и конечную концентрацию уксусной кислоты определяли титрованием, используя стандартный раствор гидроксида натрия.

Результаты гранулометрического анализа осадков водоподготовки ситовым методом представлены на рисунке 2.4.

Из рисунка 2.4 видно, что преобладающая часть осадков водоподготовки представлена частицами с линейным размером менее 50 мкм (53 %) и частицами размером более 100 мкм (44 %). На частицы с размером от 71 до 100 мкм приходится всего 2 % от общего числа.

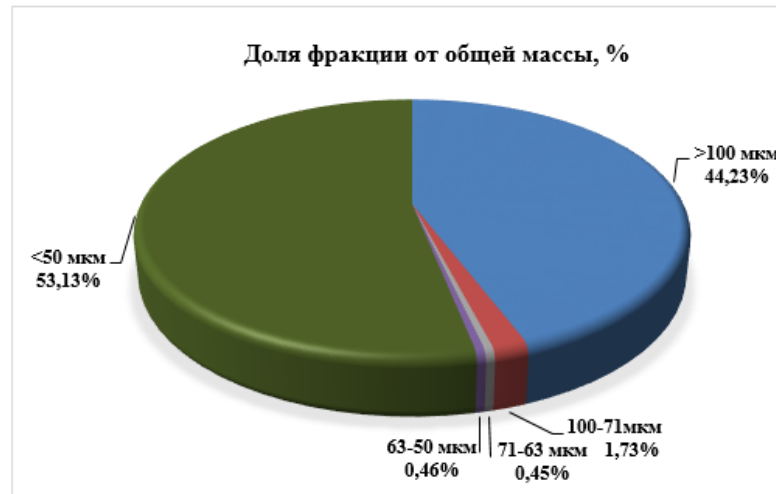


Рисунок 2.4. Гранулометрический состав осадков водоподготовки, определенный ситовым методом анализа с промывкой водой

Дополнительные гранулометрические исследования осадков водоподготовки были выполнены седиментационным методом. На рисунке 2.5 представлена соответствующая дифференциальная кривая распределения частиц, имеющих размер менее 50 мкм. Из рисунка 2.5. следует, что среди частиц менее 50 мкм преобладают частицы, размер которых не превышает 10 мкм.

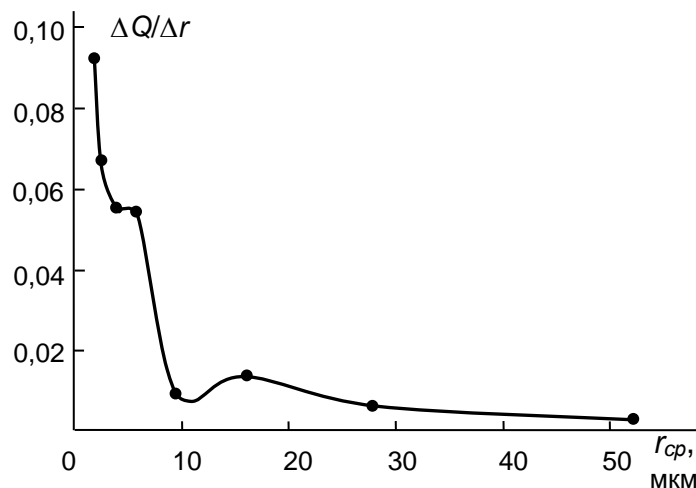


Рисунок 2.5. Распределение весового количества фракций методом седиментации:  $\Delta Q$  – вес фракции, усл. ед.;  $r_{ср}$  – средний радиус частиц фракции, мкм

Результаты гранулометрических исследований показывают, что осадки водоподготовки представляют собой полидисперсную систему. В отношении величины площади поверхности также важен размер частиц: мелкие частицы

имеют большую поверхность, чем такое же количество по массе крупных частиц. Следовательно, гранулометрический анализ позволяет заключить, что осадки водоподготовки при контакте с другими веществами характеризуются развитой поверхностью границы раздела.

Рентгенограмма осадков водоподготовки, обезвоженных нагреванием при 373 К, имеет вид, характерный для рентгеноаморфного вещества. Рентгенограмма становится информативной после прокаливания осадков водоподготовки при более высокой температуре. Это влияет на минеральный состав осадка. В осадках высокое содержание органического вещества. Нагрев осадков водоподготовки до высокой температуры обеспечивает выгорание органических соединений и удаление летучих веществ. На рентгенограмме осадков водоподготовки, прокаленных при 723 К в течение 20 мин, кроме кварца фиксируются соединения алюминия: алуноген  $(Al(H_2O)_6)_2(SO_4)_3(H_2O)_5$ , альбит  $NaAlSi_3O_8$ , гиббсит  $Al(OH)_3$ , а также железо в составе графтонита  $Fe_3(PO_4)_2$  и аморфная фаза.

Результаты электронной микроскопии свидетельствуют о том, что высокое содержание углерода связано с присутствием в осадках большого количества фитопланктона, а существенная доля кремния – со значительным содержанием в фитопланктоне водоисточника диатомовых водорослей.

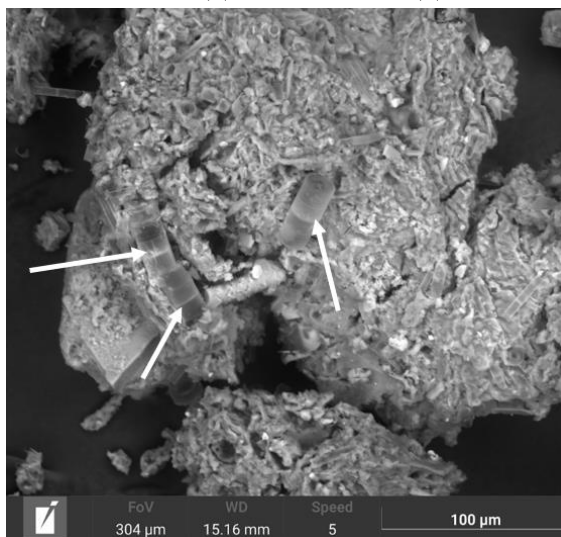


Рисунок 2.6. Осадки водоподготовки: стрелками отмечены наиболее крупные диатомовые водоросли

Из рисунка 2.6 видно, что частица осадка сформирована из водорослей различных видов. Наиболее простым классом для идентификации являются диатомовые водоросли *Diatomeae*, имеющие гладкий, геометрически ровный трубчатый панцирь.

Дополнительная информация о свойствах осадков водоподготовки была получена при изучении их удельной электропроводности. На рисунке 2.7. представлена зависимость данного параметра от массы осадков водоподготовки в фиксированном объеме воды.

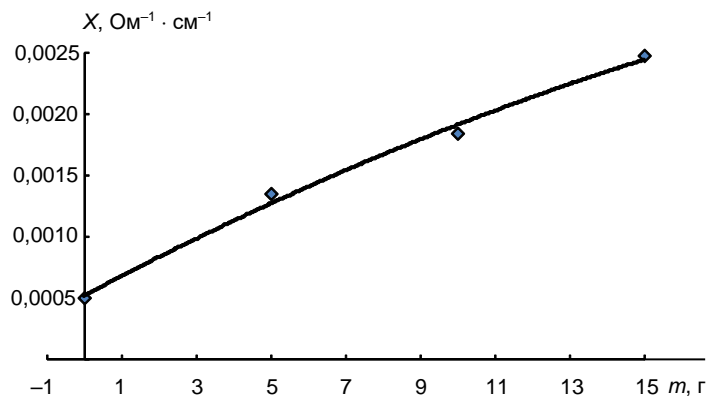


Рисунок 2.7. Зависимость удельной электропроводности  $X$ , Ом<sup>-1</sup> · см<sup>-1</sup>, раствора от массы  $m$ , г, внесенного осадка водоподготовки

Из рисунка 2.7. следует, что удельная электропроводность линейно возрастает с увеличением исходной массы осадков водоподготовки в воде. По технологии водоподготовки в качестве коагулянта используется сульфат алюминия. Введение коагулянта приводит к агрегации и осаждению взвешенных частиц. При этом происходит соосаждение сульфата алюминия, в отсутствие других осадков не осаждающегося. По результатам рентгенофазового анализа, осадки водоподготовки содержат сульфат алюминия в форме минерала алуногена, который растворим в воде. При растворении он диссоциирует на ионы алюминия и сульфат-ионы, обеспечивающие электрическую проводимость раствора. Поэтому повышение содержания осадков водоподготовки в фиксированном объеме воды влечет рост концентрации заряженных частиц в растворе и рост его электропроводности. В этих условиях

при наличии ионов тяжелых металлов возможна их иммобилизация за счет образования труднорастворимых сульфатов.

В результате проведенных экспериментов установлено, что осадки водоподготовки при контакте с кислой средой проявляют нейтрализующее действие, связывая часть кислоты (рисунок 2.8).

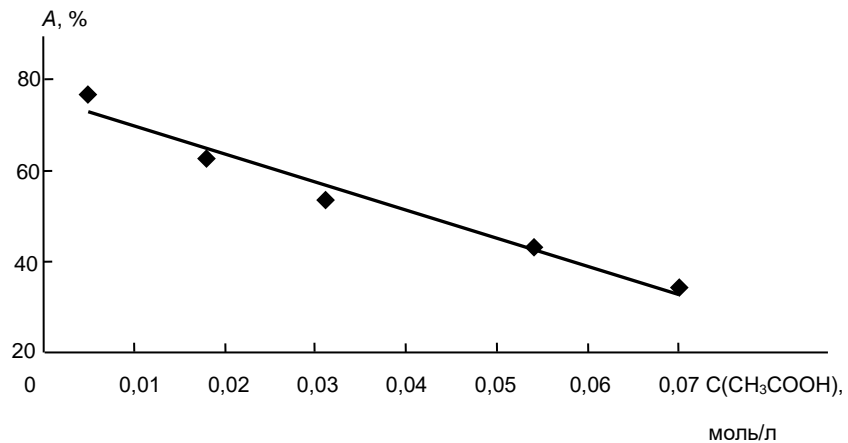


Рисунок 2.8. Зависимость доли  $A$ , %, нейтрализованной осадками водоподготовки уксусной кислоты, от ее исходной концентрации  $C(\text{CH}_3\text{COOH})$ , моль/л

Нейтрализация кислоты смещает значение водородного показателя в сторону нейтральной и щелочной среды. Отметим, что щелочная среда способствует почвенной иммобилизации ионов тяжелых металлов.

### 2.3. Исследование процесса сорбции тяжелых металлов

На основании сравнительного анализа результатов проведенных экспериментов обоснован выбор композитного сорбента-мелиоранта из природного сырья и техногенных осадков водоподготовки, проявляющего наибольшую эффективность в отношении связывания ионов тяжелых металлов – меди (II) ( $\text{Cu}^{2+}$ ), свинца (II) ( $\text{Pb}^{2+}$ ), мышьяка (III) ( $\text{As}^{3+}$ ). Для обоснования выбора состава композитного сорбента-мелиоранта исследовали иммобилизацию ионов,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$  сорбентами торф – осадки водоподготовки с различным содержанием компонентов.

Предложенный состав композитного сорбционного материала на основе торфа и осадков водоподготовки является потенциально эффективным в отношении селективной иммобилизации ионов тяжелых металлов и способным обеспечить утилизацию осадков водоподготовки в большом количестве. В целях утилизации осадков водоподготовки в проведенных экспериментах наибольшее содержание осадков водоподготовки в композитном сорбенте доводили до 80 масс. %.

Эксперименты по изучению сорбции тяжелых металлов выбранным композитным сорбентом-мелиорантом состава торф - осадки водоподготовки (20 % торфа/80 % осадки водоподготовки по естественной массе) проводили в статических условиях – раствор не перемешивали. Для исследований готовили модельные растворы с содержанием ионов меди (II) - 4,327 ммоль/л, свинца (II) - 0,7722 ммоль/л, мышьяка (III) (в составе метаарсенит - иона) - 0,1335 ммоль/л, что соответствует пятикратному значению предельно допустимой концентрации каждого иона в почве. Также в исследованиях использовали растворы с большей концентрацией, содержащие 20 ПДК (в почве) ионов: меди (II) - 17,308 ммоль/л, свинца (II) - 3,0888 ммоль/л, мышьяка (III) - 0,5340 ммоль/л. Навески сорбента массой 25 г. помещали в стеклянные колбы. Затем в колбы добавляли 200 мл раствора соли тяжелого металла.

В целях определения изменения концентрации ионов в растворах использовали методы количественного анализа: атомно-абсорбционную спектрометрию и рентгеновскую флуоресцентную спектрометрию. По результатам анализа рассчитывали значения сорбции ( $A$ , моль/г).

Расчет значений сорбции:

$$A = \frac{(C_0 - C_p)V}{m}, \quad (3)$$

где:  $C_0$  и  $C_p$  – концентрация ионов металла в растворе до и после сорбции, моль/л;  $V$  – объем водной фазы, л;  $m$  – навеска сорбента, г

С использованием композитного сорбента-мелиоранта торф - осадки водоподготовки (80 масс. %) и модельных растворов выполнены исследова-

ния зависимости величины сорбции тяжелых металлов при их индивидуальном присутствии в растворе от времени контакта фаз системы «сорбент - раствор соли тяжелого металла» при трех фиксированных значениях температуры: 5, 25 и 50°C.

Изотермы сорбции ионов тяжелых металлов описывали уравнением Ленгмюра, записанным в линейной форме:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_{\infty}} + \frac{1}{A_{\infty}K} \cdot \frac{1}{C}, \quad (4)$$

$$\frac{C}{A} = \frac{1}{A_{\infty}K} + \frac{1}{A_{\infty}} C, \quad (5)$$

где  $A$  – величина сорбции, моль/г;  $A_{\infty}$  – предельная сорбция, моль/г;  $K$  – константа сорбционного равновесия;  $C$  – концентрация иона тяжелого металла, моль/л.

Величину предельной сорбции  $A_{\infty}$  и константу сорбционного равновесия  $K$  определяли графически (рисунок 2.9): в координатах  $C/A = f(C)$  тангенс угла наклона прямой соответствует величине  $1/A_{\infty}$ , а отсекаемый этой прямой отрезок на оси ординат равен  $1/(A_{\infty}K)$ .

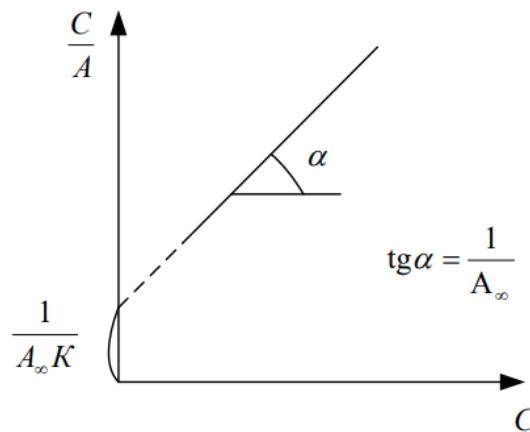


Рисунок 2.9. Уравнение Ленгмюра в координатах  $C/A = f(C)$  (обозначения приведены в тексте)

Знание величины константы сорбционного равновесия ( $K$ ) позволяет рассчитать изменения энергии Гиббса ( $\Delta G$ ):

$$\Delta G_i = -RT_i \ln K_i \quad (6)$$

и энтальпии ( $\Delta H$ ) в процессе сорбции:

$$\Delta H = \frac{RT_i T_k \ln \frac{K_i}{K_k}}{T_i - T_k} . \quad (7)$$

Из значений  $\Delta H$  и  $\Delta G_i$  рассчитывается изменение энтропии  $\Delta S$ :

$$\Delta S_i = \frac{\Delta H - \Delta G_i}{T_i} . \quad (8)$$

Для обоснования выбора состава композитного сорбента-мелиоранта на основе торфа и осадков водоподготовки, проявляющего наибольшую сорбционную эффективность, исследовали иммобилизацию ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ .

Экспериментально исследован сорбент-мелиорант торф - осадки водоподготовки с различным содержанием компонентов (соответствующие пропорции, масс. %: 60/40, 40/60, 20/80). В результате проведенных экспериментов установлена зависимость величины сорбции ионов тяжелых металлов от состава композитного материала, представленная на рисунке 2.10.

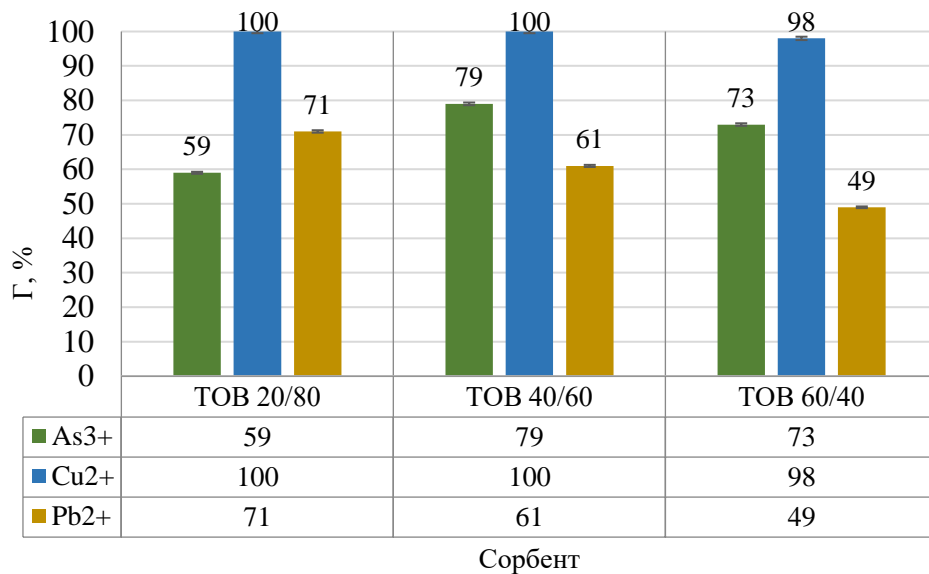
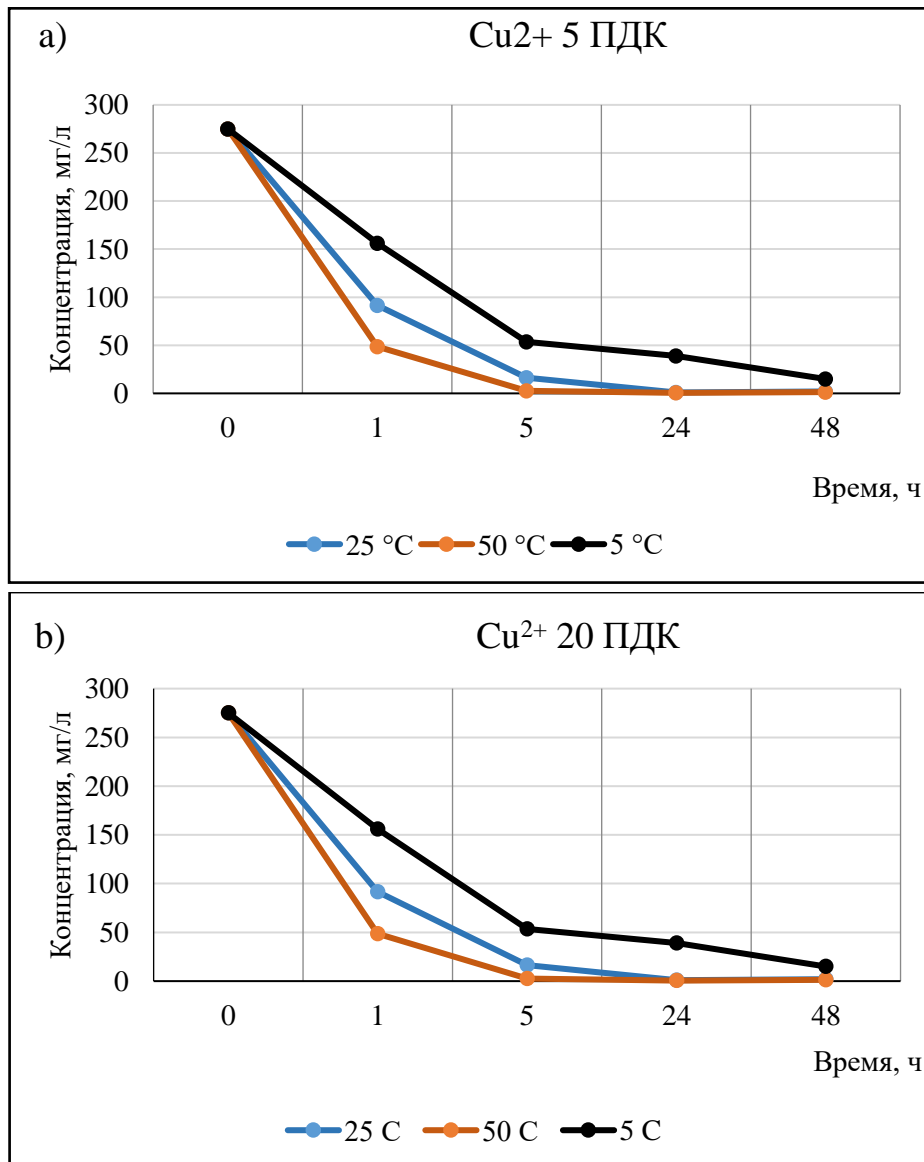


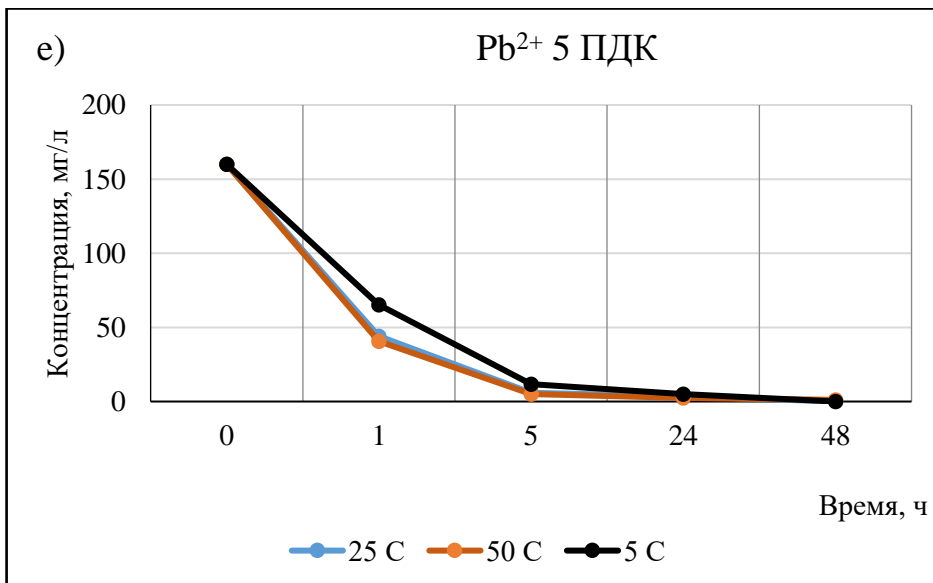
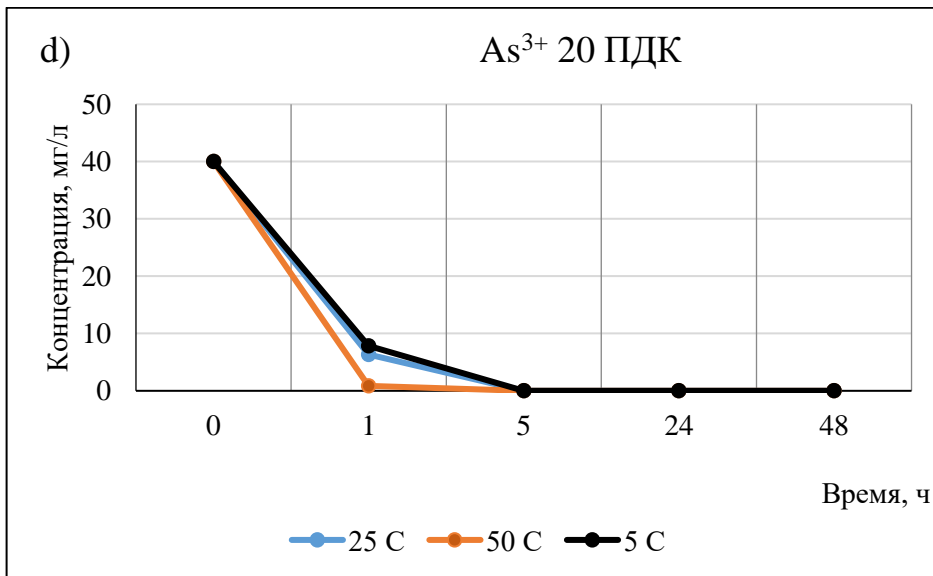
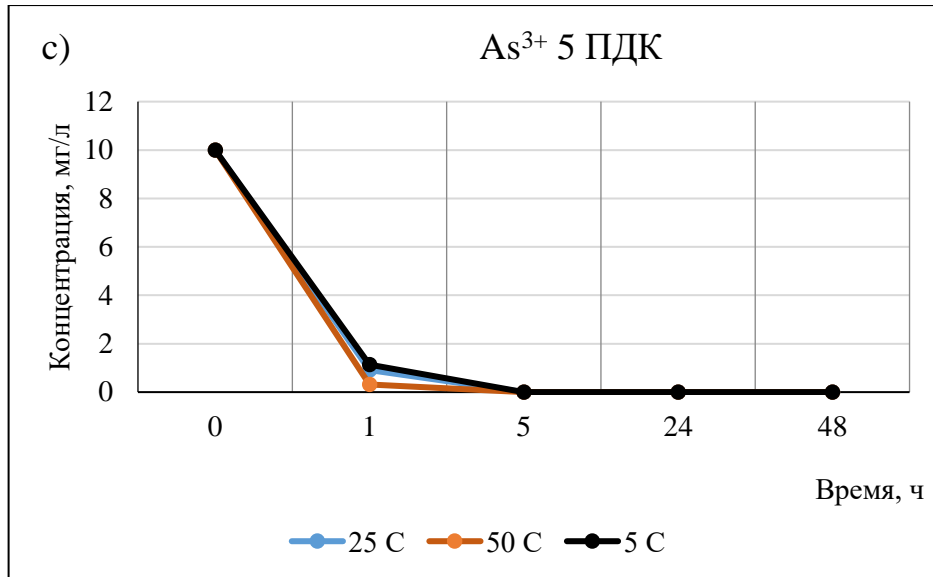
Рисунок 2.10. Эффективность сорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$  при их индивидуальном присутствии в растворе с композитным сорбентом-мелиорантом торф – осадки водоподготовки (ТОВ, пропорции, масс. % – 20/80, 40/60, 60/40): Г, % – процент извлечения ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$  сорбентом из раствора за время эксперимента (130 мин.)



Как следует из рисунка 2.10. результаты экспериментов свидетельствуют о сохранении высокой сорбционной эффективности композитного материала при увеличении содержания в нем осадков водоподготовки. На основании вышесказанного и отмеченных результатов экспериментальных исследований композитный сорбент-мелиорант состава торф – осадки водоподготовки (80 масс. %) был выбран в качестве модельного для дальнейших исследований.

На рисунке 2.11 представлены результаты исследований зависимости остаточной концентрации ионов тяжелых металлов в исходном растворе от времени контакта фаз системы «сорбент - раствор соли тяжелого металла» при различной температуре раствора.





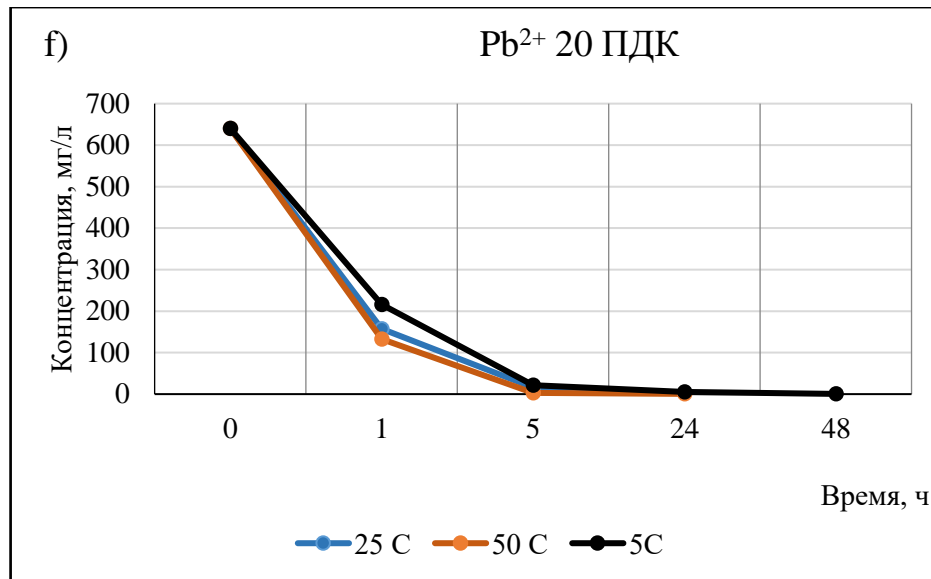


Рисунок 2.11. Зависимость концентрации ионов тяжелых металлов в растворе от времени контакта фаз системы «сорбент – раствор соли тяжелого металла» при различной температуре окружающей среды / раствора  
5 ПДК, 20 ПДК – концентрация иона тяжелого металла в исходном растворе

Из рисунка 2.11 видно, что с ростом температуры поглощение ионов тяжелых металлов сорбентом за один и тот же период времени увеличивается. Наиболее явно данная тенденция проявляется в случае ионов меди. Так, по истечении одного часа контакта сорбента-мелиоранта с раствором соли меди, имеющем исходную концентрацию 5 ПДК, остаточная концентрация ионов меди (II) при температуре раствора  $50^{\circ}C$  в три раза меньше, чем при  $5^{\circ}C$ .

Кинетические исследования показали, что при комнатной температуре уже в первый час эксперимента содержание тяжелого металла в исходном растворе соли с концентрацией 5 ПДК уменьшается в 3 раза для иона  $Cu^{2+}$ , в 4 раза для  $Pb^{2+}$  и в 10 раз для  $As^{3+}$ . Также отмечено, что ионы меди (II) не обнаруживаются в растворе через 48 ч при всех исследованных температурах, ионы  $Pb^{2+}$  – через 24 ч, а ионы  $As^{3+}$  не фиксируются прибором уже к 5 часу эксперимента. При этом анализ кривых рисунка 2.11 показывает, что практически полное извлечение ионов тяжелых металлов из модельных растворов возможно при их концентрации как 5, так и 20 ПДК.

## 2.4. Термодинамические исследования иммобилизации ионов сорбентом-мелиорантом на основе торфа и осадков водоподготовки

На рисунке 2.12 изображены примеры полученных интегральных кинетических кривых сорбции ионов тяжелых металлов композитным сорбентом-мелиорантом при комнатной температуре. Из данных зависимостей видно, что основное количество ионов меди (II) и свинца (II) связывается сорбентом-мелиорантом примерно в течение первых 4 ч, ионов  $As^{3+}$  – в течение 2 ч.

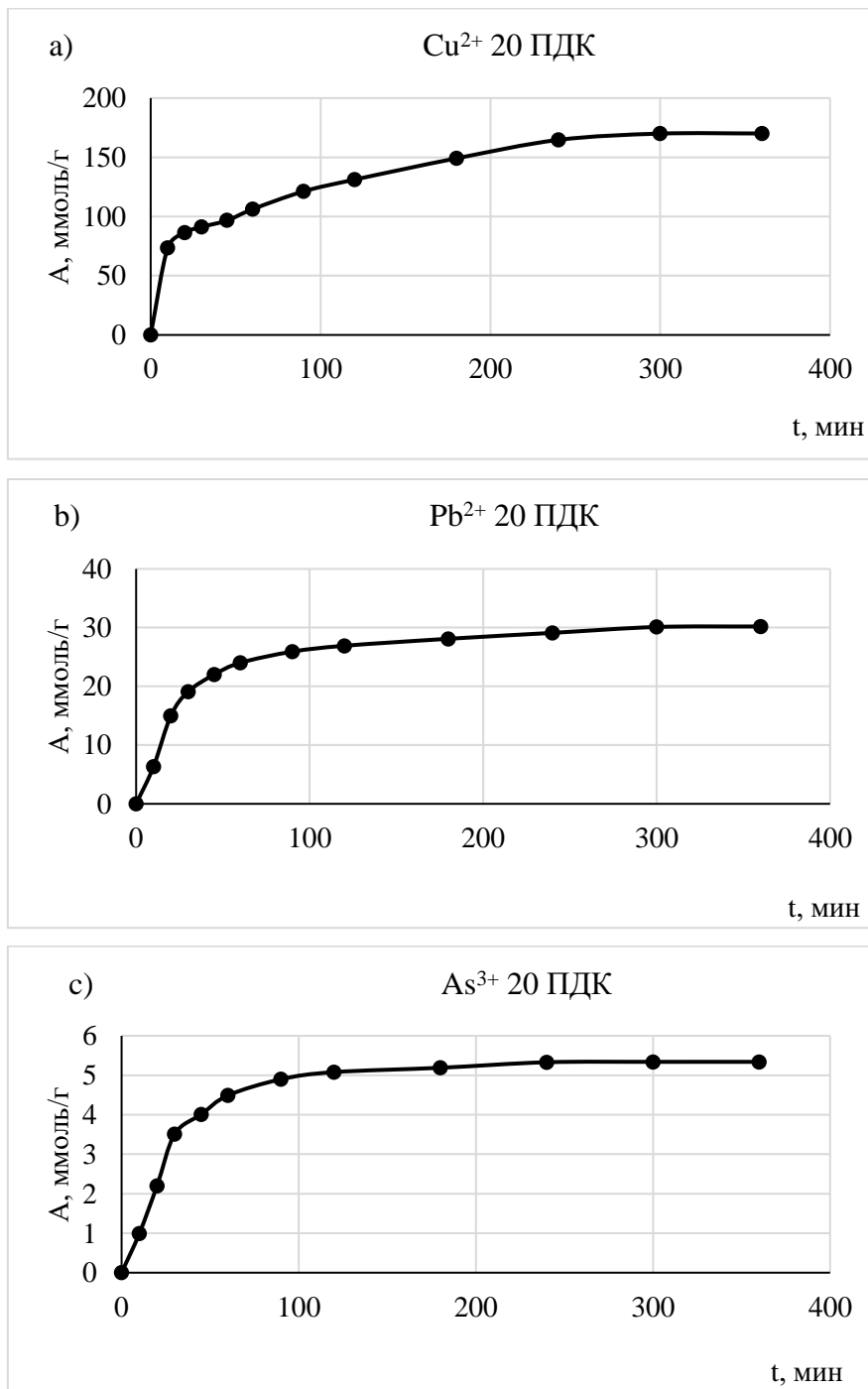


Рисунок 2.12. Интегральные кинетические кривые сорбции ионов тяжелых металлов композитным сорбентом-мелиорантом торф – осадки водоподготовки (80 масс. %) при 25°C

Результаты исследования влияния температуры на величину сорбции, линеаризованные в координатах  $C/A = f(C)$ , позволили рассчитать значения предельной сорбции и константы сорбционного равновесия, а по константам – величины термодинамических параметров соответствующего процесса. Результаты расчетов представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Термодинамические характеристики процесса сорбции ионов тяжелых металлов на композитном сорбенте-мелиоранте торф – осадки водоподготовки (80 масс. %) при исходной концентрации раствора 5 ПДК

Катион	T, К	Предельная сорбция $A_{\infty}$ , ммоль/г	Константа сорбции, $K \cdot 10^{-3}$	$\Delta G$ , кДж/моль	$\Delta H$ , кДж/моль*	$\Delta S_{323}$ , кДж·моль/К
$Cu^{2+}$	278	43,48	6,133	-20,154	-63,705	-0,093
	298	45,45	17,60	-24,206		
	323	43,48	285,2	-33,729		
$Pb^{2+}$	278	8,13	24,60	-23,367	-49,935	-0,045
	298	7,75	55,82	-27,082		
	323	7,69	501,2	-35,232		
$As^{3+}$	278	5,88	151,2	-27,530	-18,033	-0,052
	298	5,40	451,2	-32,257		
	323	5,41	448,9	-34,937		

Примечание\*: изменение энтальпии  $\Delta H$ , кДж/моль рассчитано в интервале 278 – 323 К в предположении о температурной стабильности данного термодинамического параметра в указанном интервале температур.

Величина  $A_{\infty}$  зависит от числа центров сорбции на единице поверхности сорбента-мелиоранта и от размера частиц сорбируемого вещества. Чем крупнее данные частицы, тем меньше  $A_{\infty}$ . Поэтому при равных зарядах, но значительно различающихся значениях радиусов ионов ( $R(Cu^{2+}) = 0,071$  нм,  $R(Pb^{2+}) = 0,112$  нм), значение предельной сорбции для ионов свинца (II) на исследуемом сорбенте ниже, чем для ионов меди (II). Размер арсенит-иона, являющегося анионной частицей, превышает размер катионов меди (II) и свинца (II). Соответственно, полученное значение предельной сорбции иона, содержащего мышьяк (III), меньше, чем для ионов меди (II) и свинца (II).

Отрицательные значения  $\Delta G$ , уменьшающиеся с ростом температуры, свидетельствуют о том, что процесс сорбции тяжёлых металлов на композитном сорбенте-мелиоранте торф – осадки водоподготовки носит самопроизвольный характер и более эффективен при повышенных температурах. Самопроизвольные процессы, как правило, экзотермичны. Это согласуется с полученными расчетными отрицательными значениями  $\Delta H$ , представленными в таблице 2.3.

Имеющее место поведение структурной (энтропийной) составляющей сорбции (таблица 2.3) также является типичным. Отрицательное значение  $\Delta S$  обычно для сорбции на твердых сорбентах. Это связано с происходящим упорядочением сорбируемых ионов из жидкой или газовой фазы на активных участках поверхности твердофазного сорбента.

Часто важным преимуществом сорбентов на основе природных материалов являются их мелиоративные свойства, что позволяет вносить сорбенты в грунт без необходимости последующего изъятия [113-120]. Так, при изучении эффективности сорбционного связывания подвижных форм тяжелых металлов важным аспектом, требующим специального изучения, является влияние кислотно-основного характера загрязненной среды.

В качестве ионов тяжелого металла – объекта исследования изучали ионы  $\text{Cu}^{2+}$ .

В качестве базовых сорбентов природного происхождения использовали торф верховой нейтрализованный в гранулированном и не гранулированном виде.

Первоначально исследовали индивидуальную сорбционную эффективность сорбентов в отношении связывания ионы  $\text{Cu}^{2+}$  в статических условиях (без перемешивания).

Результаты исследования эффективности сорбционных свойств природных сорбентов и композиционного материала на их основе приведены на рисунке 2.13.

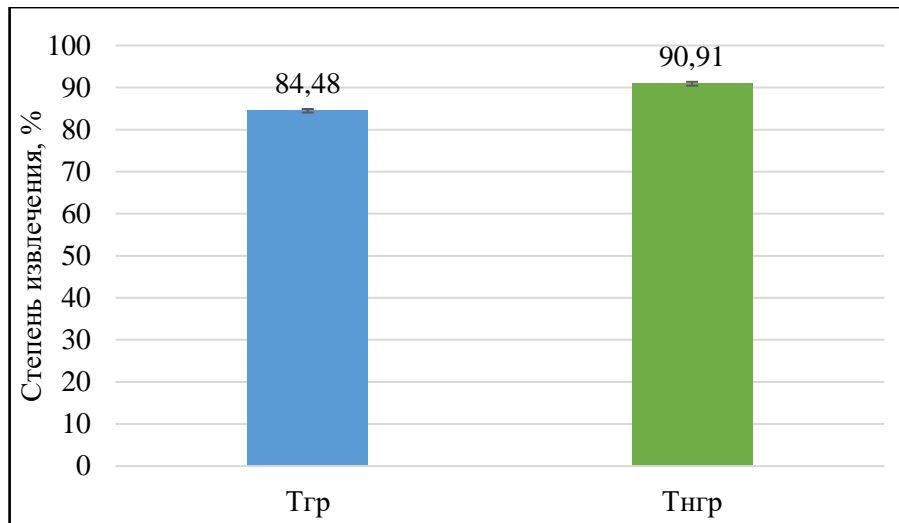


Рисунок 2.13. Эффективность связывания ионов  $\text{Cu}^{2+}$  сорбентами из раствора сульфата меди (II). Сорбенты: торф гранулированный ( $T_{\text{гр}}$ ), торф не гранулированный ( $T_{\text{нгр}}$ )

Доля связанных ионов меди (II) для каждого из этих сорбентов составляет величину около 90 %. Сорбенты, использованные для связывания  $\text{Cu}^{2+}$ , после просушки применили повторно для испытаний на устойчивость к процессу десорбции. Заранее готовили модельные водные растворы со значением  $\text{pH} = 2, 4, 7, 8$ . Сильнокислым и слабокислым растворами выступали растворы азотной кислоты с концентрацией  $1 \cdot 10^{-2}$  и  $1 \cdot 10^{-4}$  моль/л соответственно. В качестве слабощелочной среды использовали раствор гидроксида натрия с концентрацией  $1 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Нейтральной средой выступала дистиллированная вода. По 200,0 мл каждого модельного раствора приливали в колбы к сорбентам. Затем в течение 360 мин. проводили отбор проб модельных растворов для определения текущей концентрации десорбированных ионов  $\text{Cu}^{2+}$  с целью оценки интенсивности процесса десорбции.

Установлено, что концентрация десорбированных ионов  $\text{Cu}^{2+}$  из природных сорбентов и композитного материала на их основе в слабокислой, нейтральной и слабощелочной среде ( $\text{pH} = 4, 6, 7, 8$ ) не превышает погрешности метода спектрофотометрии, использованного для количественного определения ионов тяжелого металла.

Ситуация меняется в сильнокислой среде ( $\text{pH} = 2$ ) (рисунок 2.14).

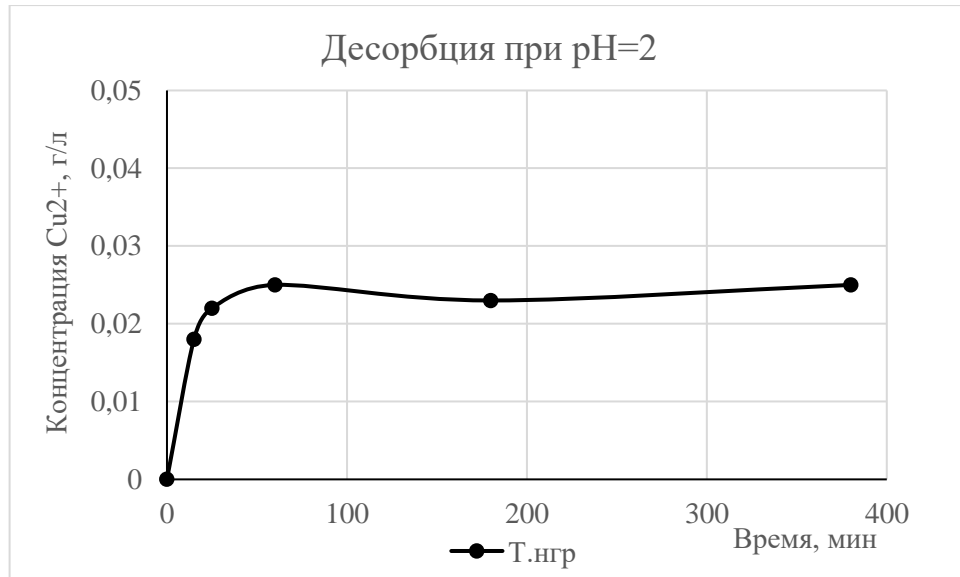


Рисунок 2.14. Изменение концентрации ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в процессе десорбции в сильноокислой среде при  $\text{pH} = 2$ . Сорбент – торф не гранулированный

При данной кислотности среды для торфа не гранулированного фиксируется существенный рост оптической плотности раствора, что отвечает происходящей десорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в раствор. На основании полученных результатов следует, что в сильноокислой среде десорбция ионов  $\text{Cu}^{2+}$  достигает максимума в первые 30 мин. эксперимента. При этом в случае с торфом не гранулированным переходит в подвижную форму от 5 до 22 % ранее связанных ионов  $\text{Cu}^{2+}$ .

Для увеличения эффективности природных сорбентов и обеспечения их применения в условиях сильноокислых сред возможно внесение в их состав оксида кальция, что позволяет снижать кислотность среды и повышать эффективность связывания ионов тяжелого металла.

## 2.5. Математическое моделирование иммобилизации ионов сорбентами на основе торфа и осадков водоподготовки

Для определения наиболее медленной стадии изучаемого процесса сорбции рассматривали кинетический принцип лимитирующей стадии. Подвод ионов металла к поверхности сорбента (внешний массоперенос) может



оказывать влияние на скорость сорбции и перемещение сорбируемого вещества внутри пор сорбента (внутренняя диффузия). С целью выяснения механизма сорбции интегральные кинетические кривые сорбции ионов тяжелых металлов обработали уравнениями диффузионной кинетики. Полученные графические зависимости представлены на рисунках 2.15 и 2.16.

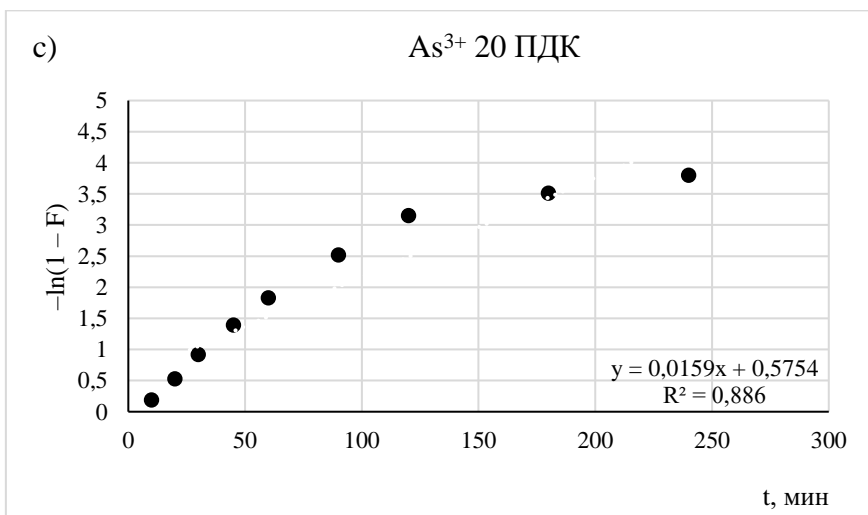
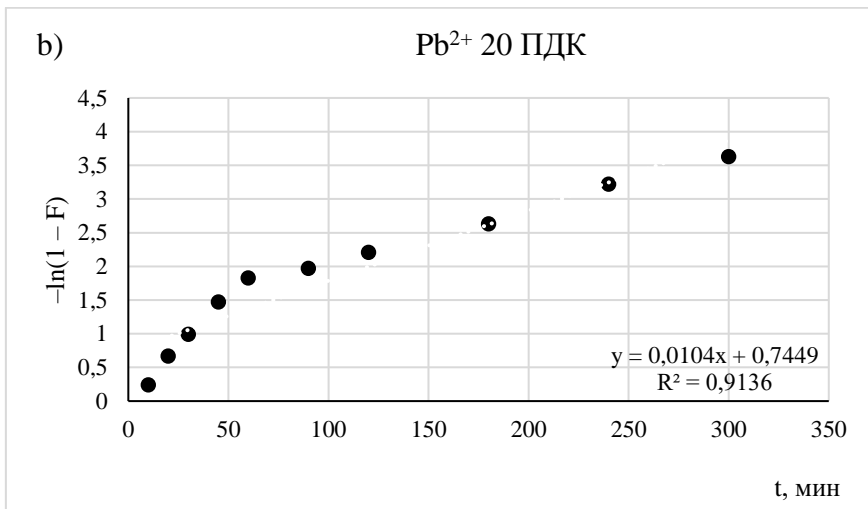
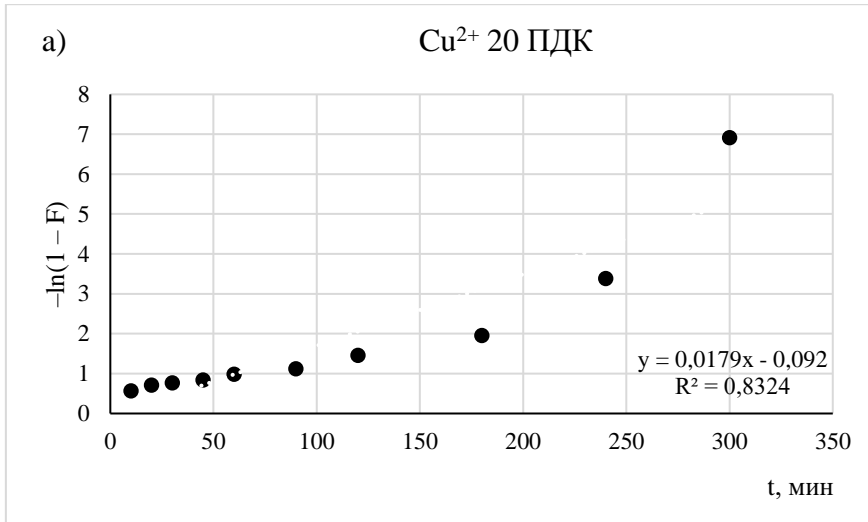


Рисунок. 2.15. Зависимость  $\ln(1 - F)$  от  $t$ . Сорбция ионов тяжелых металлов композитным сорбентом торф – осадки водоподготовки (80 масс. %) при 25°C

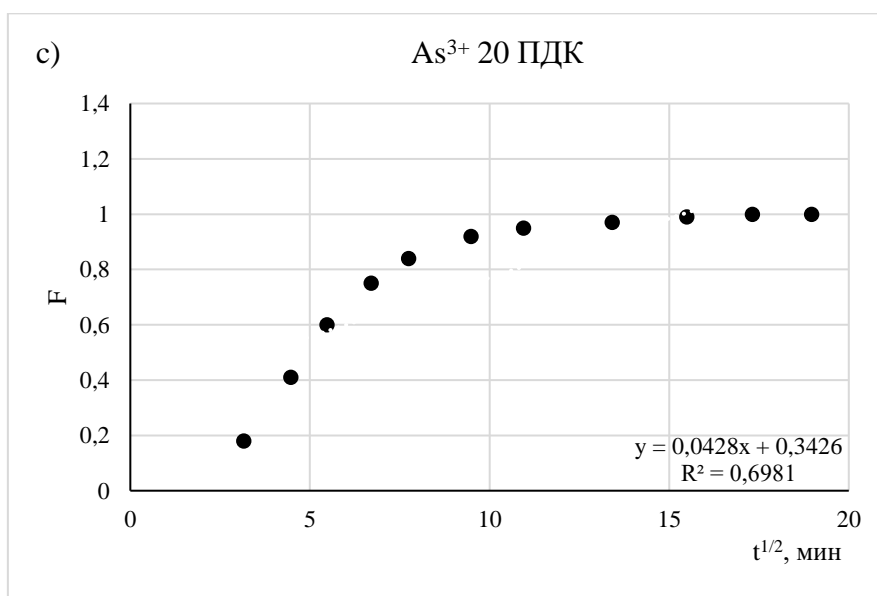
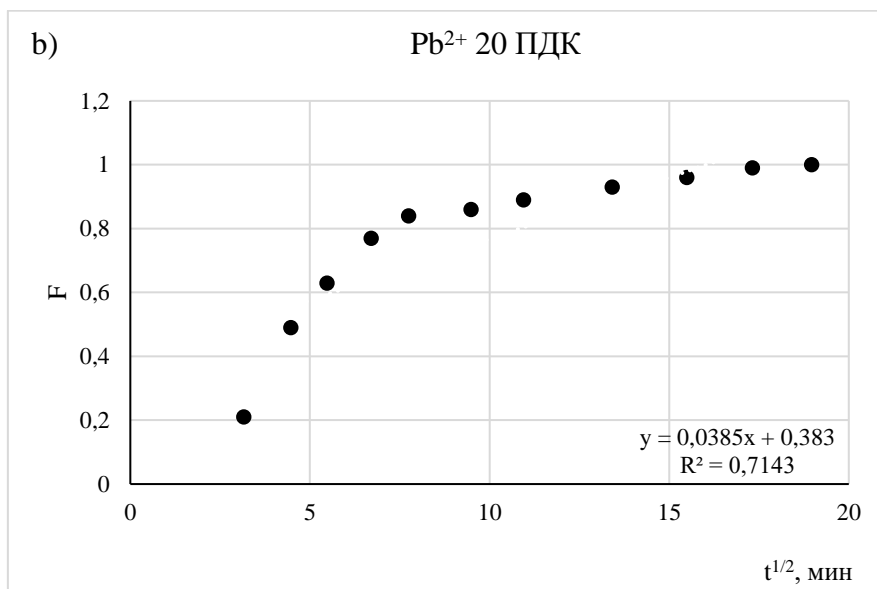
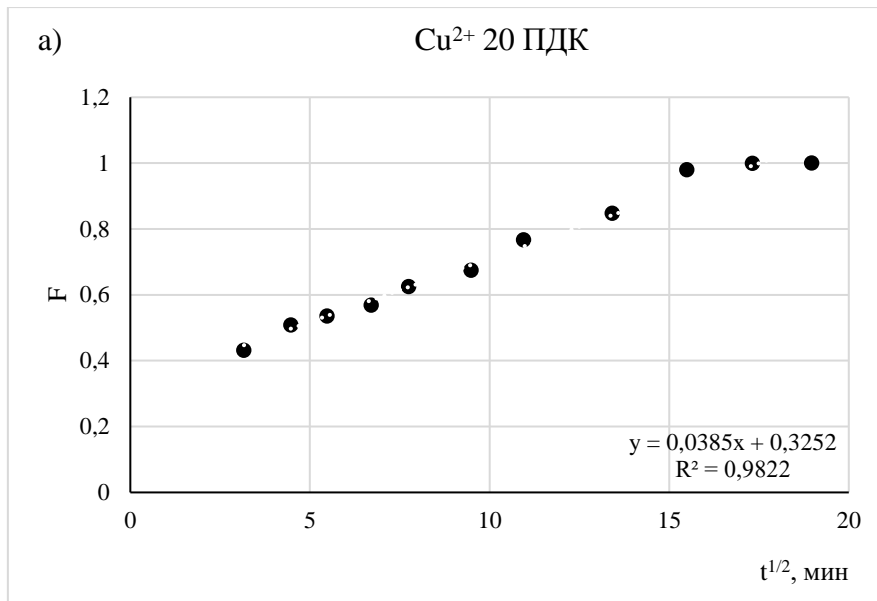


Рисунок 2.16. Зависимость F от  $t^{1/2}$ . Сорбция ионов тяжелых металлов композитным сорбентом-мелиорантом торф – осадки водоподготовки (80 масс. %) при 25°C

Известно, что для внешне диффузионных процессов кинетическая кривая должна быть линейной, если представить ее в координатах, соответствующих зависимости  $-\ln(1 - F) = f(t)$ , где  $t$  – время,  $F$  – степень достижения равновесия в системе, рассчитываемая как  $F = A_t / A_p$ , где  $A_t$  – количество сорбированного вещества в момент времени  $t$ , ммоль/г;  $A_p$  – количество сорбированного вещества в состоянии равновесия, ммоль/г.

Как следует из рисунка 2.15, кинетические кривые сорбции ионов тяжелых металлов композитным сорбентом-мелиорантом описываются прямыми на начальном этапе процесса. Следовательно, в этот промежуток времени скорость диффузии ионов тяжелых металлов в растворе к поверхности сорбента вносит вклад в общую скорость процесса.

Кинетические кривые сорбции  $F = f(t^{1/2})$  представляют собой графические зависимости, которые при начальных временах контакта фаз (при малых значениях  $F$ ) являются прямыми, а затем искривляются (рисунок 2.16). При увеличении  $F$  на кривых появляются изломы, что свидетельствует о возрастании влияния внутри диффузионного массопереноса на процесс сорбции при некоторой степени заполнения сорбента. Согласно литературным данным это свидетельствует о том, что диффузия в зерне сорбента контролирует общую скорость процесса. Таким образом, как диффузия ионов тяжелых металлов в растворе, так и диффузия в зерне сорбента вносят свой вклад в общую скорость процесса.

По механизму взаимодействия сорбента с сорбируемым веществом выделяют физическую сорбцию, которая происходит под влиянием электростатических и дисперсионных сил, хемосорбцию, сопровождаемую химической реакцией между сорбентом и связываемым веществом, ионный обмен, при котором выполняется обмен ионами между раствором электролита и сорбентом. Различные виды сорбции нередко протекают одновременно.

Компоненты композитного сорбента-мелиоранта торф - осадки водоподготовки имеют сложный катионный и анионный состав. В то же время

тяжелые металлы характеризуются малой растворимостью как гидроксидов, так и большинства солей.

По результатам химического и рентгенофазового анализа осадки водоподготовки содержат фосфат-ионы, обнаруживаемые в составе графтонита  $(\text{Fe, Mn, Ca})_3(\text{PO}_4)_2$ . При внесении в такой раствор ионов меди или свинца, образовавшиеся за счет диссоциации растворившейся части графтонита фосфат-ионы будут переходить в другое труднорастворимое вещество – фосфат тяжелого металла, так как последний является еще менее растворимым, чем графтонит.

Так, произведение растворимости (ПР) фосфата свинца  $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$ , характеризующее равновесие между осадком соли и ее ионами в насыщенном растворе, составляет очень малую величину, равную  $7,9 \cdot 10^{-43}$ . При таком значении ПР расчетная концентрация ионов свинца (II), находящихся в насыщенном растворе в равновесии с осадком фосфата, составляет 0,000923 мг/л (округленно 0,001 мг/л). Это существенно меньше как ПДК свинца в воде (составляет 0,03 мг/л, СанПин 2.1.4.1074-01), так и ПДК свинца в почве (составляет 30 мг/кг).

Подобный расчет для насыщенного раствора фосфата меди (II) позволяет получить значение равновесной концентрации ионов металла, равное 0,00318 мг/л, что также на несколько порядков меньше величины ПДК меди в питьевой воде (1,0 мг/л) и ПДК меди в почве (составляет 55,0 мг/кг).

Поэтому в качестве вероятного варианта отмеченного выше ионообменного взаимодействия, сопровождающего процесс сорбции, может рассматриваться образование труднорастворимых соединений тяжелых металлов за счет ионного обмена. Это взаимодействие обусловлено переходом анионов малорастворимых соединений, имеющих в составе композитного сорбента-мелиоранта, в другие, еще менее растворимые соединения, образуемые ионами тяжелых металлов. Соответствующий процесс протекает во времени и лимитируется диффузионными процессами, что в данном отноше-

нии коррелирует с результатами выполненных экспериментов диссертационного исследования.

В отношении арсенит-ионов установлена способность сорбироваться на гидроксидах железа и алюминия практически во всем диапазоне pH. Отмеченные гидроксиды содержатся в осадках водоподготовки, входящих в состав композитного сорбента-мелиоранта. В процессе сорбции арсенит-ионы участвуют в ионном обмене, замещая OH-группы с образованием внутрисферного бидентатного поверхностного комплекса. Подобным образом происходит и реакция образования комплексных соединений арсенит-ионов с гидроксидами алюминия и гидроксидами марганца.

В ходе выполнения экспериментальных исследований для оценки возможности группового извлечения ионов тяжелых металлов (медь, мышьяк, свинец) сорбентом-мелиорантом торф – осадки водоподготовки (80 масс. %) установлено следующее. Приготовление совместного раствора солей меди, свинца и мышьяка (в составе метаарсенит - иона) сопровождается образованием малорастворимого вещества, выпадающего в осадок. Образующийся осадок является метаарсенитом свинца (II). В связи с этим ограничением готовили раствор, содержащий только две соли – нитраты свинца (II) и меди (II). Концентрация каждого катиона в совместном растворе составила 20 ПДК (в почве).

В 250 мл раствора, содержащего ионы меди (II) и свинца (II), вносили 25,0 г сорбента и оставляли при комнатной температуре без перемешивания. По истечении 72 ч определяли остаточное содержание ионов тяжелых металлов в растворе. По результатам данного эксперимента и ранее проведенных установлено, что композитный сорбент-мелиорант торф – осадки водоподготовки (80 масс. %) характеризуется высокой эффективностью в отношении связывания ионов меди (II) и свинца (II) как при их индивидуальном, так и при совместном присутствии в растворе. В последнем случае отмечено связывание сорбентом из раствора не менее 98 % того и другого иона.

## 2.6. Выводы по главе 2

1. Химический состав органической части торфа в значительной степени определяется химическим составом растений-торфообразователей, группы соединений торфа содержат достаточное количество веществ необходимых для улучшения качества почвы, что позволяет использовать сорбенты в качестве мелиорантов. Осадки водоподготовки представляют собой полидисперсную систему, характеризующуюся развитой поверхностью, наличие органического вещества, соединений железа, а также развитой межфазной поверхности имеет значение для иммобилизации тяжелых металлов.

3. Нейтрализованный торф и осадки водоподготовки как отдельные сорбенты, так и в композитном составе способны в разной степени иммобилизовать ионы тяжёлых металлов. Рост температуры увеличивает поглощение сорбентом-мелиорантом ионов тяжелых металлов. сорбция ионов тяжелых металлов происходит в течении 48 ч. Наибольшая эффективность сорбции в течении первых 5 ч.

4. В сильно кислой среде десорбция ионов  $\text{Cu}^{2+}$  достигает максимума в первые 30 мин. эксперимента. Переходит в подвижную форму от 5 до 22 % ранее связанных ионов  $\text{Cu}^{2+}$ . Для увеличения эффективности природных сорбентов и обеспечения их применения в условиях сильноокислых сред возможно внесение в их состав оксида кальция, что позволяет снижать кислотность среды и повышать эффективность связывания ионов тяжелого металла.

5. Комплексный характер сорбции обусловлен сложным химическим составом сорбентов, обеспечивающим наличие активных центров сорбции с различной энергией связи. сорбция по энергии связывания может быть, как физической, так и химической.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОРБЕНТОВ – МЕЛИОРАНТОВ ДЛЯ КОНСЕРВАЦИИ ПОРОД

#### 3.1. Типизация пород отвалов

По пригодности к консервации породных отвалов породы подразделяются в рамках [121]:

1. пригодные – наиболее и потенциально плодородные породы, пригодные при рекультивации земель для создания пахотного горизонта и укладываемые в верхнюю часть отвала;
2. малопригодные – полускальные несвязные и связные быстро выветривающиеся осадочные породы, требующие проведения мелиоративных и агротехнических мероприятий перед укладкой в нижнюю часть отвалов;
3. непригодные – это смесь пород разного химического и гранулометрического состава с высоким уровнем токсичности, размещаемые в основании отвалов.

Реакция среды рН водной вытяжки, содержание солей, содержание грубообломочного материала и каменистость грунтов обобщены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Критерии оценки свойств грунтов

Показатель	Оптимальное значение для использования в консервации породного отвала
Величина рН	от 5,5 до 7,5
Содержание солей, %	до 0,25 (органическое вещество – 5 %) до 0,55 (органическое вещество – 10 %)
Степень засоления	до 0,3 %
Содержание грубообломочного материала	0,002 ... 0,05 мм
Каменистость	до 25 % на глубине до 50 см

Породные отвалы по своей структуре дифференцируются по трем зонам (рисунок 3.1):

1. вершина отвала – горизонтальный плоский участок с благоприятными условиями для роста и развития растений. Характеризуется активным гидрорежимом. Подвержен максимальной ветроударной нагрузке. Оптимальный участок для применения сорбентов-мелиорантов;
2. склоны – наклонные плоские участки с неблагоприятными условиями для роста и развития растений. Подвержены оползневому и эрозионным процессам, что негативно сказывается на росте крупной растительности и требует дополнительных мер для закрепления сорбентов-мелиорантов;
3. межотвальные впадины – горизонтально-наклонные плоские участки. Характеризуются активным гидрорежимом. Благоприятны для роста и развития растений вследствие аккумуляции веществ.



Рисунок 3.1. Структура породного отвала

Наиболее перспективной зоной является вершина отвала. Применение сорбентов-мелиорантов на склонах отвала требует применения дополнитель-



ного материала или осуществления мероприятий, препятствующих вымыванию или выветриванию сорбентов-мелиорантов.

Миграция тяжелых металлов происходит в виде атмосферных и гидрогенных потоков рассеяния, которые формируют техногенные ореолы и аномалии тяжелых металлов – источники уже вторичного загрязнения.

На рисунке 3.2 представлена концептуальная схема миграции тяжелых металлов в системе «отвал-грунтовые воды-растения».



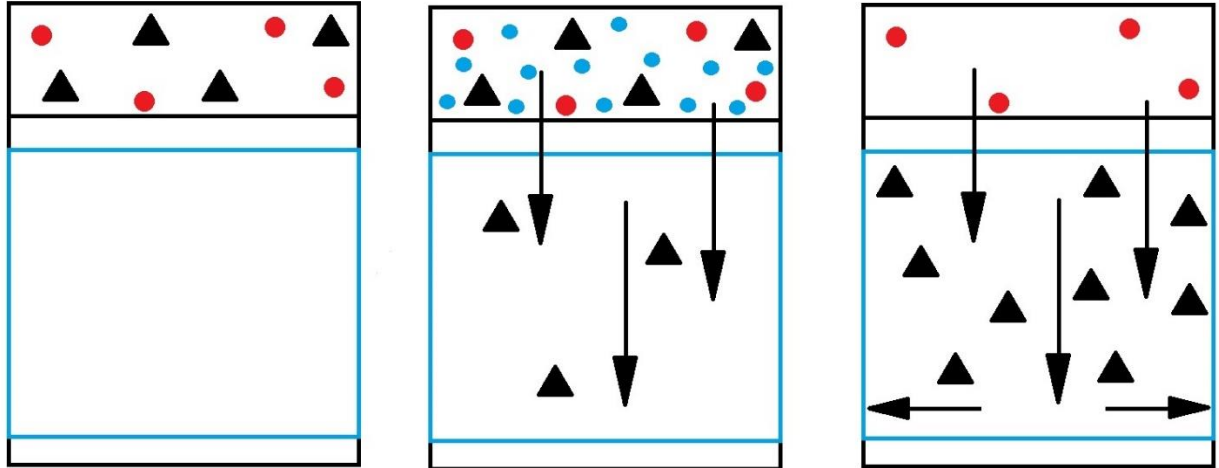
Рисунок 3.2. Схема миграции тяжелых металлов в системе «отвал-грунтовые воды-растения»

Для эффективной иммобилизации ионов тяжелых металлов необходимо обводнение грунтов породного отвала. Благодаря обводнению начнется растворение тяжелых металлов, перевод их в подвижную и обменную фор-

мы, что создаст условия для сорбции ионов тяжелых металлов сорбентами-мелиорантами.

На рисунке 3.3. представлена схема иммобилизации ионов тяжелых металлов в обводнённой среде сорбентами-мелиорантами.

а)



б)

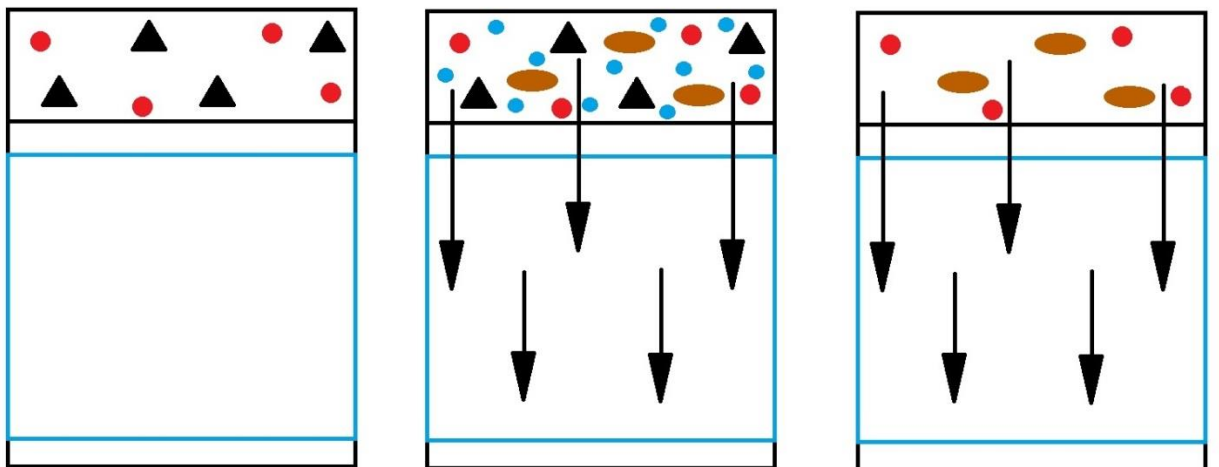






Рисунок 3.3. Схема иммобилизации ионов тяжелых металлов в обводнённой среде: а) без применения сорбентов-мелиорантов, б) с применением сорбентов-мелиорантов. Условные обозначения:

-  – тяжелые металлы в подвижной и обменной форме (ионы)
-  – тяжелые металлы в фиксированной форме (соли)
-  – жидкость
-  – сорбент-мелиорант

Исходя из схемы иммобилизации, тяжелые металлы в ионной форме, благодаря обводнению растворяются и свободно мигрируют по всей толще тела породного отвала и за его пределы. Тяжелые металлы в фиксированной форме (соли) остаются в грунте породного отвала или мигрируют на незначительные расстояния.

Периодическое (краткосрочное) обводнение на породном отвале создается естественным способом с помощью атмосферных осадков и таянья снега в период положительных температур воздуха. Соответственно, районы с продолжительными периодами положительных температур воздуха и обилием атмосферных осадков являются наиболее перспективными районами для применения сорбента-мелиоранта.

Перспективным направлением снижения воздействия отвалов на окружающую среду является сорбент-ориентированный метод горизонтально-площадной консервации породных отвалов и снижения воздействия на окружающую среду тяжелых металлов путем сорбции их сорбентами-мелиорантами.

### **3.2. Технология консервации отвала сорбентами-мелиорантами**

Консервация породного отвала включает операции:

- создание новых поверхностей и форм рельефа;
- изменение структуры почвы;
- изменение химических и физико-химических свойств земель;
- изменение и регулирование водного режима;
- создание условий для роста и развития растений.

На рисунке 3.4 предложена технология консервации породного отвала с применением сорбентов-мелиорантов.



Рисунок 3.4. Консервации отвала с применением сорбентов-мелиорантов

### ***Создание новых поверхностей и форм рельефа.***

Породные отвалы поддерживаются планировочными мероприятиями.

Перед внесением сорбентов-мелиорантов необходимо подготовить поверхности породного отвала с помощью планировочных мероприятий.

В общем виде мощность насыпного консервирующего слоя на породных отвалах, поверхность которых сложена непригодными для биологической рекультивации породами, определяется по формуле [122]:

$$P = K_{\text{слой}} + H_k + 0,2, \quad (9)$$

где:  $P$  – мощность насыпного консервирующего слоя, м;  $K_{\text{слой}}$  – мощность корнеобитаемого слоя (слой, где сосредоточен максимальный объем корней), м;  $H_k$  – мощность слоя «сорбент-мелиорант-грунт», м.

На рисунке 3.5. представлены схема планировочных мероприятий по созданию новых поверхностей и форм рельефа.

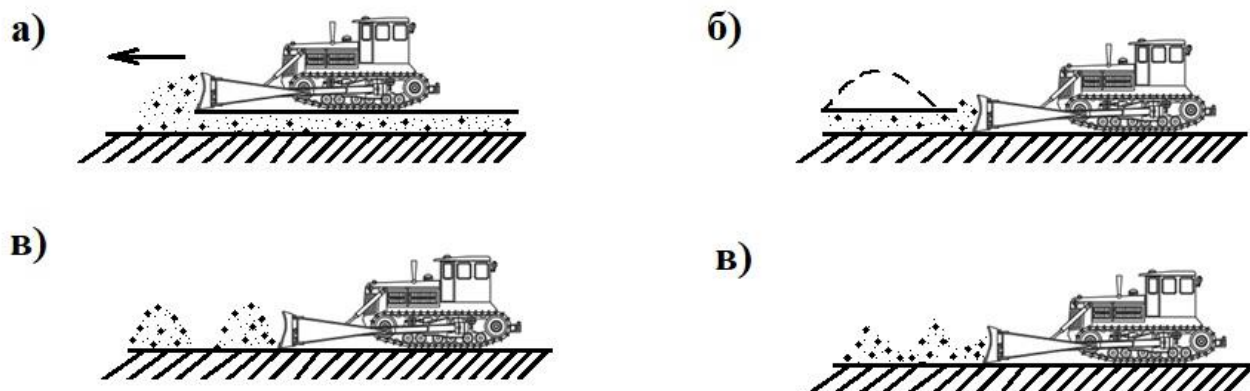


Рисунок 3.5. Схема первого этапа планировочных мероприятий:

а – транспортирование и выравнивание; б – резание; в, г – отсыпка берм

Объем выполаживания при прямолинейном откосе определяется по формуле [122]:

$$V_0 = \frac{L_0}{2} \left( \frac{h}{\sqrt{K_p} + 1} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{\text{tg}\alpha_2} - \frac{1}{\text{tg}\alpha_0} \right), \quad (10)$$

где:  $V_0$  – объем грунта, перемещаемый при выполаживании откоса, м;  $h$  – высота выполаживания, м;  $K_p$  – коэффициент разрыхления;  $L_0$  – длина участка выполаживания, м;  $\alpha_0$  – угол откоса до выполаживания, град.;  $\alpha_2$  – угол откоса после выполаживания, град.

На рисунке 3.6. представлена схема планировки грунта для интегрирования поверхности отвала.

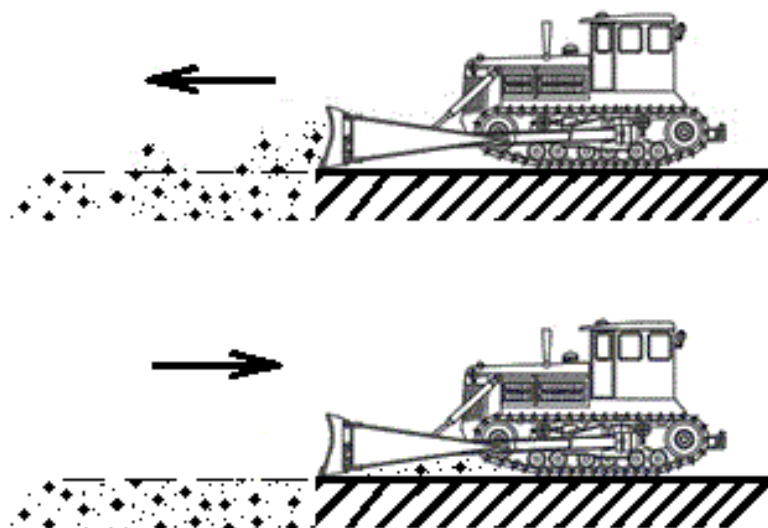


Рисунок 3.6. Второй этап планировки грунта бульдозером при срезании бугров и засыпке впадин

Планировка поверхности породного отвала выполняется параллельными проходами в обе стороны (рисунок 3.7). Часть высоты отвала (примерно 0,5 м) должна находиться над спланированной площадью.

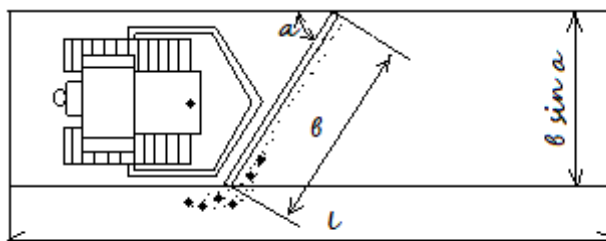


Рисунок 3.7. Схема движения бульдозера при планировочных мероприятиях

При проведении планировочных мероприятий возможно террасирование откосов породного отвала. Оптимальная ширина террасы принимается равной 6 м.

Перед применением сорбента-мелиоранта возможно внесение супесчаных и суглинистых грунтов в качестве плодородных пород. Толщина слоя потенциально плодородных пород зависит от содержания грубообломочного материала, но не более 0,8 м.

Если на поверхности отвала преобладают мелкообломочный материал, супесчаные и суглинистые грунты, то внесение плодородных пород не требуется.

***Изменение и регулирование водного режима.***

Для улучшения условий обводнения и, соответственно, более эффективного применения сорбента-мелиоранта необходимо применять технологию рыхления. Целесообразность сплошного глубокого рыхления для обеспечения обводнения зависит от условий оптимальной влажности грунта. При преобладании мелкообломочного материала и/или супесчаных грунтов целесообразно применение междурядного глубокого рыхления.

Рыхление верхней толщи грунта необходимо для слежавшихся грунтов и водоупорного слоя грунта на дневной поверхности породного отвала или на глубине до 1 м.

Оптимальная глубина эффективного рыхления массива рассчитывается по формуле [122]:

$$h_э = \frac{0,5 C \operatorname{tg} \alpha}{K_1}, \quad (11)$$

где:  $h_э$  – глубина эффективного рыхления массива, м;  $C$  – оптимальное расстояние между смежными проходами рыхлителя, м;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий форму сечения прорези.

Оптимальная глубина эффективного рыхления массива при параллельных проходах рассчитывается по формуле [122]:

$$h_э = \frac{[K_1 h_з + 0,5(C-b) \operatorname{tg} \alpha]}{K_2}, \quad (12)$$

где:  $h_э$  – глубина эффективного рыхления массива, м;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий форму сечения прорези;  $h_з$  – возможное заглубление зуба рыхлителя, м;  $\alpha$  – угол наклона стенок прорези, °;  $b$  – ширина основания прорези, м;  $K_2$  – коэффициент, учитывающий влияние состояния массива на размеры нарушенных гребней.

В таблице 3.2 представлены показатели рыхлимости горных пород.

Таблица 3.2 Показатели рыхлимости горных пород [122]

Породы	$f$	Рыхлимость	$\alpha, ^\circ$	$h_3, \text{м}$	$K_1$	$K_2$
Плотные с включением валунов, цементированная щебенистая масса, разрушенные сланцы	1-2	Легко рыхлимые	35-50	1-0,8	0,7-0,9	0,95-1
Мягкий известняк, сланцы, мергель, мел, опока, гипс, отвердевшие и мерзлые глины	2-3	Средне рыхлимые	40-60	0,8-0,6	0,7-0,9	0,95-1
Сильнотрещиноватые прочные известняки, песчаники, сланцы	3-4	Средне рыхлимые	40-60	0,8-0,6	1	0,8-0,9
Среднетрещиноватые известняки, доломиты, песчаники, мрамор, глинистые сланцы	3-6	Трудно рыхлимые	40-70	0,6-0,2	0,9-1	0,9-1
Мелкослоистые прочные известняки, прослойки очень прочных пород мощностью до 0,2–0,3 м	< 8	Трудно рыхлимые	40-70	0,6-0,2	0,7-0,9	0,95-1
Малотрещиноватые прочные известняки, песчаники и более прочные породы	> 8	Очень трудно рыхлимые	40-70	0,6-0,2	0,7-0,9	0,95-1

Примечание:  $f$  – коэффициент крепости пород по М. М. Протодяконова

Оптимальное расстояние между смежными проходами рыхлителя рассчитывается по формуле [122]:

$$C = K_1 h_3 \operatorname{ctg} \alpha + 0,5b, \quad (13)$$

где:  $C$  – оптимальное расстояние между смежными проходами рыхлителя, м;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий форму сечения прорези;  $\alpha$  – угол наклона стенок прорези,  $^\circ$ ;  $b$  – ширина основания прорези, м.

На рисунке 3.8. представлена схема механического рыхления.



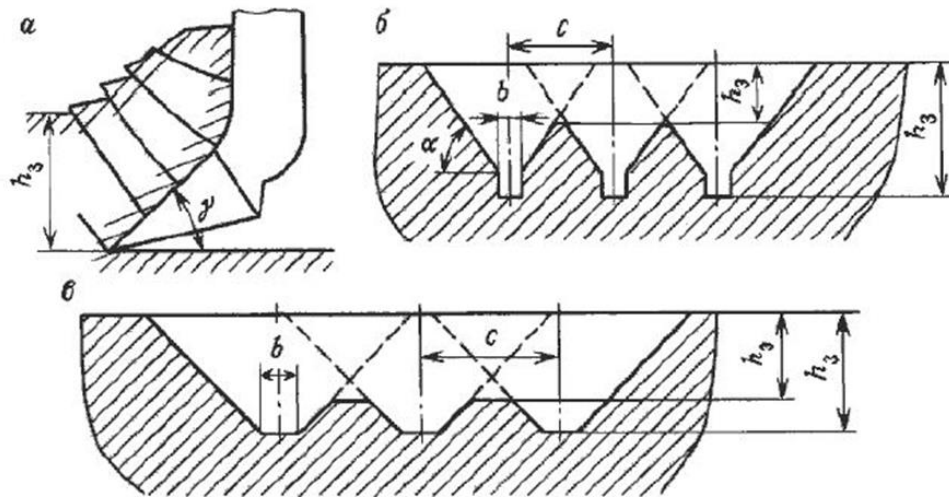


Рисунок 3.8. Схема механического рыхления: а) рабочий орган; б) вязкие монолитные породы; в) хрупкие трещиноватые породы

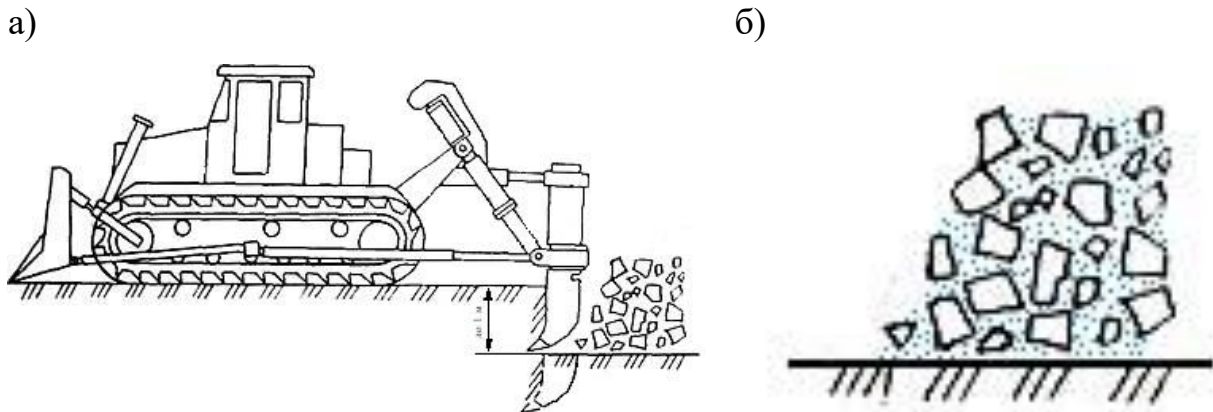


Рисунок 3.9. Схема рыхления грунта для повышения водопоглощения верхнего слоя грунта породного отвала: а) схема рыхления на глубину до 1 м; б) заполнение влагой рыхлой породы

Процесс рыхления предполагает разуплотнение верхней толщи грунта, в результате появляются крупные трещины и влагопроводящие поры. В периоды снеготаяния или выпадения атмосферных осадков зона разрыхления заполняется водой и удерживает обводнение. Как следствие, удлиняется период контакта сорбента-мелиоранта и ионов тяжелых металлов в растворенной и обменной формы.

Увеличение объема стока воды в зону контакта сорбента-мелиоранта и ионов тяжелых металлов необходимо для эффективной сорбции ионов тяжелых металлов.

***Изменение химических и физико-химических свойств земель внесением сорбента-мелиоранта.***

На рисунке 3.10 представлена схема планировочных мероприятий по внесению и уплотнению слоя «сорбент-мелиорант».

Толщина слоя сорбента-мелиоранта перед рыхлением должна составлять не менее 0,5 м на 1 м грунта породного отвала. Для перемешивания слоя «сорбент-мелиорант» и грунта на породном отвале рекомендовано использовать бульдозер с рыхлителем.

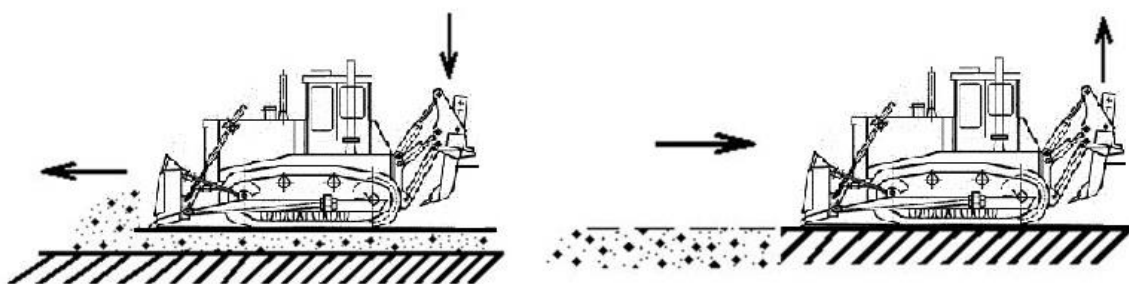


Рисунок 3.10. Схема планировочных мероприятий по созданию слоя «сорбент-мелиорант»

Для обеспечения сорбции ионов тяжелых металлов, сорбент-мелиорант необходимо перемешать с грунтом породного отвала. Рыхление является технологическим способом перемешивания сорбента-мелиоранта и грунта породного отвала.

Объёмы выполаживания при криволинейном откосе определяется по формуле [123]:

$$V_0 = \frac{\pi\gamma}{360} \left\{ \frac{h \sqrt{R - \frac{h}{6} \left( \frac{2}{\operatorname{tg}\alpha_0} - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_2} \right)}}{\sqrt{R - \frac{h}{6} \left( \frac{2}{\operatorname{tg}\alpha_0} - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_2} \right)} + \sqrt{K_p \left[ r + \frac{h}{6} \left( \frac{2}{\operatorname{tg}\alpha_0} - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_2} \right) \right]}} \right\}^2 \times$$

$$\times \left( \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_0} - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_2} \right) \left\{ r + \frac{h \sqrt{R - \frac{h}{6} \left( \frac{2}{\operatorname{tg}\alpha_0} - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_2} \right)}}{3 \left[ \sqrt{R - \frac{h}{6} \left( \frac{2}{\operatorname{tg}\alpha_0} - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_2} \right)} + \sqrt{K_p \left[ r + \frac{h}{6} \left( \frac{2}{\operatorname{tg}\alpha_0} - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_2} \right) \right]} \right]} \right\} \left( \frac{2}{\operatorname{tg}\alpha_0} - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha_2} \right), \quad (14)$$

где:  $V_0$  – объем грунта, перемещаемой при выполаживании откоса, м;  $h$  – высота выполаживания, м;  $K_p$  – коэффициент разрыхления;  $R$  – радиус основания отвала, м;  $r$  – радиус верхней площадки, м;  $\alpha_0$  – угол откоса до выполаживания, град;  $\alpha_2$  – угол откоса после выполаживания, град.;  $\gamma$  – угол, определяющий откос выполаживания, град.

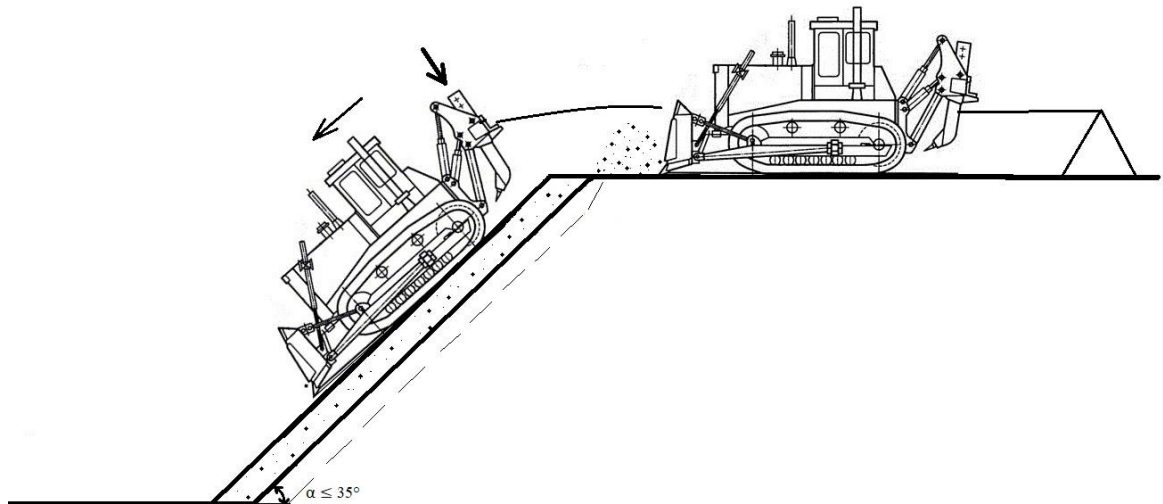
При выполаживании откосов бульдозером среднее расстояние перемещения пород определяется по формуле [123]:

$$L_{\text{ср}} = \frac{mh}{2\sin\alpha_2}, \quad (15)$$

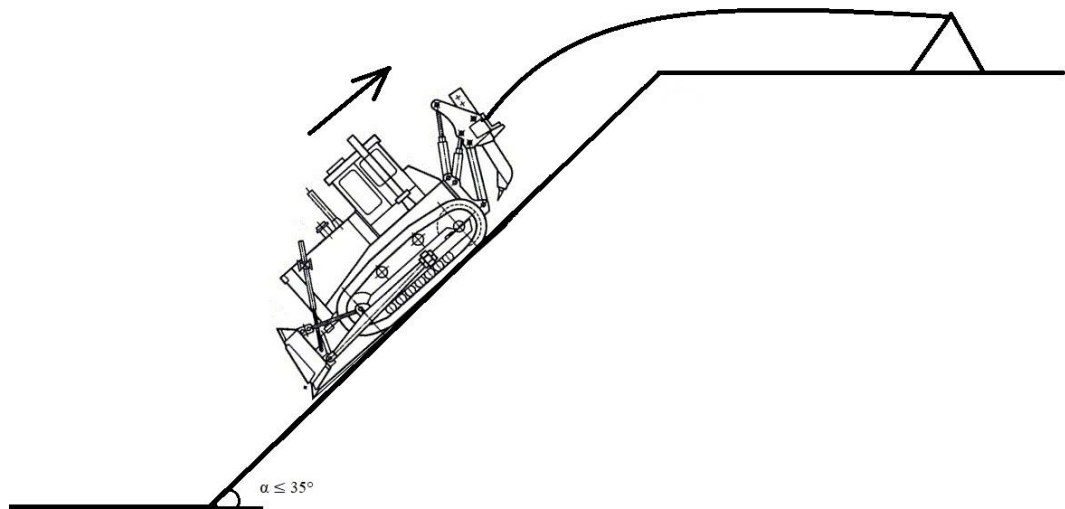
где:  $L_{\text{ср}}$  – среднее расстояние перемещения породы, м;  $m$  – коэффициент, учитывающий повторное перемещение породы, равным принимается 1,3;  $h$  – высота выполаживания, м;  $\alpha_2$  – угол откоса после выполаживания, град.

На рисунке 3.11 представлена схема внесения слоя «сорбент-мелиорант» на откос породного отвала.

а



б



в



Рисунок 3.11. Схема образования слоя «сорбент-мелиорант» на откосе отвала: а) при движении с вершины отвала по откосу в подошве; б) при движении от подошвы отвала к вершине; в) схема движения

После проведения планировочных работ и формирования откосов отвалов с помощью бульдозера с рыхлителем вносят сорбент-мелиорант. С целью снижения осыпания на земную поверхность с откоса породного отвала или не равномерного распределения по откосу отвала сорбента-мелиоранта перед рыхлением на поверхность с мелкообломочным материалом рекомендуется нанести на поверхность откоса отвала суспензии или склеивающие частицы грунта.

Внесение сорбента-мелиоранта на откосах породного отвала рекомендовано осуществлять с помощью бульдозера с рыхлителем и закрепленным тросом к задней части. При движении бульдозера вперед отвал устанавливается на высоте гусениц. Рыхлитель заглубляется на глубину до 1 м.

Технология предполагает сталкивание бульдозером сорбента-мелиоранта с вершины породного отвала на откос и спуск бульдозера до подошвы откоса породного отвала с разравниванием слоя «сорбент-мелиорант», рыхление грунта откоса отвала и перемешиванием его со слоем «сорбент-мелиорант».

Движение от подошвы до вершины отвала осуществляется задним ходом бульдозера с поднятым рыхлителем и отвалом бульдозера и затягиванием тросом бульдозера на вершину отвала. При движении от подошвы до вершины отвала бульдозер уплотняет слой «сорбент-мелиорант-грунт».

***Изменение структуры почвы и создание условий для роста и развития растений.***

Завершающим этапом планировочных работ является внесение почвенного покрова.

Землевание целесообразно проводить на спланированную поверхность после перемешивания сорбентов-мелиорантов с грунтами отвала. Рекомендовано содержание гумуса в почве не менее 2 %.

На вершине полностью отсыпанного породного отвала укладывается почва или торф сплошным слоем по всей площади или в виде полос шириной 2,5-3,0 м с расстоянием между ними 2,0-3,0 м. Полосы выполняются в виде траншей глубиной 0,5 м.

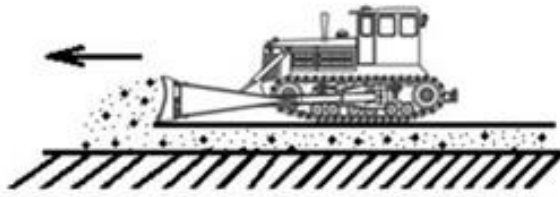
Площадь землевания на породном отвале рассчитывается с учетом объема потенциально плодородного слоя, толщины наносимого слоя почвы и определяется по следующей формуле [122]:

$$P = \frac{Q}{t}, \quad (16)$$

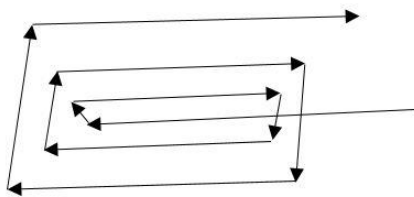
где:  $P$  – площадь землевания,  $m^2$ ;  $Q$  – объем потенциально плодородного пород,  $m^3$ ;  $t$  – толщина наносимого слоя почв, м.

Почвенный покров наносится на перемешанный слой «сорбент-мелиорант» – минеральный слой породного отвала потенциально плодородных пород.

На рисунке 3.12. представлена схема землевания отвала.



А)



Б)

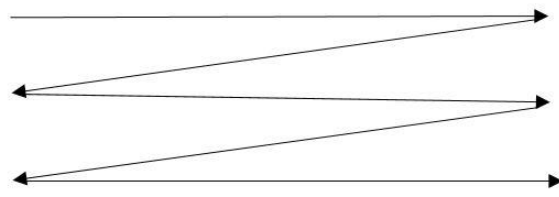


Рисунок 3.12. Схема землевания: А - спиральная, Б – челночная со смещением

При землевании рекомендовано использовать бульдозер со использованием «спиральной» и «челночной со смещением» схемой работы. Толщина почвенного слоя – не менее 0,2 м.

Погрузку-разгрузку почвенного грунта целесообразно осуществлять фронтальными погрузчиками или одноковшовыми экскаваторами.

Виды растений, пригодных для озеленения породного отвала представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Рекомендуемые для озеленения породного отвала растения

Растения	Тяжелые металлы
Аксонопус сжатый	Cd, As, Pb, Cr
Папоротник Птерис	Cd, As, Pb, Cr
Пенник индийский	Cd, As, Pb, Cr
Бархатцы	Cu, Pb
Семейство крестоцветных	Ni, Co, Mn, Cd
Многолетние бобовые травы	Zn, Pb, Cu, Mo, Fe

Источник [124]

Посев много летних трав, следует проводить в теплую безветренную погоду механизированным способом, что обеспечит равномерность посева. Глубина заделки семян 1-1,25 см. Норма высева семян составляет 20 кг/га при 100 % всхожести.

Целесообразно в первые годы после биологической консервации породного отвала проводить регулярную уборку побегов растений с последующей утилизацией их на полигоне ТКО, или использование их в других технических целях.

В первые годы консервации породного отвала в качестве древесно-кустарниковой растительности рекомендуются: черемуха, акация белая и желтая, ольха, лох узколистный, тополь, облепиха, смородина золотистая, ива.

Откосы отвала, максимально подверженные процессам ветровой и водной эрозии, требуют биологической консервации.

Поверхность откосов породных отвалов может быть покрыта почвой или торфом толщиной 0,02-0,05 м.

Толщина почвы или торфа на террасах – 0,4-0,5 м.

На рисунке 3.13 представлена схема биологической консервации откоса отвала.

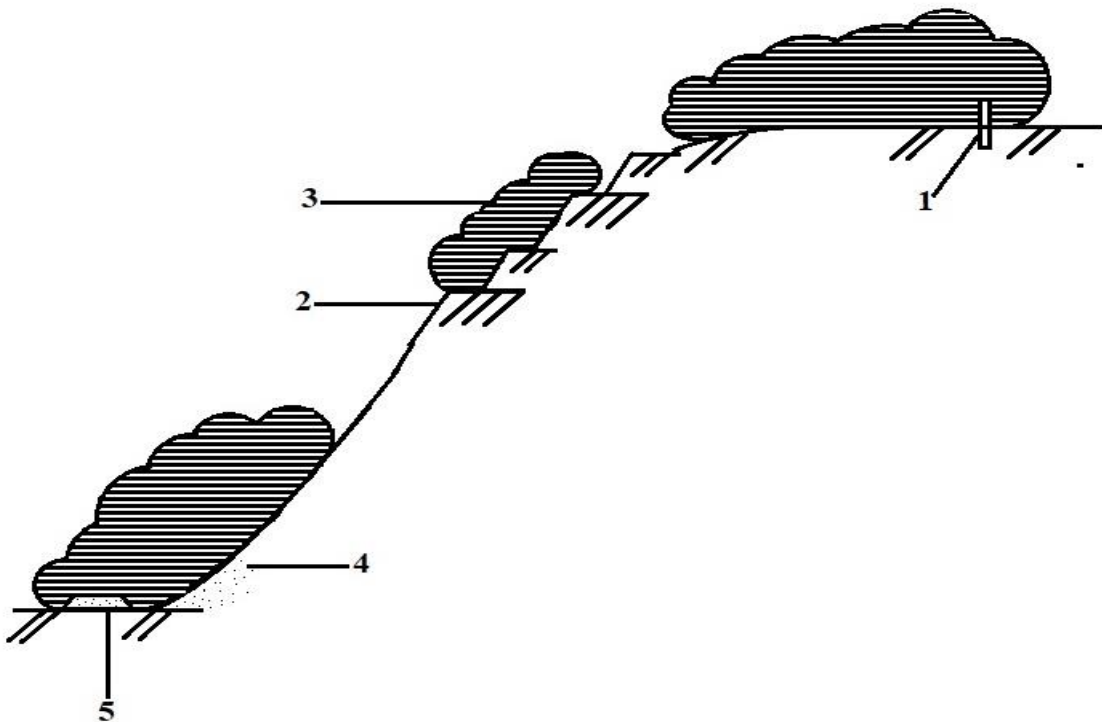


Рисунок 3.13. Схема биологической консервации откоса породного отвала:  
 1 – ограждение; 2 – устойчивая стенка склона; 3 – закругленная верхняя кромка; 4 – насыпной грунт; 5 – подошва откоса породного отвала

При озеленении откосов породных отвалов способом гидропосева целесообразно в некоторых случаях поверхность откосов предварительно покрыть мелкозернистым инертным материалом (не крупнее 25 мм) толщиной 0,05-0,1 м.

На откосах отвалов и бортах карьеров, имеющих уклоны, близкие к уклонам естественного осыпания грунта, возможен посев многолетних трав.



### 3.3. Эффективность сорбентов-мелиорантов при консервации отвала

Обследование территории для получения качественных характеристик инженерно-геологической среды, поверхностных вод, прилегающих к изучаемым территориям включало осмотр места отбора проб; визуальную оценку рельефа; описание гидрологических условий; описание проявления опасных инженерно-геологических процессов.

Масса точечной пробы – не менее 1 кг. Отобрано 12 проб, включая контрольные пробы почвы. Для определения природных концентраций химических элементов в почве были взяты контрольные пробы почвы за границами санитарно-защитной зоны.

Исследование сорбционных свойств сорбентов проводится в статических условиях при комнатной температуре. В первой части эксперимента все пробы, отобранные на отвалах минеральных пород вблизи поселка Лёвиха и заброшенного поселка Арбатский Свердловской области, тщательно перемешивались в единой емкости. Перемешанная масса минеральной породы не подвергалась измельчению для воспроизводства естественных условий техногенных территории. Фракционный состав минеральной породы – от 12 см до 1,5 мм.

Масса минеральной породы, взятая с помощью напольных весов, засыпанная в каждую емкость, составила 500 г ( $\pm 5$  г). Высота минеральной породы в емкостях составила 2 см. Емкость прямоугольного сечения объемом 880 см<sup>3</sup> для эксперимента была поделена на две части пластмассовой перегородкой. В первую часть емкости размещали минеральную породу и сверху засыпали сорбенты (каждый сорбент – в разные емкости):

На минеральную породу в емкости сверху засыпали сорбенты (каждый сорбент – в разные емкости):

1. Торф – осадки водоподготовки (пропорции по естественной влажности, % – 20/80);

2. Торф верховой нейтрализованный (пропорции по естественной влажности, % – 100);

3. Торф низинный (пропорции по естественной влажности, % – 100);

4. Осадки водоподготовки (пропорции по естественной влажности, % – 100).

Масса навески каждого сорбента составила 50 г ( $\pm 0,5$  г). Высота сорбента варьировалась от 0,4 до 0,6 см в зависимости от вида сорбента и рыхлости минерального грунта.

В первую часть ёмкости с засыпанными минеральной породой и сорбентом добавляли 500 мл дистиллированной воды в каждую с целью создания обводненных условий в емкости для свободной миграции ионов ТМ в растворе «сорбент – минеральная порода», который перетекал во вторую часть емкости. Циркуляция раствора «сорбент – минеральная порода» между двумя частями в емкости происходила всё время эксперимента, но минеральный грунт и сорбент не попадали во вторую часть.

Ёмкости закрывали для снижения погрешности, попадания различной пыли и уменьшения испаряемости раствора из емкости. Исследуемый раствор выдерживался не менее 24 часов при комнатной температуре.

Далее растворы «сорбент – минеральная порода» фильтровали через бумажный фильтр средней плотности для исследования количественного и качественного химического состава растворов.

В целях исследования количественного химического состава техногенного грунта и авторских сорбентов, определения степени сорбции ионов тяжёлых металлов был использован метод атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии. Анализы проводили с помощью атомно-эмиссионного спектрометра параллельного действия с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9820 производства Shimadzu (Япония) и спектрометра атомно-абсорбционного с пламенной атомизацией «Квант-2», согласно ГОСТ ISO 22036-2014 «Качество почвы».

Определение микроэлементов в экстрактах почвы осуществлялось с использованием атомно-эмиссионной спектрометрии индуктивно связанной плазмы (ИСП-АЭС) и ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.78-2013.

Концентрация ионов тяжелых металлов из отвала Левихинского рудника представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Концентрация ионов тяжелых металлов из отвала Левихинского рудника

Элемент	Начальная концентрация, мг/л
Al	68,67
Co	10,76
Cr	0,22
Cu	15,98
Mn	1,23
Ni	1,9
Zn	19,50

Общая концентрация ионов тяжелых металлов составляет не менее 119 мг/л на 500 грамм минеральной породы.

На рисунке 3.14 представлена сорбция ионов Al, Co, Cr, Cu, Ni, Zn из пробы минеральной породы сорбентами-мелиорантами.

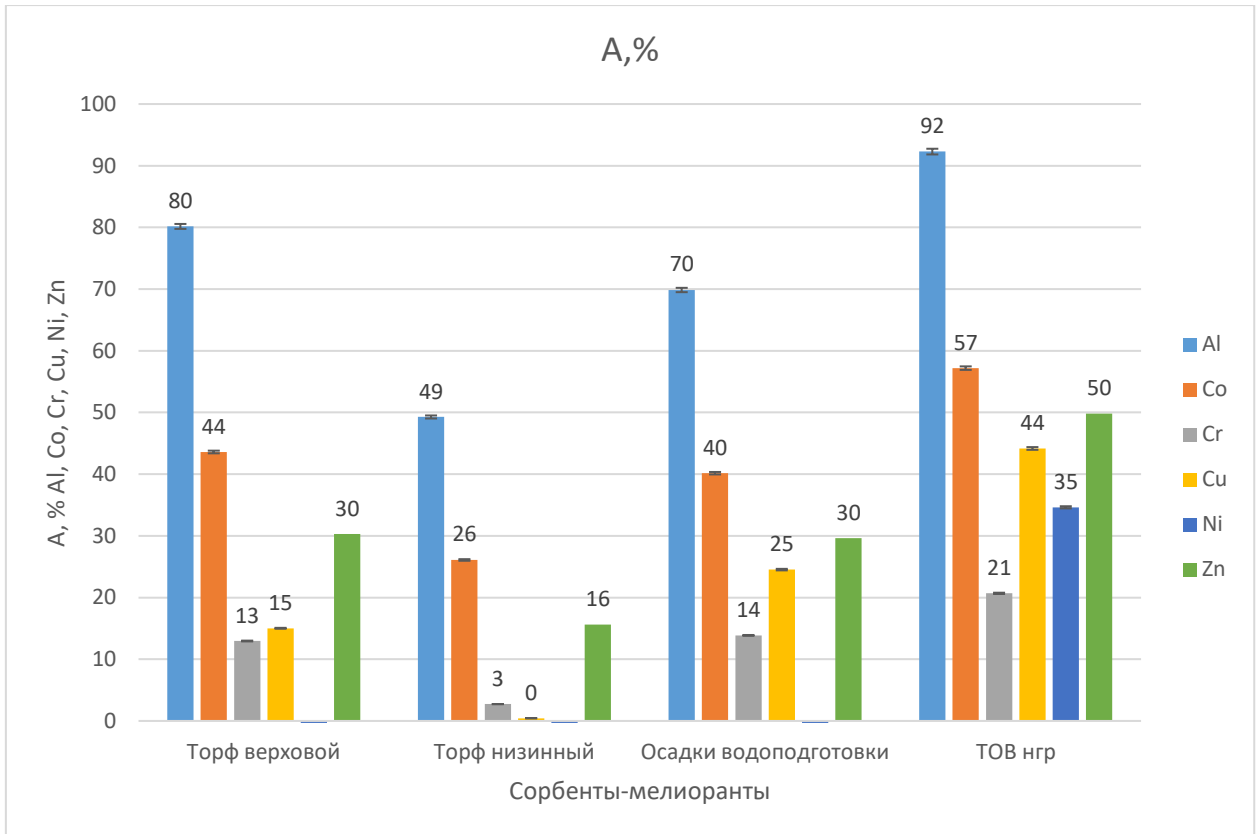


Рисунок 3.14. Сорбция ионов металлов из **пробы грунта породного отвала** сорбентами-мелиорантами: торф верховой нейтрализованный; торф низинный; осадки водоподготовки; торф – осадки водоподготовки (пропорции по массе естественной влажности, % – 20/80), А – доля ионов металлов связанных сорбентом, %

В отношении сорбции ионов Al из пробы минеральной породы, практически полную сорбцию демонстрирует сорбент-мелиорант торф-осадки водоподготовки (99 %); высокое значение сорбции торф верховой (80 %); среднее значение сорбции наблюдаются у низинного торфа и осадков водоподготовки (49 %, 55 % и 70 %, соответственно).

В отношении сорбции ионов Co из пробы минеральной породы, сорбенты-мелиоранты показали среднее и низкое значение. Среднее значение сорбции демонстрируют верховой торф и осадки водоподготовки, торф-осадки водоподготовки (44 % 40 % и 57 %, соответственно). Низкое значение иммобилизации ионов Co – торф низинный (26 %).

В отношении сорбции ионов Cr из пробы минеральной породы, сорбенты-мелиоранты показали только низкое значения сорбции.

В отношении сорбции ионов Cu из пробы минеральной породы, сорбенты показали среднее и низкое значение сорбции. Среднее значение сорбции продемонстрировал сорбент-мелиорант торф-осадки водоподготовки (44 %). Низкое значение иммобилизации ионов Cu – торф верховой, осадки водоподготовки (15 % и 25 %, соответственно). В отношении ионов Cu низинный торф показал нулевое значение сорбции.

В отношении сорбции ионов Ni из пробы минеральной породы, сорбент-мелиорант торф-осадки водоподготовки показал среднее значение (35 %). В отношении ионов Ni сорбенты низинный и верховой торф и осадки водоподготовки показали нулевое значение сорбции.

В отношении сорбции ионов Zn из пробы минеральной породы, практически полную сорбцию продемонстрировал сорбент-мелиорант торф-осадки водоподготовки (99 %); высокое значение сорбции торф верховой и низинный торф (85 % и 96 %, соответственно) среднее значение сорбции наблюдается у осадков водоподготовки (51 %).

Самая эффективная иммобилизация ионов тяжелых металлов (суммарно – 50 %) наблюдается у сорбента торф-осадки водоподготовки (пропорции по массе естественной влажности, % – 20/80). Это наиболее эффективный сорбент, содержащий природный и техногенный продукт в своем составе.

Ранее проведенные эксперименты показали, что при увеличении осадков водоподготовки в пропорции «природный-техногенный материал» увеличиваются сорбционные свойства, но снижаются мелиоративные свойства сорбента. Торф низинный (30 %) более эффективен к иммобилизации ионов тяжелых металлов по сравнению с верховым торфом (16 %).

На рисунке 3.15 приведены результаты исследования сорбции сорбента-мелиоранта «торф верховой нейтрализованный» в зависимости от гранулометрического состава.

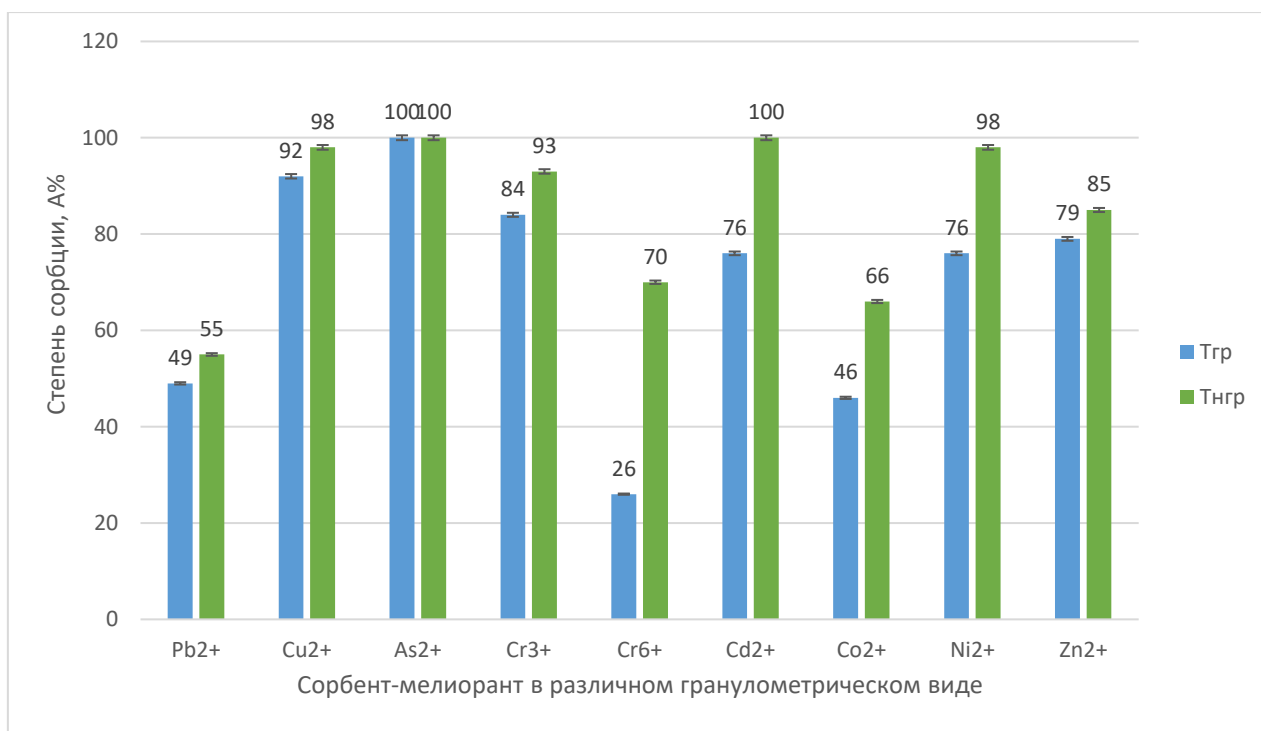


Рисунок 3.15. Сорбция ионов тяжелых металлов из пробы грунта породного отвала сорбентом-мелиорантом: торф верховой нейтрализованный в гранулированном (Тгр) и не гранулированном виде (Тнгр); А – доля ионов металлов, связанных сорбентом, %

Экспериментальные исследования продемонстрировали более эффективную сорбцию ионов тяжелых металлов сорбентом-мелиорантом «торф нейтрализованный в не гранулированном виде». В среднем, эффективность сорбции ионов тяжелых металлов у торфа в не гранулированном виде на 16,8 % выше, чем у сорбента-мелиоранта в гранулированном виде.

В отношении сорбции ионов тяжёлых металлов Cr<sup>6+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> наблюдается значительная разница в пользу не гранулированного вида. Не значительная разница в сорбции ионов тяжёлых металлов Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Zn<sup>2+</sup> наблюдается у сорбента-мелиоранта «торф верховой нейтрализованный в гранулированном виде».

Большая удельная поверхность гранулированного вида сорбента-мелиоранта в значительной степени увеличивает сорбционные свойства, но экспериментальные данные опровергают данную гипотезу. Более эффектив-

ная сорбция ионов тяжелых металлов не гранулированным сорбентом-мелиорантом обуславливается большей площадью соприкосновения фазы «раствор ионов тяжелых металлов - сорбент-мелиорант».

В общем и целом для сорбции ионов тяжелых металлов сорбенты-мелиоранты эффективнее использовать в не гранулированном виде, но этот гранулометрический вид имеет ряд недостатков:

1. Потеря товарной продукции при транспортировке навалом.
2. Ускоренное вымывание и выветривание сорбентов-мелиорантов при консервации пород.

Использование сорбента-мелиоранта в гранулированном виде целесообразна на тех породных отвалах, где высокая водная и ветровая нагрузка и требуется дополнительные мероприятия по закреплению сорбента-мелиоранта от потери товарной продукции.

На рисунке 3.16 приведены результаты исследования сорбции модельных растворов ионов тяжелых металлов сорбентом-мелиорантом «торф верховой» и «торф низинный».

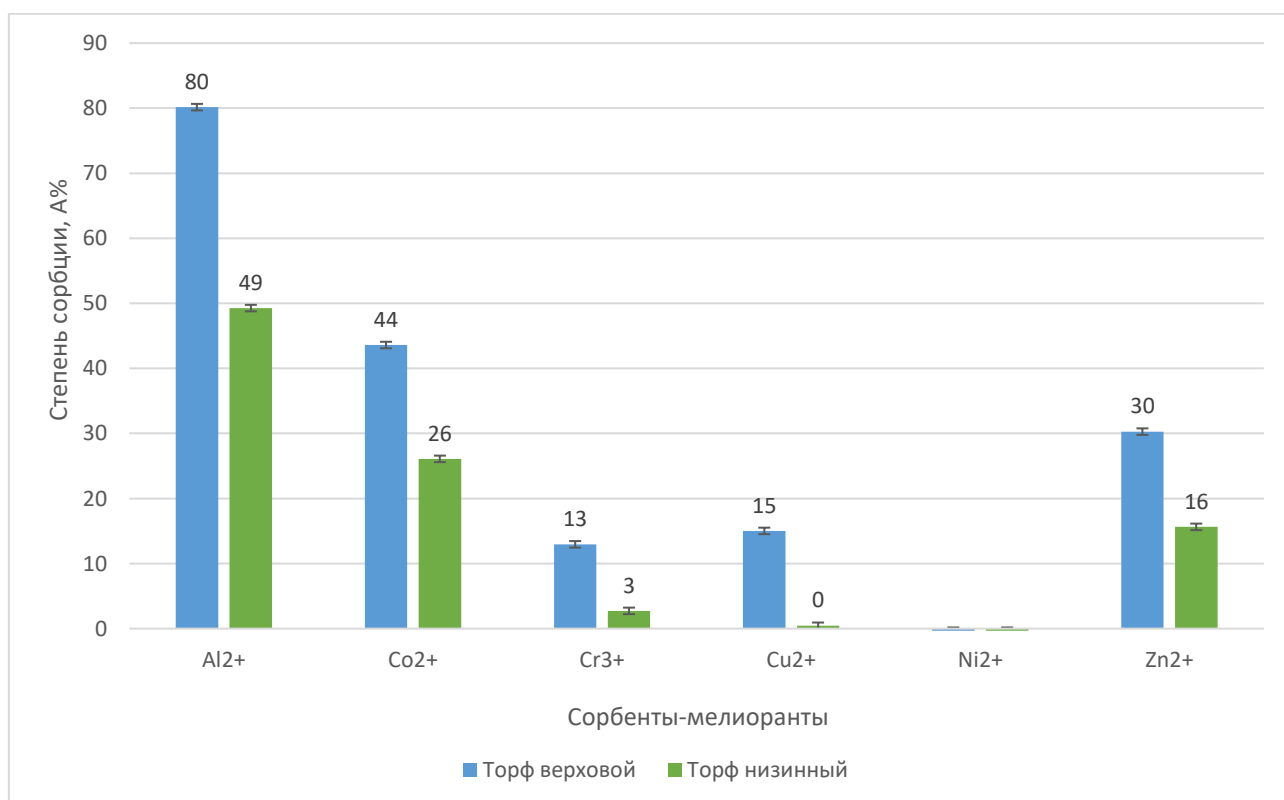


Рисунок 3.16. Сорбция ионов тяжелых металлов из пробы грунта породного отвала сорбентами-мелиорантами «торф верховой» и «торф низинный»; А – доля ионов металлов связанных сорбентом, %

Экспериментальные исследования из модельного раствора ионов тяжелых металлов показали, что торф верховой более эффективен в процессах сорбции ионов тяжелых металлов по сравнению с торфом низинным. В отношении сорбции всех ионов тяжёлых металлов наблюдается значительная разница в пользу торфа верхового. В среднем эффективность сорбции ионов тяжелых металлов торфом верховым на 14,6 % выше, чем у торфа низинного. Торф верховой менее разложен на минеральные и органические составляющие, что повышает его сорбционную способность по отношению к ионам тяжелых металлов.

На рисунке 3.17 приведены экспериментальные исследования сорбция ионов тяжелых металлов из модельных растворов сорбентами-мелиорантами «торф верховой» и «торф низинный».

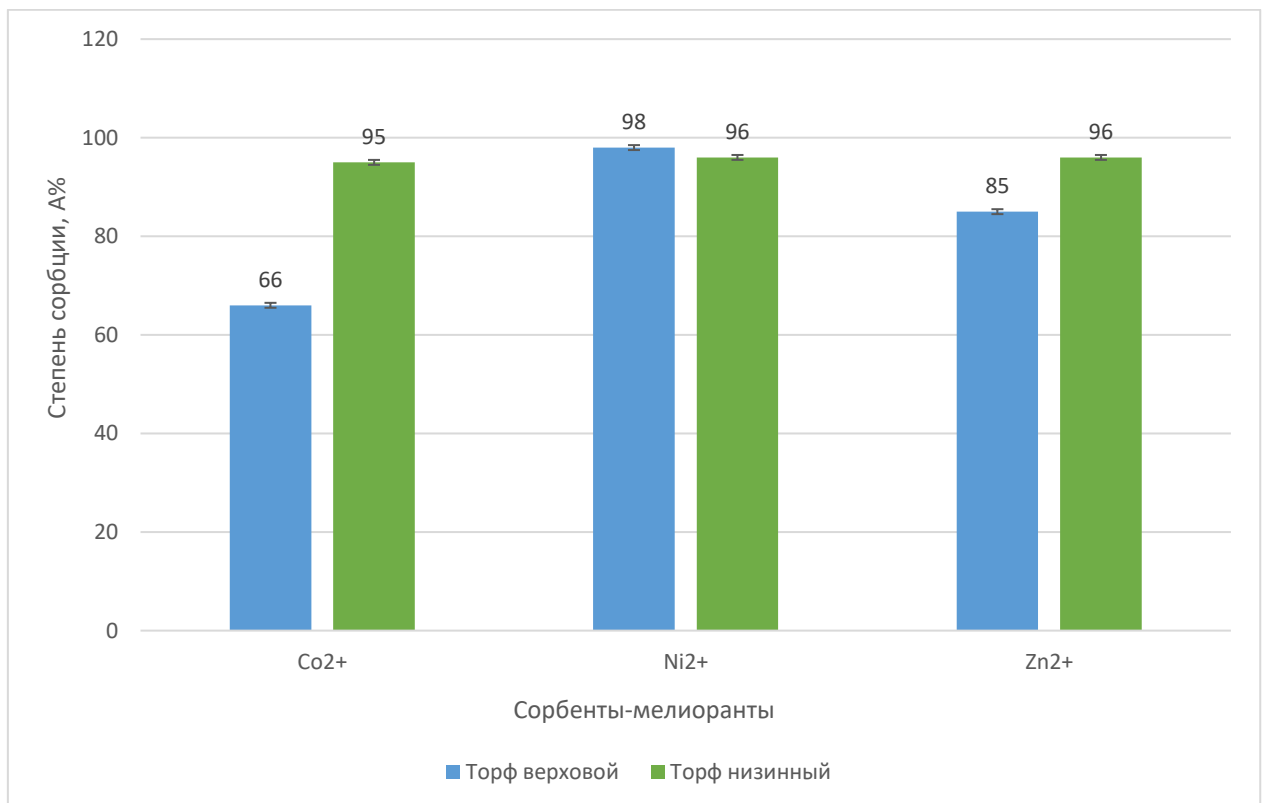




Рисунок 3.17. Сорбция ионов тяжелых металлов **из модельных растворов** сорбентами-мелиорантами «торф верховой» и «торф низинный»; А – доля ионов металлов связанных сорбентом, %

Экспериментальные исследования сорбция ионов тяжелых металлов из модельных растворов сорбентами-мелиорантами «торф верховой» и «торф низинный» показывают противоположные результаты. Эффективность сорбции ионов тяжелых металлов торфом низинным более высокая по сравнению с торфом верховым. В отношении сорбции ионов  $\text{Co}^{2+}$  наблюдается значительная разница в пользу торфа низинного по отношению к торфу верховому (66 % и 95 % соответственно). По отношению к иону  $\text{Zn}^{2+}$  наблюдается низкая разница в эффективности сорбентов-мелиорантов. По отношению к иону  $\text{Ni}^{2+}$  торф верховой на 2 % превосходит в эффективности сорбции торф низинный. Разные результаты исследования эффективности сорбентов-мелиорантов «торф верховой» и «торф низинный» показывают, что при сорбции большого числа ионов тяжелых металлов эффективнее использовать торф верховой в качестве сорбента-мелиоранта или в качестве природного материала в составе композитного сорбента-мелиоранта. В других случаях нет существенной разницы в выборе типа торфа для сорбции ионов тяжелых металлов.

Как было выявлено в исследованиях описанных во второй главе диссертационного исследования увеличение доли осадков водоподготовки и уменьшение доли торфа увеличивает сорбционные свойства сорбента-мелиоранта. Обратная зависимость увеличивает мелиорационные свойства сорбента-мелиоранта в ущерб сорбционным свойствам.

Проведенные исследования показывают, что целесообразно использовать торф верхового и низинного типа и осадков водоподготовки в однокомпонентном сорбенте.

На рисунке 3.18 представлены результаты исследования сорбции из модельных растворов ионов тяжелых металлов однокомпонентными сорбен-

тами-мелиорантами.

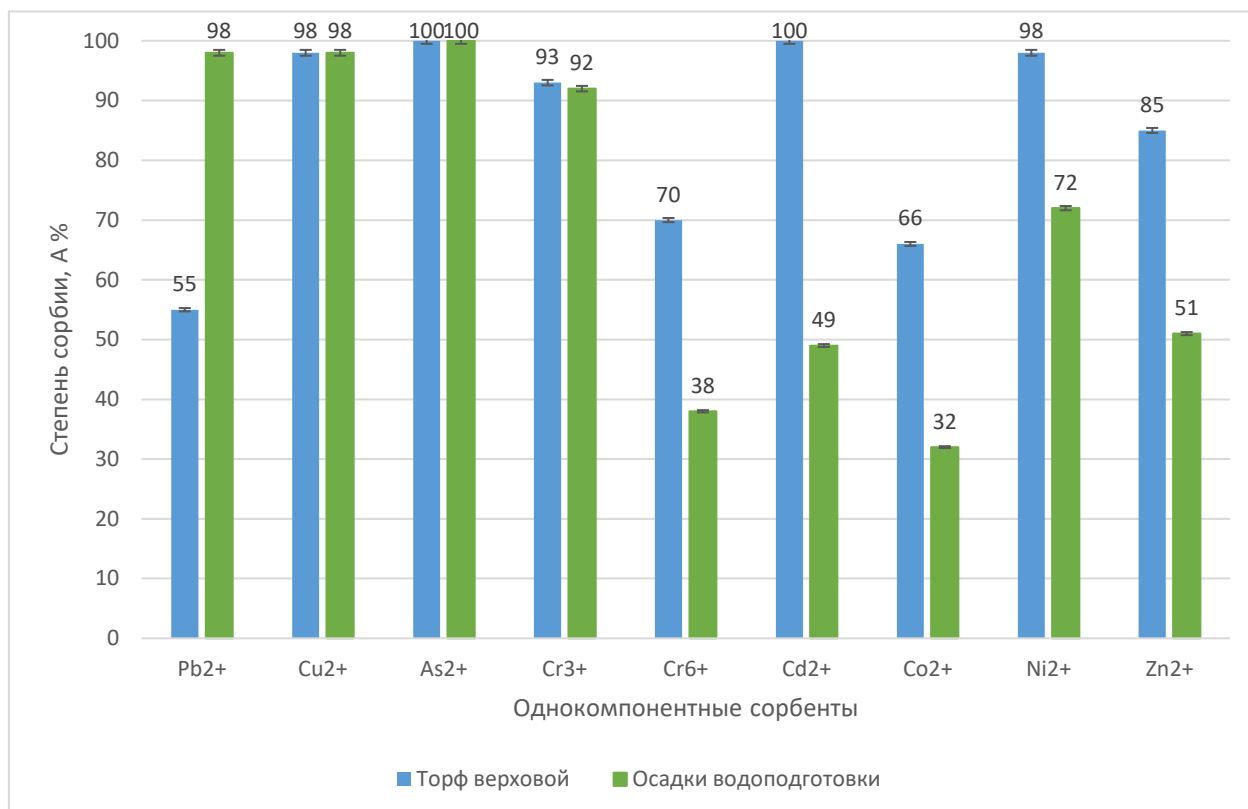


Рисунок 3.18. Сорбция ионов тяжелых металлов из модельных растворов однокомпонентными сорбентами «торф верховой» и «осадки водоподготовки»; A – доля ионов металлов связанных сорбентом, %

Экспериментальные исследования сорбция ионов тяжелых металлов из модельных растворов однокомпонентными сорбентами «торф верховой» и «осадки водоподготовки» показывают, что представленные материалы обладают сорбционными свойствами, их возможно применять вне композиционной смеси. Эффективность сорбции ионов тяжелых металлов однокомпонентными сорбентами различны. Торф верховой лучше сорбирует ионы Cr<sup>3+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>. Осадки водоподготовки лучше сорбирует ионы Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, As<sup>2+</sup>. В общем и целом наблюдается максимально высокая сорбция ионов Cr<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, As<sup>2+</sup> представленными однокомпонентными сорбентами. Все остальные ионы тяжелых металлов сорбируются с различной эффективностью.

Применение торфа в качестве сорбента-мелиоранта целесообразно, т.к. его свойства позволяют использовать торф в качестве сорбента ионов тяжелых металлов и улучшать качество почвы для ускорения биологической консервации породного отвала.

Применение осадков водоподготовки целесообразно, т.к. их свойства позволяют использовать осадки водоподготовки в качестве сорбента ионов тяжелых металлов и утилизировать техногенные отходы в природосберегающих целях без ухудшения экологической обстановки.

Использование осадков водоподготовки и торфа в составе композиционного сорбента-мелиоранта в различных пропорциях целесообразно, так как их свойства позволяют использовать материалы в качестве сорбента ионов тяжелых металлов, утилизировать техногенные отходы в природосберегающих целях без ухудшения экологической обстановки и улучшать качество почвы для ускорения биологической консервации породного отвала.

В таблице 3.5 приведена база данных иммобилизации ионов тяжелых металлов сорбентами-мелиорантами на основании экспериментальных исследований.

Таблица 3.5. База результатов по оценке эффективности предложенных сорбентов-мелиорантов для сорбции ионов тяжелых металлов

№ п/п	Материальный состав сорбента	Гранулометрический состав сорбента	Пропорции по массе естественной влажности, %	Ионы тяжелых металлов	Степень сорбции, %
1.	Торф – осадки водоподготовки	россыпь	20/80	Pb <sup>2+</sup>	71
				Cu <sup>2+</sup>	100
				As <sup>3+</sup>	59
				Cr <sup>3+</sup>	100
				Cr <sup>6+</sup>	80
				Cd <sup>2+</sup>	74
				Co <sup>2+</sup>	96
Ni <sup>2+</sup>	99				

				Zn <sup>2+</sup>	99
2.	Торф – осадки водоподготовки	россыпь	40/60	Pb <sup>2+</sup>	61
				Cu <sup>2+</sup>	100
				As <sup>3+</sup>	79
				Cr <sup>3+</sup>	100
				Cr <sup>6+</sup>	91
				Cd <sup>2+</sup>	77
3.	Торф – осадки водоподготовки	россыпь	60/40	Pb <sup>2+</sup>	50
				Cu <sup>2+</sup>	98
				As <sup>3+</sup>	74
				Cr <sup>3+</sup>	79
				Cr <sup>6+</sup>	84
				Cd <sup>2+</sup>	62
				Cr <sup>6+</sup>	57
				Cd <sup>2+</sup>	69
4.	Торф верховой нейтрализованный	гранулы	100	Zn <sup>2+</sup>	87
				Pb <sup>2+</sup>	49
				Cu <sup>2+</sup>	92
				As <sup>3+</sup>	100
				Cr <sup>3+</sup>	84
5.	Торф верховой нейтрализованный	россыпь	100	Cr <sup>6+</sup>	26
				Cd <sup>2+</sup>	76
				Pb <sup>2+</sup>	55
				Cu <sup>2+</sup>	98
				As <sup>3+</sup>	100
				Cr <sup>3+</sup>	93
				Cr <sup>6+</sup>	70
				Cd <sup>2+</sup>	100
6.	Осадки водоподготовки	россыпь	100	Co <sup>2+</sup>	66
				Ni <sup>2+</sup>	98
				Zn <sup>2+</sup>	85
				Pb <sup>2+</sup>	98
				Cu <sup>2+</sup>	98
				As <sup>3+</sup>	100
				Cd <sup>2+</sup>	49
				Cr <sup>3+</sup>	92
				Cr <sup>6+</sup>	38
7.	Торф низинный	россыпь	100	Co <sup>2+</sup>	32
				Ni <sup>2+</sup>	72
				Zn <sup>2+</sup>	51
				Co <sup>2+</sup>	95
				Ni <sup>2+</sup>	96
				Zn <sup>2+</sup>	96

### 3.4. Выводы по главе 3

1. Перспективным направлением снижения воздействия породных отвалов на окружающую природную среду является сорбент-ориентированный

метод консервации породных отвалов со снижением воздействия тяжелых металлов на окружающую среду путем сорбции их сорбентами-мелиорантами.

2. Рекомендуется технология консервации породного отвала с техническим и биологическим этапами, обводнением и посадкой растений, способных накапливать тяжелые металлы с последующей утилизацией побегов растений.

3. Экспериментально установлена эффективность иммобилизации ионов тяжелых металлов сорбентами-мелиорантами при взаимодействии их с минеральными грунтами породного отвала.

4. Обводнение верхнего слоя грунта породного отвала является обязательным условием эффективной сорбции ионов тяжелых металлов сорбентами-мелиорантами.

5. Экспериментальные исследования продемонстрировали более эффективную сорбцию ионов тяжелых металлов сорбентом-мелиорантом в негранулированном виде (россыпью).

6. Экспериментальные исследования продемонстрировали, что при сорбции большого числа ионов тяжелых металлов эффективнее использовать торф верховой в качестве сорбента-мелиоранта или в качестве природного материала в составе композитного сорбента-мелиоранта.

7. Использование осадков водоподготовки и торфа в составе композиционного сорбента-мелиоранта в разных пропорциях целесообразно, т.к. их свойства позволяют использовать материалы в качестве сорбента ионов тяжелых металлов, утилизировать техногенные отходы в рекультивационных целях без ухудшения экологической обстановки и улучшать качество почвы для ускорения биологической консервации породного отвала.

## **4. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОНСЕРВАЦИИ ПОРОДНОГО ОТВАЛА**

### **4.1. Экологическое обоснование применения технологии консервации породного отвала**

Воздействие породного отвала на окружающую среду представляет собой актуальный вопрос, требующий комплексного эколого-экономического анализа. Породный отвал, как результат горнодобывающей деятельности, неминуемо влияет на ландшафт, почвенные и водные ресурсы, а также на биоразнообразие. Его массивные объемы могут вызывать эрозию, деградацию почвы и изменение естественного гидрологического режима.

Вымывание и выветривание вредных веществ из породного отвала может приводить к загрязнению водоемов и почвы, что создаёт угрозу для экосистем и здоровья человека. На территории, где расположены породные отвалы, наблюдается изменение микроклимата, что также отражается на местной флоре и фауне.

Породный отвал является следствием горнодобывающей деятельности. Кроме породного отвала негативное влияние на окружающую природную среду оказывает собственно горнодобывающая деятельность.

При определении эколого-экономического вреда окружающей среде необходимо учитывать воздействия, связанные с освоением недр.

Структура воздействий, связанных с осуществлением тех или иных производственных процессов при освоения недр, отражена на рисунке 4.1.

Техногенные изменения во многом зависят от применяемых технологических решений, от используемых систем разработки и методов консервации горно-добывающих объектов.

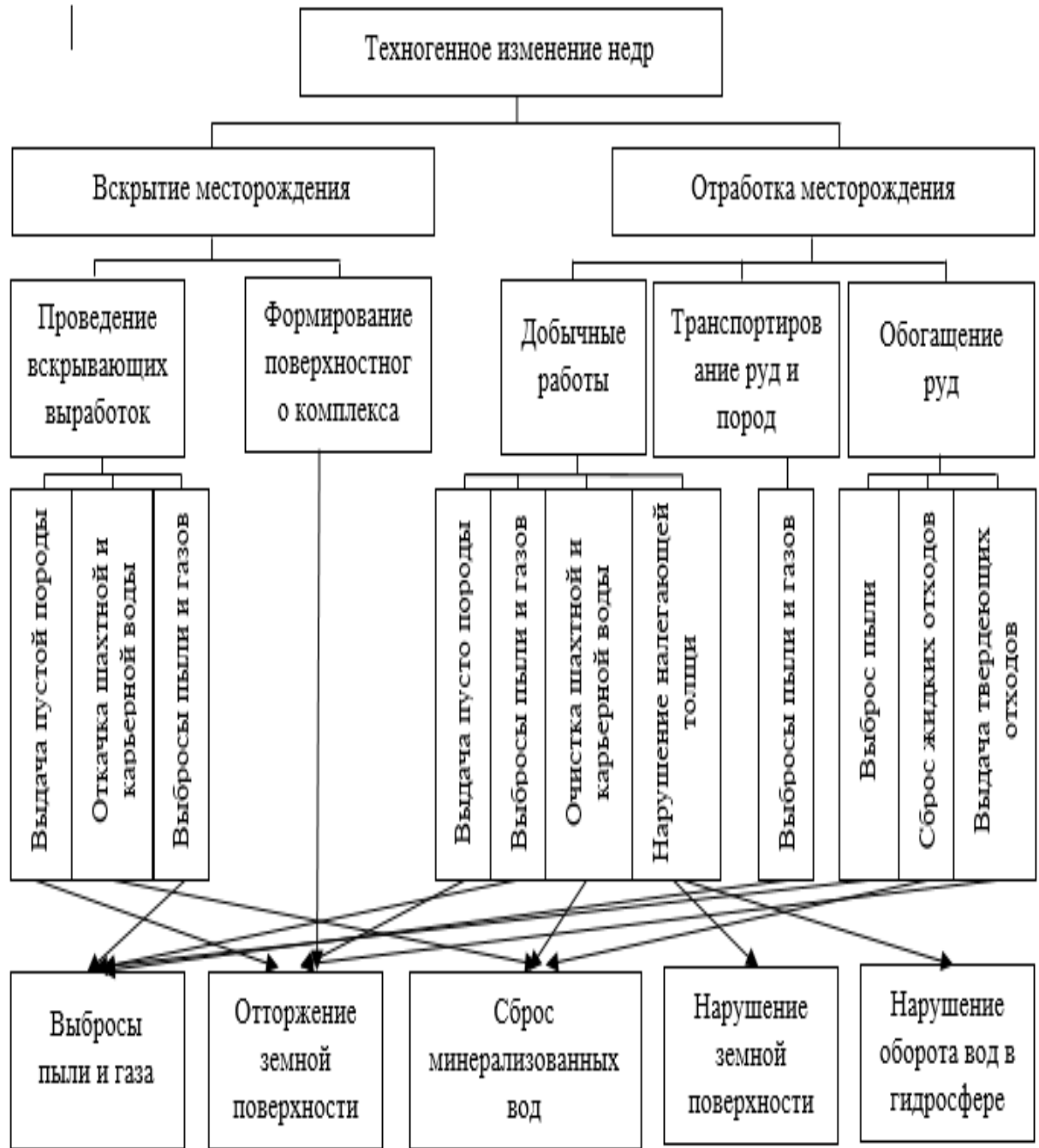


Рисунок 4.1. Структура антропогенных воздействий при освоения недр

Горнодобывающая деятельность влечет за собой разрушение окружающей среды. Систематизация факторов этого влияния приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Структура эколого-экономического ущерба при различных состояниях выработанного пространства

Состояние выработанного пространства	Техногенное изменение жизнеобеспечивающих факторов для элементов биоты	Загрязнение биотопа агентами, ранее в нем не присутствовавшими	Прямое уничтожение элементов биоты
Поддерживаемые покидаемыми целиками  Карьерная выемка	Привнесение нейтральных поллютантов с шахтными водами и продуктами водной и ветровой эрозии хранилищ, отходов и поверхностей, лишенных растительного покрова	Привнесение фито- и зоотоксичных поллютантов с шахтными водами, продуктами водной и ветровой эрозии хранилищ, отходов, вентиляционными выбросами и протечками из хвостохранилищ и отстойников	Создание коммуникаций, строительные работы, складирование отходов
Заполнение закладочными материалами  Создание барьера основания карьера	Изменение режима поверхностно-грунтовых вод. Привнесение нейтральных поллютантов с шахтными водами и продуктами эрозии поверхностей, лишенных растительного покрова	Привнесение фито- и зоотоксичных поллютантов с шахтными водами, вентиляционными выбросами и протечками из отстойников	Заболачивание поверхностей, создание коммуникаций, строительные работы, добыча закладочных материалов карьерами
Обрушение: а) оседание поверхности б) обрушение поверхности	Изменение режима почвенно-грунтовых вод, привнесение нейтральных поллютантов с шахтными водами к продуктам водной и ветровой эрозии хранилищ отходов и поверхностей, лишенных растительного покрова	Привнесение фито- и зоотоксичных поллютантов с шахтными водами, продуктами водной и ветровой эрозии хранилищ отходов, вентиляционными выбросами и протечками из хвостохранилищ и отстойников	а) заболачивание поверхности б) обрушение поверхности, нарушение гидрологической сети и поверхностных водоемов. Создание коммуникаций, строительные работы, складирование отходов

В таблице 4.2 отражены источники воздействия и формы проявления этих воздействий на окружающую среду.



Таблица 4.2. Источники и формы воздействий на окружающую среду

<b>Источник воздействия</b>	<b>Форма воздействия</b>	<b>Поражаемые элементы геосферы</b>	<b>Характер поражения</b>
Выработанное пространство	Обрушение подрабатываемых пород	Поверхность земли	Провалы
		Водные объекты на поверхности и водоносные толщи	Дренажи
	Оседание пород с образованием трещин в водоупорных основаниях	Водные объекты с нарушением водоупорных оснований	Дренажи
	Оседание пород	Поверхность земли, грунтовые воды	Подтопление почв
	Образование карьерной выемки	Поверхность земли, грунтовые воды, почвы, биота	Разубоживание литосферы, нарушение естественного ландшафта, образование искусственного водоема, нарушение гидрологического режима
Хранилища отходов (породные отвалы, хвостохранилища, шламо- и шлакохранилища и т.д.)	Создание ландшафтных поверхностей	Поверхность земли, водные объекты на поверхности, почвы, биота	Загромождение, подотвальные воды, засорение нейтральными биологическими зоо- и фитотоксичными компонентами
Шахтные и карьерные воды	Образование источников поступления засоренных вод	Водные объекты на поверхности, грунтовые воды, почвы, биота	Засорение нейтральными биологическими зоо- и фитотоксичными компонентами
Выбросы	Образование поточного поступления загрязненных воздушных масс	Воздушный бассейн, почвы, водные объекты на поверхности, биота	Засорение нейтральными газовыми и пылевыми добавками зоо- и фитотоксичными компонентами

При использовании современных технологий в горнодобывающей и обогатительной промышленности образуются обширные накопители отхо-

дов. Эти отходы содержат 70-90 % от общего объема извлекаемых из недр минералов, что подчеркивает значительный масштаб проблемы. В дальнейшем породные отвалы и хвостохранилища становятся вторичными источниками загрязнения окружающей среды, угрожая экосистемам и здоровью населения.

Поверхностные воды также подвержены загрязнению из-за стока с породного отвала и значительно увеличиваются в условиях сильных дождей и периода таяния снега. Существенные объемы токсичных веществ, выносимых с дождевыми и паводковыми водами, способны наносить вред водоемам и источникам питьевой воды. Более того, загрязнения сохраняются даже после завершения добычи ресурсов, когда подотвальные воды продолжают выносить вредные химические элементы.

Вертикальная миграция загрязнителя в почву и далее в подстилающие породы представляет собой важный процесс, который требует глубокого понимания физических и химических взаимодействий. Одномерное уравнение конвективной диффузии, учитывающее кинетику сорбции, позволяет описать этот процесс с достаточной точностью. В условиях полубесконечного пространства мы можем выдвинуть предположения о стабильности концентрации загрязнителя и о равномерности его распределения в слоях почвы. Уравнение миграции ионов тяжелых металлов имеет следующий вид:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + w \frac{\partial c}{\partial z} = D_s \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - K_{\text{СПО}}, \quad (17)$$

где:  $c(z, t)$  – концентрация ионов тяжелых металлов в породном отвале;  $w$  – средняя скорость фильтрации почвенного раствора;  $D_s$  – коэффициент диффузии ионов тяжелых металлов;  $K_{\text{СПО}}$  – константа скорости сорбции ионов тяжелых металлов породным отвалом.

Основная формула, представляющая собой уравнение диффузии, может быть записана как:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla(uC_{\text{TM}}) = \nabla(K\nabla C_{\text{TM}}) + S_{\text{ПО}}, \quad (18)$$

где:  $C_{TM}$  – концентрация тяжелых металлов;  $u$  – вектор скорости потока;  $K$  – коэффициент турбулентной диффузии;  $S_{ПО}$  – источник загрязнения в породном отвале.

Начальные и граничные условия имеют вид [124]:

$$c = c_0 = const, c(0, t) = c_0 = const, \lim_{z \rightarrow \infty} c \neq \infty. \quad (19)$$

При условии начальных и граничных условий решение уравнения миграции ионов тяжелых металлов имеет следующий вид [124]:

$$\begin{aligned} c(z, t) = & \\ = c_0 \exp(-Kt) + & \\ + 0,5 \exp(0,5\alpha z) \langle c_b \left[ \exp(-\sqrt{AB}) \operatorname{erfc}\left(0,5 \sqrt{\frac{A}{t} - \sqrt{Bt}}\right) + \exp(\sqrt{AB}) \operatorname{erfc}\left(0,5 \sqrt{\frac{A}{t} + \sqrt{Bt}}\right) \right] \right\rangle & \\ - c_0 \exp(-A_t) \left\{ \exp\left[-\sqrt{A(B-K)}\right] \operatorname{erfc}\left[0,5 \sqrt{\frac{A}{t} - \sqrt{(B-K)t}}\right] + \exp\left[\sqrt{A(B-K)}\right] \operatorname{erfc}\left[0,5 \sqrt{\frac{A}{t} + \sqrt{(B-K)t}}\right] \right\}, & \end{aligned} \quad (20)$$

где:  $A$  и  $B$  – параметры диффузии и сорбции загрязнителя;  $K$  – константа скорости сорбции загрязнителя горными породами;  $c(z, t)$  – концентрация загрязнителя в горных породах;

Породный отвал оказывает нагрузку на атмосферный воздух за счет ветровой эрозии. Без достаточного увлажнения породного отвала взвешенные частицы и газовые соединения породного отвала поднимаются в атмосферный воздух и рассеиваются на значительные расстояния, тем самым оказывая негативное воздействие на сопредельные территории.

Исследования показывают, что моделирование аэрогазодинамических процессов, возникающих при обтекании породных отвалов, в общем случае опирается на систему уравнений, характеризующих движение вязкого, сжимаемого теплопроводного газа в трехмерном пространстве. Для разрешения

данной системы уравнений применяется традиционный метод конечных элементов с использованием функций формы конечного элемента.

В уравнении приведена математическая модель, описывающая конвективно-турбулентный диффузионный перенос пыли с породного отвала в приземном слое атмосферы, находящемся в районе действия породного отвала [124]:

$$\begin{aligned}
 c_n(x, t) = & \\
 = 0,5c_n \exp\left(\frac{0,5u}{D_n} x\right) & \left\{ \exp\left[-0,5\left(\sqrt{\frac{u^2}{D_n^2} + \frac{4kw_b}{D_n}}\right)x\right] \operatorname{erfc}\left[\frac{0,5x}{\sqrt{D_n t}} - \right. \right. \\
 - \sqrt{0,25\left(\frac{u^2}{D_n} + 4kw_b\right)t} & \left. \left. \right] + \exp\left[0,5\left(\sqrt{\frac{u^2}{D_n^2} + \frac{4kw_b}{D_n}}\right)x\right] \operatorname{erfc}\left[\frac{0,5x}{\sqrt{D_n t}} + \right. \right. \\
 + \sqrt{0,25\left(\frac{u^2}{D_n} + 4kw_b\right)t} & \left. \left. \right] \right\}, \quad (21)
 \end{aligned}$$

где:  $c_n$  – концентрация взвешенных частиц в воздушном потоке;  $D_n$  – коэффициент турбулентной диффузии взвешенных частиц в приземном слое атмосферы;  $n$  – средняя скорость воздуха с подветренной стороны породного отвала;  $k$  – коэффициент седиментации;  $w_b$  – скорость витания взвешенных частиц в воздухе.

Эта модель учитывает процессы седиментации, что позволяет более точно оценить динамику перемещения частиц пыли с породного отвала. Созданная модель представляет собой комплексный подход к анализу взаимодействия порошковых частиц с атмосферными потоками, что имеет важное значение для понимания загрязнения воздуха и связанных с этим экологических последствий. Учет седиментации, происходящей в результате силы тяжести, а также влияния ветровых и температурных градиентов улучшает качество прогнозирования и оптимизирует методы контроля пылевыделений.

Осаждение взвешенных частиц с породного отвала происходит на почву с дальнейшей миграции их в водные источники.

Математическая модель газового загрязнителя с породного отвала, действующего в приземном слое атмосферы зоны расположения породного отвала, охватывает процессы конвекции и турбулентного диффузирования.

Эта модель описывает взаимодействие различных физических факторов, влияющих на распределение и поведение загрязняющих веществ с породного отвала в атмосфере [124]:

$$\begin{aligned}
 c_{r,n}(x, t) &= \\
 &= 0,5c_1 \exp\left(\frac{0,5u}{D_{r,n}} x\right) \left\{ \exp\left[-0,5\left(\frac{u}{D_{r,n}}\right)^2 x\right] \operatorname{erfc}\left[0,5\left(\frac{x}{\sqrt{D_{r,n}t}} - \right. \right. \right. \\
 &\left. \left. \left. -u \sqrt{\frac{t}{D_{r,n}}}\right] + \exp\left[0,5\left(\frac{u}{D_{r,n}}\right)^2 x\right] \operatorname{erfc}\left[0,5\left(\frac{x}{\sqrt{D_{r,n}t}} + \sqrt{\frac{t}{D_{r,n}}}\right)\right] \right\}, \quad (22)
 \end{aligned}$$

где:  $c_{r,n}$  и  $c_1$  – концентрация газового загрязнителя с породного отвала в воздушном потоке и ее начальное значение;  $D_{r,n}$  – коэффициент турбулентной диффузии загрязнителя в приземном слое.

Решение данного уравнения позволяет установить зависимости концентрации загрязняющего вещества с породного отвала от времени и пространственных координат, что, в свою очередь, способствует оценке воздействия на здоровье населения и экосистему. Параметры модели подбираются на основе эмпирических данных и мониторинга атмосферных условий, что позволяет повысить точность прогнозирования и разработать мероприятия по минимизации воздействия загрязнителей.

Применение различных методов складирования отходов горнодобывающей деятельности приводит к негативным последствиям для всех вод геологического разреза. Это влечет за собой загрязнение водоемов как в районе разработки, так и тех, что расположены за его пределами, создавая угрозу для экологического баланса и безопасности местных жителей и региона в целом. Существует необходимость в разработке эффективных методов управления отходами, в том числе породными отвалами и минимизации риска загрязнения путем их консервации на месте захоронения.

Геохимическая специализация вмещающих пород позволяет выявить химический состав вмещающих пород и их роль в контексте геологических процессов, в том числе миграцию ионов тяжелых металлов, что позволяет

определять химический состав породного отвала (таблицы 4.3 и 4.4). Геохимическая специализация вмещающих пород имеет значение для оценки экологических рисков, связанных со складированием пустых пород.

Таблица 4.3. Геохимическая специализации вмещающих пород

№ п/п	Формация	Геохимическая специализация
1.	Скарново-магнетитовый тип	Fe, Mn, V, Cu, Ni, Co, Pb, Zn
2.	Титаново-магнетитовый тип	Fe, Cr, Mn, Ni, Co, Cu
3.	Ванадиево-железно-меднорудный тип	Fe, Cr, Mn, V, Co, Cu
4.	Медно-колчеданный тип	Cu, Zn, Pb, Co, Ni

Таблица 4.4. Геохимическая ассоциация химических элементов, концентрирующихся в некоторых типах рудных месторождений и сопровождающих их ореолах рассеивания

№ п/п	Тип месторождения	Геохимическая специализация
1.	Медно-никелевые	Cu, N, Co, Ba, Pb, Zn, Ag, Bi, Sn, Be, W, Zr
2.	Медные	Ba, As, Pb, Zn, Ag, Sn, Cu, Bi, Co, Ni, Mo
3.	Медистые песчаники	Cu, Ag, Pb, Ba, Bi, W, Cr, Zn, Mo
4.	Оловорудные	Sn, Pb, As, Cu, Bi, Zn, Ag, Mo, Co, Ni, W
5.	Медно-молибденовые	Cu, Mo, As, Ag, Pb, Zn, Bi, Co, Ni, Be, W
6.	Ртутные	Hg, Ba, Ag, Pb, Zn, Cu, Cu,Co, Ni, Sn, No, W

Для большинства породных отвалов характерно присутствие тяжелых металлов в ионном виде, что превращает их в источники загрязнения для окружающей среды. Особенно критическая ситуация наблюдается на месторождениях медноколчедановых руд. По степени воздействия выделяют три основных класса объектов, основанных на ряде факторов, среди которых дисперсность отходов, концентрация элементов в отходах, форма нахождения элементов в отходах, занимаемая площадь.

Дисперсность выражается показателем удельной поверхности:

$$Y_{\text{пов}} = \frac{6}{\gamma_B d_{\text{ср}}}, \quad (23)$$

где:  $Y_{\text{пов}}$  – удельная поверхность;  $\gamma_B$  – удельный вес пород в отвале, т/м<sup>3</sup>;  $d_{\text{ср}}$  – средний диаметр частиц твердой фазы пород в отвале, м.

Концентрацию ионов тяжелых металлов в породном отвале:

$$\sum K_k = \frac{c_{1TM}}{K_1} + \dots + \frac{c_{iTM}}{K_i}, \quad (24)$$

где:  $C_{1TM} \dots C_{iTM}$  – содержание ионов тяжелых металлов в породном отвале, г/т;  $K_1 \dots K_i$  – кларковые содержания элементов в почвах, г/т.

Для определения опасности породного отвала рекомендуется использовать формулу критерия уровня опасности отходов [125]:

$$B = S_{отв} Y_{пов} d \sum K_k, \quad (25)$$

где:  $S_{отв}$  – площадь породного отвала, занимаемая отходами, га;  $Y_{пов}$  – дисперсность минеральной фазы породного отвала (удельная поверхность, м<sup>2</sup>/т);  $d$  – минералогический признак;  $\sum K_k$  – концентрация элементов (суммарный кларк концентрации элементов).

По критерию уровня опасности (B) все отходы подразделяются на: < 9 – безопасные; 9-27 – умеренно-опасные; > 27 – опасные.

В исследованиях вещественного состава отвалов медно-колчеданных руд Левихинского рудника Свердловской области анализировались пробы на содержания вредных компонентов с помощью портативного рентгенофлуоресцентного сканирующего спектрометра «SciAps». Пробоотбор осуществлялся в соответствии с ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов», методом вычерпывания. Точечные пробы отбирались на пробной площадке из одного или нескольких слоев методом конверта. Глубина лунки не менее 0,2 м. Установлена средняя концентрация химических элементов (таблица 4.5).

Таблица 4.5 Химический состав проб с отвалов  
Левихинского рудника, масс. %

Компоненты	Проба 1	Проба 2
SiO <sub>2</sub>	61,29	57,91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,96	8,04
CaO	0,22	0,44
MgO	1,04	0,86
TiO <sub>2</sub>	1,17	0,60
FeO	0,00	1,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,15	22,54

Fe <sub>общ</sub>	2,90	17,00
MnO	0,036	0,034
K <sub>2</sub> O	3,88	1,19
Na <sub>2</sub> O	1,05	1,14
S	1,27	0,40
Cu	0,0098	0,074
Σ	92,52	94,81

Химический анализ пробы верхних слоев породного отвала Левихинского рудника показал, что породный отвал является источником вредных компонентов.

Многочисленные исследования химического состава водных объектов в районе породного отвала Левихинского рудника показывают опасное негативное влияние породного отвала Левихинского рудника практически на все биологические и географические компоненты. Многократное превышение ПДК фиксируется практически во всех исследуемых пробах воды в районе породного отвала Левихинского рудника (таблица 4.5).

На рисунке 4.2 представлены места отбора проб воды для химических исследований.





Рисунок 4.2. Схема отбора проб воды для определения концентрации химических элементов в воде вблизи породного отвала Левихинского рудника

Для определения концентрации ионов тяжелых металлов в растворах использовали апробированный инструментальный метод количественного анализа – атомно-абсорбционную спектрометрию (таблица 4.6).

Таблица 4.6. Концентрация химических элементов в водных объектах вблизи затопленного карьера Левихинского рудника, мг/дм<sup>3</sup>.

№ п/п	Химическое вещество	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>	Класс опасности	Подотвальная вода (Проба 1) мг/дм <sup>3</sup>	Вода затопленного карьера (Проба 2) мг/дм <sup>3</sup>	Вода в ручье (Проба 3) мг/дм <sup>3</sup>	Вода после станции нейтрализации (Проба 4) мг/дм <sup>3</sup>	Вода в пруде-отстойнике (Проба 5) мг/дм <sup>3</sup>
1.	Al	0,04	4	312	90,6	1834	7,84	26,2
2.	Ba	0,74	4	0,914	1,072	-	0,402	0,16
3.	Ca	180,0	4	131,5	226	492	819	758
4.	Cd	0,005	2	-	-	7,14	-	-
5.	Co	0,01	3	0,89	0,322	4,14	0,214	0,506
6.	Cr <sup>3+</sup>	0,07	3	0,064	-	2,42	-	-
7.	Cu	0,001	3	43,1	8,56	361	-	3,56
8.	Fe	0,1	4	1272	142	5520	4,22	7,4
9.	Mg	40,0	4	250	97,2	1302	346	250
10.	Mn	0,01	4	15,5	10,82	93,8	15,22	25,2
11.	Na	120,0	4	16,38	13,36	19,88	56,8	16,44
12.	Zn	0,01	3	24,2	28,1	273	0,72	61,6

Многолетний анализ проб поверхностных вод на исследуемой территории выявил значительное ухудшение качества воды в водных объектах, расположенных рядом с породным отвалом.

Консервация породного отвала является обязательным условием ликвидации накопленного экологического вреда.

## 4.2. Экономическое обоснование применения технологии консервации породного отвала

В общем и целом экономический ущерб от воздействия породного отвала на окружающую среду можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 4.3.

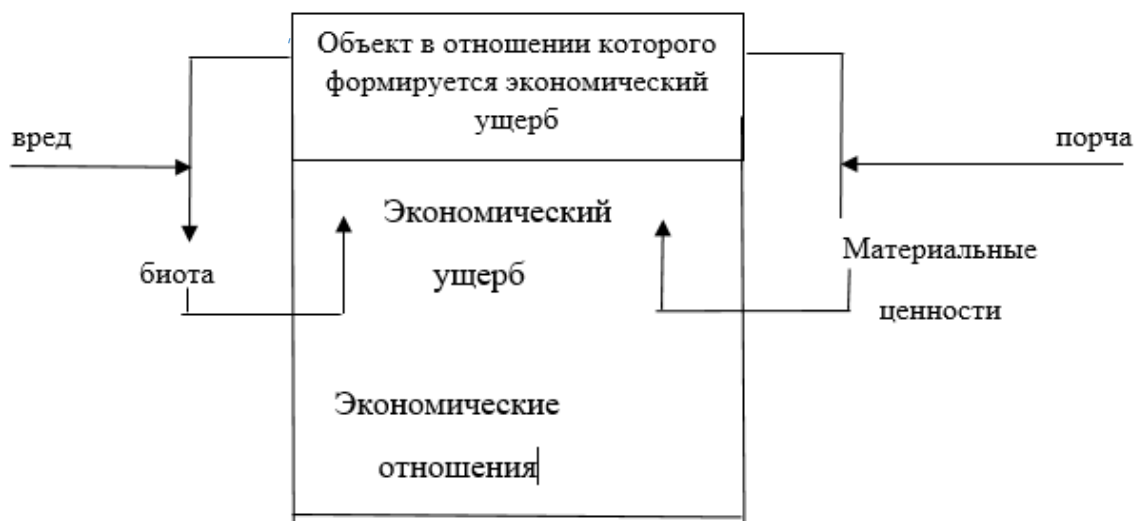


Рисунок 4.3. Возникновение экономического ущерба

Таким образом, можно сделать вывод, что экономический ущерб от воздействия породного отвала на окружающую среду возникает в следующих случаях:

- при наличии воздействий, которые качественно или количественно изменяют составляющие природной среды;
- когда существуют реципиенты, воспринимающие эти воздействия, что приводит к формированию негативных последствий;
- когда возможно определение натурального ущерба, отражающего эти неблагоприятные последствия;
- при наличии экономических отношений, позволяющих проводить денежную оценку данного ущерба.

Необходимо учитывать особенности ландшафтного рисунка местности нахождения породного отвала, который в известной мере соответствует характеристикам рельефа. В состав учитываемых условий вводится характери-

стика экологической ситуации, отражающая фоновое состояние ландшафтного района.

В качестве критериев оценки экономического воздействия породного отвала на окружающую среду предлагается учитывать степень загрязнения атмосферного воздуха, состояние водных ресурсов, объем размещаемых отходов, а также масштабы нарушения земельных ресурсов в продолжительный период [126] (таблица 4.7).

Таблица 4.7. Показатели состояния ландшафтных районов

Состояние исследуемых объектов	Показатели
Экологическое (геоэкологическое)	Площадь деградированных земель, стадии дигрессии пастбищ и рекреационных угодий, площади вырубленных и сгоревших лесов, потери почвенного плодородия, уменьшение биологической продуктивности биоценозов, степень антропогенного эвтрофирования водоемов и др.
Санитарно-гигиеническое	Кратность ПДК загрязняющих веществ в воздухе, воде, почве, продуктах питания.
Медико-демографическое	Здоровье населения, детская смертность, генетические нарушения, продолжительность жизни населения

Суть оценки заключается в сопоставлении фактических данных с заранее установленными критериальными параметрами, которые отражают допустимые меры воздействия на окружающую среду. Важно отметить, что обоснование экологических норм остается одной из наиболее недостаточно исследованных сфер, которая до сих пор не имеет ясного решения. Примеры ориентировочных характеристик, указывающих на степень напряженности экологической ситуации, основанные на материалах многочисленных исследований, представлены в таблице 4.8. Эти характеристики служат важными индикаторами, позволяющими оценить уровень загрязнения от воздействия породного отвала и его влияние на экосистему. Однако, несмотря на имеющиеся разработки, необходимость в четких и научно обоснованных экологи-

ческих нормах остается актуальной задачей, требующей дальнейшего внимания и исследования.

Таблица 4.8. Ориентировочные характеристики остроты экологических ситуаций от воздействия породного отвала на окружающую среду

Категория экологической ситуации	Суммарный показатель загрязненности почв	Снижение продуктивности экосистем, % в год	Нарушенные земли, % от общей площади	Степень нарушения ландшафтов	Состояние здоровья населения
Удовлетворительная	Существенно <16	< 1,0	< 2,0	Норма	Норма
Напряженная	Около 16	1,0-1,5	2-5	Изменение свойств компонентов	Отдельные признаки ухудшения здоровья
Критическая	16-32	1,5-3,5	5-20	Нарушение структуры вторичных компонентов	Ухудшение здоровья отдельных групп населения
Кризисная	32-128	3,5-7,5	20-50	Деградация ландшафтов	Повсеместное ухудшение здоровья населения
Катастрофическая	> 128	>7,5	> 50	Нарушение структуры и функций ландшафтов	Рост смертности и сокращение продолжительности жизни

При описании климатических условий воздействия породного отвала на окружающую природную среду необходимо учитывать такие факторы, как годовое количество осадков, среднегодовая температура воздуха, среднесуточные температуры в январе, а также среднесуточная глубина промерзания. В Методических рекомендациях [127] предлагается оценивать устойчивость ландшафта по формуле:

$$A = BCD, \quad (26)$$

где:  $A$  – устойчивость вида ландшафта, баллы;  $B$  – устойчивость почвы, баллы;  $C$  – поправка на климат;  $D$  – поправка на рельеф.

При анализе стабильности почв следует учитывать их генетическую классификацию, механический состав и общую мощность. Целесообразно проводить оценку накопительных свойств почв, устойчивость растительности. Это многоаспектное исследование помогает лучше понять взаимодействие различных факторов, способствующих сохранению экосистем и эффективному управлению природными ресурсами, что особенно важно в условиях изменения климата и антропогенного воздействия. Таким образом, комплексный подход к оценке устойчивости почв и растительности от негативного воздействия породного отвала обеспечивает более глубокое понимание экологических процессов и способствует разработке систем эффективного землевладения и охраны окружающей среды.

Фактически степень нарушенности характеризуют экологические зоны, расположенные вокруг источника воздействия. Степень устойчивости ландшафтов в рамках экологических зон может изменяться, а степень экологической опасности воздействия остается постоянной.

Уровень нарушения экосистем от воздействия породного отвала определяется экологическими зонами, которые окружают источник воздействия (таблица 4.9). Устойчивость ландшафтов внутри этих экологических зон может варьироваться, однако степень экологической угрозы, вызванной воздействием, остается неизменной.

Таблица 4.9. Зоны нарушенности экосистемы

№ п/п	Характеристика зоны	Опасность воздействия	$\alpha^*$	Степень нарушенности
1.	От неустойчивого до устойчивого ландшафта	Слабое и очень слабое воздействие	0,125-0,275	Очень слабая
2.	От неустойчивого до устойчивого ландшафта	Среднее по опасности воздействие	0,355-0,605	Слабая
3.	От неустойчивого до устойчивого ландшафта	Высокая опасность воздействия	0,685-0,825	Сильная
4.	От неустойчивого до	Очень высокая опас-	0,88-0,98	Очень сильная

	устойчивого ландшафта	ность воздействия		
--	-----------------------	-------------------	--	--

Примечание\*:  $\alpha$  – коэффициент снижения экономической ценности.

Размеры зон воздействия:

- импактная зона распространяется на расстояние 4 – 7 км;
- зона сильной нарушенности – 10 – 25 км;
- зона слабой нарушенности – 25 – 30 км;
- зона очень слабой нарушенности – 50 – 60 км.

Официальное толкование экономического ущерба представлено во «Временной типовой методике определения экономической эффективности природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды» [128]. Согласно Методике под экономическим ущербом, причиняемым народному хозяйству загрязнением окружающей среды, понимается «сумма затрат на предупреждение воздействия загрязняющей среды на реципиентов (когда такие предупреждения, частичные или полные, технически возможны) и затрат, вызываемых воздействием на них загрязненной среды». Автор, в своих последних работах определяет экономический ущерб как выраженные в стоимостной форме фактические или возможные убытки, причиненные народному хозяйству загрязнением окружающей среды, или дополнительные затраты на компенсацию этих убытков [129].

В исследовании [130] авторы предлагают развернутое понимание ключевых экологических категорий. Вред, причиняемый окружающей среде, представляет собой негативные изменения, возникшие в результате деятельности хозяйствующих субъектов, и несет в себе реальную угрозу как для здоровья человека, так и для экосистемы в целом. Ущерб от экологических правонарушений варьируется в зависимости от степени и типа нанесённого ущерба, что требует тщательной оценки.

Элементы убытков, упущенной выгоды и потерь решающим образом влияют на общую сумму возмещения. Убытки представляют собой физическую утрату материальных ценностей, тогда как потери касаются утрат сель-

скохозяйственных земель или пастбищ, что приводит к негативным последствиям для аграрного сектора. Эти факторы позволяют оценить экономические риски, связанные с нехваткой ресурсов.

Кроме того, упущенная выгода подчеркивает важность учета недополученного дохода, что делает общую картину ущерба более полной. Таким образом, комплексный подход к оценке экологических правонарушений является необходимым для формирования эффективных механизмов возмещения.

Структура экономического ущерба характеризуется следующим образом [126]:

1. Ухудшение здоровья населения и снижение экономической ценности приводит к вреду и отражается на стоимостной оценке, соответственно приводит к экономическому ущербу.

2. Разрушение материальных ценностей и недополучение продукции, используемой для собственных нужд отражается на натуральном ущербе, что сказывается на стоимостной оценке, это ведет к убытку, соответственно приводит к экономическому ущербу.

3. Недополученные доходы отражается на натуральном ущербе, что сказывается на стоимостной оценке, это ведет к упущенной выгоде, соответственно приводит к экономическому ущербу.

4. Изъятие сельскохозяйственных площадей отражается на натуральном ущербе, что сказывается на стоимостной оценке, это ведет к потерям, соответственно приводит к экономическому ущербу.

Так как затраты на предупреждение воздействия не относятся к задачам диссертационного исследования, потому что на территории Российской Федерации огромное количество объектов накопленного экологического вреда, что существенно ухудшает экологическую обстановку в регионах. В данном диссертационном исследовании акцент направлен на обоснование технологии консервации сорбент-ориентированным методом и будет связан с позиции оценки затрат, вызываемых воздействием на реципиентов загряз-

ненной среды, то есть согласно структуре экономического ущерба, представленной выше, – оценке будет подлежать 1 составляющая.

В теории и методологии оценки экономического ущерба с позиции современной теории экосистемных услуг выделяют два базовых подхода:

1) Методический подход на базе экономической оценки возможного ущерба от снижения урожайности, в том числе через вынос химических элементов, главным образом азота и калия. В качестве экономического эквивалента используют текущие цены на сельскохозяйственную продукцию. Расчёту подлежит размер упущенной выгоды, то есть возможная потеря урожая на смытых почвах [131].

Экономическая оценка экосистемной услуги по регулированию эрозии почв вследствие воздействия породных отвалов на лесную экосистему можно посчитать по следующей формуле:

$$Op_{зпо} = 12Q_N P_{зк} \Gamma, \quad (27)$$

где:  $Op_{зпо}$  – экономическая оценка экосистемной услуги по регулированию эрозии почв лесной экосистемой вследствие воздействия породного отвала, руб.;  $12Q_N$  – количество килограммов зерновых культур с установленного объема вынесенного азота за год, кг зк в год/га;  $P_{зк}$  – цена 1 кг зерновых культур, руб./кг зк;  $\Gamma$  – площадь лесного массива анализируемого района, га.

2) Методический подход, по существу, строится на исследованиях китайских ученых [128], которые предполагают, что эффективность лесов и лесных насаждений в противодействии эрозии почв, загрязненных ионами тяжелых металлов с породного отвала, может быть рассчитана с использованием следующей формулы:

$$V_g = K_{по} S G d, \quad (28)$$

где:  $V_g$  – оценка стоимости противоэрозионной функции леса (руб.);  $K_{по}$  – стоимость консервации породного отвала (руб./т);  $S$  – общая (суммарная) площадь леса (км<sup>2</sup>);  $G$  – отношение доли почв, смытых в водоем, к общим потерям осадочных отложений по региону (доля);  $d$  – величина, характери-



зующая предотвращение эрозии в лесных насаждениях, в отличие от территорий, где отсутствует лес (т/км<sup>2</sup>).

Для комплексной оценки экономического ущерба необходимо учитывать прямое и косвенное воздействие ионов тяжелых металлов с породного отвала на водные объекты.

Определение объема ущерба, нанесенного водному объекту в результате сброса загрязняющих веществ из сточных и/или дренажных вод породным отвалом осуществляется с использованием следующей формулы [127]:

$$Y = K_{\text{вг}} * K_{\text{в}} * K_{\text{ин}} * \sum_{i=1}^n H_i * M_i * K_{\text{из}}, \quad (29)$$

где:  $Y$  – размер вреда, тыс. руб.;  $K_{\text{вг}}$  – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года;  $K_{\text{в}}$  – коэффициент, учитывающий экологические факторы, состояние водных объектов;  $K_{\text{ин}}$  – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;  $H_i$  – таксы для исчисления размера вреда от сброса ионов тяжелых металлов в водные объекты, тыс. руб./т;  $M_i$  – масса сброшенных ионов тяжелых металлов (определяется по каждому загрязняющему веществу), т;  $K_{\text{из}}$  – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия ионов тяжелых металлов на водный объект.

Для определения массы сброшенного ионов тяжелых металлов ( $M_i$ ) используют следующую формулу:

$$M_i = Q * (C_{\text{фи}} - C_{\text{ди}}) * T * 10^{-6} \quad (30)$$

где:  $M_i$  – масса сброшенного иона тяжелого металла, т;  $i$  – ион тяжелого металла, по которому исчисляется размер вреда;  $Q$  – расход сточных вод и (или) загрязненных дренажных вод, с превышением содержания  $i$ -го иона тяжелого металла определяется по приборам учета, а при их отсутствии – расчетным путем в соответствии с методами расчета объема сброса сточных вод и их характеристик, м<sup>3</sup>/час;  $C_{\text{фи}}$  – средняя фактическая за период сброса концентрация  $i$ -го иона тяжелого металла в сточных водах и (или) загрязненных

дренажных (в том числе шахтных, рудничных) водах, определяемая по результатам анализов аккредитованной лаборатории как средняя арифметическая из общего количества результатов анализов (не менее 3-х) за период времени  $T$ , мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{Di}$  - допустимая концентрация  $i$ -го иона тяжелого металла в пределах норматива допустимого (предельно допустимого) сброса или лимита сброса при его наличии на период проведения мероприятий по снижению сбросов ионов тяжелых металлов в водные объекты, мг/дм<sup>3</sup>;  $T$  - продолжительность сброса сточных вод и загрязненных дренажных (в том числе шахтных, рудничных) вод с повышенным содержанием ионов тяжелых металлов, определяемая с момента обнаружения сброса и до его прекращения, час;

При оценке экологического ущерба после проведения консервации породного отвала сорбентами-мелиорантами необходимо учитывать снижение поступления ионов тяжелых металлов в водные объекты. Для этого в формуле 29 коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года ( $K_{вг}$ ), необходимо скорректировать в зависимости от уровня обводнения породного отвала: ноябрь, декабрь, январь, февраль, – 1,05; март, апрель, май – 1,25; июнь, июль, август, сентябрь, октябрь – 1,10.

Коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года, принимается в зависимости от объема обводнения породного отвала, соответственно, в весенние месяцы объем обводнения будет максимальный ( $K_{вг} - 1,25$ ) летние и осенние месяцы средний ( $K_{вг} - 1,10$ ), в зимние месяцы минимальный ( $K_{вг} - 1,05$ ).

Коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года будет изменяться в зависимости от схемы территории Российской Федерации на которой число дней со средней суточной температурой воздуха ниже 0°С и климатического районирования. Соответственно в районах Российской Федерации, где средняя суточная температура воздуха ниже 0°С до 120 дней коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года будет максимальный

для февраля и марта; средний для апреля, мая, сентября и октября; минимальный для июня, июля, ноября, декабря и января. В районах Российской Федерации, где средняя суточная температура воздуха ниже 0°C более 210 дней коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года будет максимальный для мая и июня; средний для июля, августа и сентября; минимальный для – октября, ноября, декабря, января, февраля, марта и апреля.

Расчет размеров вреда, причиненного водным объектам расположенных в непосредственной близости к породному отвалу Левихинского рудника, проведен в таблице 4.10

Таблица 4.10. Исходные данные для расчета размеров вреда, причиненного водным объектам расположенных в непосредственной близости к породному отвалу Левихинского рудника.

№ п/п	Показатель	Ионы ТМ	Индекс	Единицы измерения	Значение
1.	Коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года	-	<i>K<sub>вг</sub></i>	-	1,25
2.	Коэффициент, учитывающий экологические факторы, состояние водных объектов (Бассейн р.Оби)	-	<i>K<sub>в</sub></i>	-	1,22
3.	Коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития	-	<i>K<sub>ин</sub></i>	-	2,468
4.	Таксы для исчисления размера вреда от сброса ионов тяжелых металлов в водные объекты	Al	<i>Н<sub>и</sub></i>	тыс. руб./т	670
		Ba			280
		Co			280
		Cu			12100
		Fe			280
		Mg			5
		Mn			280
5.	Масса сброшенного ионов тяжелых металлов (определяется по каждому загрязняющему веществу)	Al	<i>М<sub>и</sub></i>	т	0,45
		Ba			0,00025
		Co			0,0012
		Cu			0,06257
		Fe			1,85
		Mg			0,005
		Mn			0,022
		Zn			0,035
6.	Коэффициент, учитывающий ин-	Al	<i>K<sub>из</sub></i>	-	5

	тенсивность негативного воздействия ионов тяжелых металлов на водный объект.	Ba			1
		Co			1
		Cu			5
		Fe			5
		Mg			1
		Mn			5
		Zn			5
7.	Расход сточных вод	-	$Q$	м <sup>3</sup> /час	60,5
8.	Средняя фактическая за период сброса концентрация иона тяжелого металла вещества в сточных водах	Al	$C_{\phi i}$	мг/дм <sup>3</sup>	312
		Ba			0,914
		Co			0,89
		Cu			43,1
		Fe			1272
		Mg			250
		Mn			15,5
Zn	24,2				
9.	Допустимая концентрация иона тяжелого металла в пределах норматива допустимого (предельно допустимого) сброса в водные объекты	Al	$C_{\partial i}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,04
		Ba			0,74
		Co			0,01
		Cu			0,001
		Fe			0,1
		Mg			40,0
		Mn			0,01
Zn	0,01				
10.	Продолжительность сброса сточных вод и загрязненных дренажных вод с повышенным содержанием ионов тяжелых металлов	-	$T$	час	24
11.	Количество рабочих дней в году	-	$n$	сутки	365

Определение объема ущерба, нанесенного водному объекту в результате сброса загрязняющих веществ из сточных и/или дренажных вод породным отвалом Левихинского рудника, Свердловская область представлена в таблице 4.11.

Таблица 4.11. Ущерб нанесенный водным объектам в результате сброса ионов тяжелых металлов с породного отвала Левихинского рудника, Свердловская область

№ п/п	Ионы тяжелых металлов	Ущерб, тыс. руб/год
1.	Al	2 070 928,88
2.	Ba	96,16
3.	Co	187,0
4.	Cu	5 199 581,95
5.	Fe	3 557 983,5
6.	Mg	34,34

7.	Mn	42 311,5
8.	Zn	67 313,77
9.	<b>Итого:</b>	<b>10 938 437,1</b>

Таким образом, на основании выполненного расчета выявлено, что размер экономического ущерба в результате сброса ионов тяжелых металлов с породного отвала Левихинского рудника составляет 10 938,4 тыс. руб. в год.

Рассчитанный размер экономического ущерба является частью от общего экономического ущерба от негативного воздействия породного отвала Левихинского рудника. Размер экономического ущерба от породного отвала представляет собой сложную и многогранную проблему, затрагивающую не только непосредственно затронутые виды деятельности, но и долгосрочные последствия для экосистем и местного населения. Необходимо учитывать и затраты возникающие вследствие ухудшения качества жизни местного населения, потери сельскохозяйственных угодий, уменьшением туристической привлекательности региона, снижение популяций фауны и т.д.

Экономическая оценка ущерба требует комплексного подхода, включающего как количественные, так и качественные методы анализа, что не является задачей диссертационного исследования.

Производство сорбентов-мелиорантов на основе торфа и осадков водоподготовки для сорбент-ориентированной метода консервации породного отвала аналогичны производству комбикормов и древесных пеллет.

Производственная линия включает в себя:

- дробление и дозирование;
- гранулирование;
- фасовка;
- транспортировочное оборудование.

Исходные данные для экономических затрат на производство сорбентов-мелиорантов на основе торфа и осадков водоподготовки для сорбент-

ориентированной метода консервации породного отвала приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12. Исходные данные для расчета экономических затрат на производство сорбента-мелиоранта на основе торфа и осадков водоподготовки

КИ

№ п/п	Наименование показателя	Ед. измерения	Значение
1.	Производительность	т/ч	до 15
2.	Установленная мощность	кВт	135
3.	Удельные энергозатраты	кВт·ч/т	9
4.	Балансовая стоимость	тыс.руб.	3 500,00
5.	Обслуживающий персонал	чел	5
6.	Цена 1 кВт·ч электроэнергии	руб.	7,08
7.	Нормативная годовая загрузка	ч	3 600
8.	Годовая выработка сорбента-мелиоранта	т	54 000

В таблице 4.13. приведены экономические затраты на производство сорбента-мелиоранта на основе торфа и осадков водоподготовки для сорбент-ориентированной метода консервации породного отвала.

Таблица 4.13. Экономические затраты на производство сорбента-мелиоранта на основе торфа и осадков водоподготовки

№ п/п	Наименование показателя	Ед. измерения	Значение
1.	Затраты на заработную плату	руб./т	144,4
2.	Затраты на электроэнергию	руб./т	955,8
3.	Затраты на ТО и текущий ремонт	руб./т	50
4.	Затраты на амортизацию	тыс. руб.	58,3
5.	Затраты на компоненты сорбента-мелиоранта	руб./т	1000,00
6.	Затраты на транспортировку	руб./т	2,1
7.	Затраты на аренду помещения	руб./т	111,1
8.	Прочие расходы	руб./т	38,24
9.	Прямые эксплуатационные затраты	руб./т	2359,94
10.	Прочие непредвиденные расходы	руб./т	150

Анализ данных результата экономических затрат производства сорбента-мелиоранта на основе торфа и осадков водоподготовки показывает, что себестоимость сорбента мелиоранта в среднем составляет 2 400,00 – 2 900,00

рублей за тонну готовой продукции. На себестоимость готовой продукции будут влиять тип и качество торфа, процентное соотношение пропорции компонентов (торф-осадки водоподготовки) в сорбенте-мелиоранте, инфляция и другие экономические факторы.

В таблице 4.14. приведены расчет стоимости консервации породного отвала Левихинского рудника сорбент-ориентированным методом

Таблица 4.14. Исходные данные для расчета стоимости консервации породного отвала Левихинского рудника сорбентом-мелиорантом на основе торф-осадки водоподготовки

№ п/п	Наименование показателя	Сорбент-мелиорант	Ед. измерения	Значение
1.	Объем породного отвала	-	га	30
2.	Насыпной слой сорбента-мелиоранта	торф – осадки водоподготовки	м	0,5
3.	Средняя насыпная плотность сорбента-мелиоранта в зависимости от пропорции	торф – осадки водоподготовки (пропорции, масс. % – 20/80)	кг/м <sup>2</sup>	364
		торф – осадки водоподготовки (пропорции, масс. % – 40/60)		406
		торф – осадки водоподготовки (пропорции, масс. % – 60/40)		434
4.	Средняя себестоимость сорбента-мелиоранта	торф – осадки водоподготовки (пропорции, масс. % – 20/80)	руб/т	2 400
		торф – осадки водоподготовки (пропорции, масс. % – 40/60)		2 650
		торф – осадки водоподготовки (пропорции, масс. % – 60/40)		2 900
5.	Средняя масса сорбента-мелиоранта	торф – осадки водоподготовки (пропорции, масс. % – 20/80)	т/га	1 820
		торф – осадки во-		2 030

		доподготовки (пропорции, масс. % – 40/60)		
		торф – осадки во- доподготовки (пропорции, масс. % – 60/40)		2 170
6.	Масса травосмеси (многолетние бобовые травы - люцерна)	-	кг/га	20
7.	Средняя стоимость тра- восмеси (многолетние бобовые травы - люцерна)	-	тыс.руб/га	45
8.	Средняя стоимость тех- нического этапа консер- вации породного отвала	-	тыс.руб/га	1 300

Стоимость консервации породного отвала Левихинского рудника, площадь которого составляет 30 гектар (суммарно 11 отвалов), составляет не менее 169 000,00 тыс. рублей при использовании сорбента-мелиоранта торф – осадки водоподготовки (пропорции, масс. % – 60/40).



### 4.3. Выводы по главе 4

1. Породные отвалы оказывают существенное негативное влияние на состояние окружающей среды. Уровень нарушения экосистем от воздействия породного отвала определяется экологическими зонами, которые окружает источник воздействия. Экологическая зона воздействия распространяется до 60 км.

2. Миграция ионов тяжелых металлов с породного отвала осуществляется в поверхностные и подземные водоемы, значительно увеличиваются в условиях сильных дождей и периода таяния снега.

3. Структура экономического ущерба от воздействия породного отвала включает в себя ухудшение здоровья населения, разрушение материальных ценностей и недополучение продукции, изъятие сельскохозяйственных площадей, кроме того недополученные доходы отражаются на натуральном ущербе.

4. Размер экономического ущерба в результате сброса ионов тяжелых металлов в поверхностные водоемы с породного отвала Левихинского рудника составляет 10 938,4 тыс. руб. в год.

5. Себестоимость производства сорбента-мелиоранта на основе торфа и осадков водоподготовки в среднем составляет 2 400,00 – 2 900,00 рублей за тонну готовой продукции в зависимости от типа и качества торфа, процентного соотношения в сорбенте-мелиоранте пропорции компонентов (торф-осадки водоподготовки), инфляция и другие экономические факторы.

6. Себестоимость консервации породного отвала сорбент-ориентированным методом составляет не менее 5 633 тыс. рублей за гектар.

### **Рекомендации и дальнейшие перспективы разработки темы.**

Исследование сорбент-ориентированного метода консервации породного отвала перспективны для ликвидации объектов накопленного экологического вреда. Наиболее перспективные территории Российской Федерации для применения технологии консервации породного отвала сорбентами-мелиорнатами являются:

1. Имеющие среднесуточную температуру воздуха ниже 0°C не менее 210 дней в году.
2. Имеющие среднюю годовую разность осадков и испаряемости не менее 200 мм.
3. Имеющие суммарную солнечную радиацию не менее 2700 МДж/м<sup>2</sup> в год.

Использование осадков водоподготовки в составе сорбента-мелиорната позволит утилизировать отходы производства в целях рекультивации нарушенных земель.

Комиссия предприятия ООО «ЭкоИнноватор» отмечает целесообразность использования предлагаемых технологических решений при очистке наземных и водных экосистем загрязненных ионами тяжелых металлов. Результаты работы могут быть использованы для предотвращения вымывания тяжелых металлов в грунтовые воды и поверхностные водоемы, а также улучшению физических и химических свойств почвы, способствуя восстановлению растительного покрова. Предложенный автором метод, за счет использования доступных материалов (торф, осадки водоподготовки, оксид кальция) и относительно простой геотехнологии, является экономически целесообразным и может быть успешно применен для консервации различных типов породных отвалов, загрязненных тяжелыми металлами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Представленная диссертация на тему «**Обоснование технологии консервации породных отвалов сорбент-ориентированным методом**» является научно-квалификационной работой, в которой на основании теоретических и экспериментальных исследований изложены новые научно-обоснованные технологические решения по консервации породных отвалов сорбент-ориентированным методом, имеющее существенное значение для развития страны.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Сорбент-ориентированный метод восстановления нарушенных земель - в сравнении с биоремедиационным - является наиболее перспективным решением консервации породного отвала.

2. Химический состав органической части торфа определяется химическим составом участвующих в образовании торфа растений, играет важную роль в сорбции тяжелых металлов путем связывания и нейтрализации ионов тяжелых металлов в течение 48 ч.

3. Использование торфа и осадков водоподготовки в составе композитного сорбента-мелиоранта торф – осадки водоподготовки, в пропорциях – 20/80, 40/60, 60/40 (масс, %) обеспечивает сорбцию не менее 98 % ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , не менее 49 % ионов  $\text{Pb}^{2+}$ , не менее 59 % ионов  $\text{As}^{3+}$ .

4. Эффективность сорбента-мелиоранта на основе торфа и осадков водоподготовки заключается в сорбции ионов тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$  при комнатной температуре в течение 60 минут. Содержание ионов  $\text{Cu}^{2+}$  с концентрацией 5 ПДК уменьшается в 3 раза, содержание ионов  $\text{Pb}^{2+}$  с концентрацией 5 ПДК в 4 раза, содержание ионов  $\text{As}^{3+}$  с концентрацией 5 ПДК в 10 раз. Полная сорбция ионов  $\text{Cu}^{2+}$  происходит через 48 ч, ионов  $\text{Pb}^{2+}$  через 24 ч, ионов  $\text{As}^{3+}$  через 5 ч.

5. Включение в состав сорбента-мелиоранта  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на 17 % увеличивает сорбцию ионов  $\text{As}^{3+}$ .

6. Технология консервации породного отвала сорбент-ориентированным методом за счет сорбции ионов тяжелых металлов эффективна при условии обводнения, положительных температур и рыхления верхнего слоя породного отвала.

7. Для сорбции большого числа ионов тяжелых металлов торф верховой в качестве компонента сорбента-мелиоранта, в среднем, на 18 % эффективнее торфа низинного.

8. Целесообразно комбинированное использование осадков водоподготовки и торфа в составе композиционного сорбента-мелиоранта в разных пропорциях - при увеличении осадков водоподготовки в пропорции увеличиваются сорбционные свойства, но снижаются мелиоративные свойства сорбента.

9. Для снижения десорбции ионов тяжелых металлов целесообразно использовать оксид кальция с целью снижения кислотности среды.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голик В.И., Дзапаров В.Х., Лискова М.Ю., Масленников С.А. Минимизация риска загрязнения селитебных зон пылью при открытой добыче руд // Безопасность труда в промышленности. 2024. № 1. С. 56-60.
2. Strategy for environmental security of the Russian Federation for the period up to 2025, approved. Decree of the President of the Russian Federation on 19.04.2017 No. 176.
3. Golik V.I., Valiev N.G., Logachev A.V., Belodedov A.A., Maslennikov S.A. Calculating natural and man-made structures for underground ore mining // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2024. № 2. С. 9-17.
4. Захаров А.В., Гуман О.М., Макаров А.Б., Антонова И.А., Ли Т.И. Экологическое состояние окружающей среды отвалов черной металлургии (по результатам мониторинга Шлакового отвала НТМК) // Известия Уральского государственного горного университета. № 3(35), 2014. с. 51-56
5. Валиев Н.Г., Шнайдер И.В., Абдрахманов М.И., Самсонов В.И., Зудилин А.Э. Выбор источника упругих волн в задаче мониторинга состояния углепородного массива сейсмическим методом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 1-1. С. 179-192.
6. Валиев Н.Г., Голик В.И., Пропп В.Д., Болгова А.И., Овсянников М.С. Закономерности управления процессами охраны окружающей среды // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 11-1. С. 40-50.
7. Chiampo F., Zacchini M. ets. Environmental Restoration of Metal-Contaminated Soils // Appl. sci. 2021, 11.
8. Валиев Н.Г., Разоренов Ю.И., Голик В.И., **Лебзин М.С.** Комбинирование технологий выщелачивания с традиционными технологиями горного передела руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 4. С. 33-43.

9. Zhu J., Wang P., Lei M.-j. et al. Polyhydroxyl-aluminum pillaring improved adsorption capacities of  $Pb^{2+}$  and  $Cd^{2+}$  onto diatomite // J. Cent. South Univ. 2014. No. 21, pp. 2359–2365. URL; <https://doi.org/10.1007/s11771-014-2188-9>.
10. Yurak V.V., Usmanov A.I. Approaches to the restoration of lands disturbed by the mining and metallurgical complex // Sustainable development of mountain territories, 2023. Т. 15. № 4 (58). pp. 901-911.
11. Валиев Н.Г., **Лебзин М.С.**, Гутнов А.А., Тлехугов А.М., Илизаров Д.Л. К проблеме влияния рудничных стоков на экологию северного Кавказа // Известия Уральского государственного горного университета. 2024. № 2 (74). С. 142-148.
12. Singh A., Prasad S.M. Remediation of heavy metal contaminated ecosystem: an overview on technology advancement // Int. J. Environ. sci. Technol. 2015. No. 2, pp. 353–366. URL: <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0542-y>
13. Ignatyeva M., Yurak V., Pustokhina N. Recultivation of post-mining disturbed land: review of content and comparative law and feasibility study // Resources. 2020. Vol. 9. No. 6. Pp. 73. URL: DOI: 10.3390/RESOURCES9060073
14. Масленников Б.И., Матвеев Ю.Н., Богатиков В.Н., Стукалова Н.А. Особенности сорбционного процесса катионов поливалентных металлов в почвах. Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 3. С. 14-19.
15. Масленников Б.И. Физико-химические основы ионного обмена и сорбции катионов на торфе и гуминовых кислотах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Тверь, 1994
16. Гамаюнов Н.И., Масленников Б.И., Щульман Ю.А. Сорбционные свойства гуминовых кислот. Почвоведение. 1992. № 1. С. 113-116.
17. Marques, J.P.; Rodrigues, V.G.S.; Raimondi, I.M.; Lima, J.Z. Increase in Pb and Cd adsorption by the application of peat in a tropical soil // Water Air Soil Pollut. 2020, No. 231, pp. 1–21.
18. Yakonovskaya T.B., Zhigul'skaya A.I. Features of assessing the economic security of enterprises in the peat industry of the Tver region of Russia (in-

dustry review) // Mining sciences and technologies. 2021. V. 6. No. 1. pp. 5-15. URL: DOI: 10.17073/2500-0632-2021-1-5-15

19. Ignatieva M.N., Yurak V.V., Dushin A.V., Strovsky V.E. Technogenic mineral formations: problems of transition to a circular economy // Mining sciences and technologies. 2021. V. 6. No. 2. pp. 73-89. URL: DOI: 10.17073/2500-0632-2021-2-73-89

20. Apakashev R.A., Malyshev A.N., **Lebzin M.S.** Study of the physico-chemical properties of water treatment sludge for "green" soil utilization // Bulletin of the Ural State Mining University. 2022. No. 3 (67). pp. 117-124.

21. Валиев Н.Г., Пропп В.Д., Абрамкин Н.И., Камболов Д.А. Практика применения выщелачивания металлов из некондиционного сырья и отходов обогащения руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 12-1. С. 17-30.

22. Valiev N.G.O., **Lebzin M.S.**, Usmanov A.I., Zavyalov S.S. Use of peat as a heavy metal sorbent // Izvestija Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2023. № 1-3. pp. 137-146.

23. Томин М.Н. Инженерно-экологические свойства осадков водоподготовки как основа их использования при рекультивации нарушенных земель и обустройстве полигонов твердых отходов. Автореферат дис. ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.36. Екатеринбург, 2008. 21 с.

24. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Karginov K.G. Mining industry – the basis for sustainable development of north Ossetia – Alania // Sustainable development of mountain territories. 2017. Vol. 9. No. 2(32). pp. 163–172. URL: <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2017-9-2-163-171>

25. Валиев Н.Г.О., **Лебзин М.С.**, Усманов А.И., Завьялов С.С. Использование торфа в качестве сорбента тяжелых металлов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 3. С. 137-146.

26. Апакашев Р.А., Гуман О.М., Валиев Н.Г. Рекультивация нарушенных земель с использованием техногенных осадков водоподготовки. Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 2 (44). С. 229-236.

27. Бобров Д.В., Томин М.Н. Осадки водоподготовки и их использование для рекультивации нарушенных земель // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2011. № 8. С. 53-57.
28. Букин А.В., Моторин А.С., Игловиков А.В. Создание рекультивационной смеси на основе осадка водоподготовки Няганьской ГРЭС и торфа // Агропродовольственная политика России. 2016. № 12 (60). С. 70-75.
29. Ali H., Khan E. What are heavy metals? Long-standing controversy over the scientific use of the term 'heavy metals' – Proposal of a comprehensive definition // Toxicol. Environ. Chem. 2018, No.100, pp. 6–19.
30. Селезнев А.А., Климшин А.В. Тяжелые металлы в грунтах на территории г. Екатеринбурга // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. Вып. 1(57). С. 96-104.
31. Семенов А.И., Кокшаров А.В., Погодин Ю.И. Содержание тяжелых металлов в почве г. Челябинска // Медицина труда и экология человека. 2015. № 3. С. 184-191.
32. Писарева А.В., Белопухов С.Л., Савич В.И., Степанова Л.П., Гукалов В.В., Яковлева Е.В., Шайхиев И.Г. Миграция тяжелых металлов от очага загрязнения в зависимости от взаимосвязей в ландшафте // Вестник технологического университета. 2017. Т.20. № 6. С. 160-163.
33. Bou Kheir R., Greve M., Greve M., Peng Y. & Shomar B. A Comparative GIS tree–pollution analysis between arsenic, chromium, mercury, and uranium contents in soils of urban and industrial regions in Qatar // Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration. 2019. Vol. 4(10). No. 0099. URL: <https://doi.org/10.1007/s41207-019-0099-8>
34. Mikkonen H.G., Dasika G., Drake J.A., Wallis C.J., Clarke B.O., Reichman S.M. Evaluation of environmental and anthropogenic influences on ambient background metal and metalloid concentration in soil // Science of the total environment. 2018. Vol. 624. pp. 599-610.



35. Ali H., Khan E., Ilahi I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation // *J. Chem.* 2019, No. 6730305
36. Raffa C.M., Chiampo F., Shanthakumar S. Remediation of metal/metalloid-polluted soils: a short review // *Appl. Sci.* 2021, Vol. 11. No. 4134. URL: <https://doi.org/10.3390/app11094134>
37. Raymond A. Wuana, Felix E. Okieimen. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation // *International Scholarly Research Network.* 2011. Vol. 2011. No. 402647. URL: <https://doi.org/10.5402/2011/402647>
38. Subhajit Dutta, Mehali Mitra, Pu ja Agarwal, Kalyan Mahapatra, Sayanti De, Upasana Sett & Sujit Roy. Oxidative and genotoxic damages in plants in response to heavy metal stress and maintenance of genome stability // *Plant Signaling & Behavior.* 2018. Vol. 13. No. 8. URL: <https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1460048>
39. Kinuthia G.K., Ngure, V.; Beti D., Lugalia R., Wangila A., Kamau L. Levels of heavy metals in wastewater and soil samples from open drainage channels in Nairobi, Kenya: Community health implication // *Sci. Rep.* 2020, 10, 8434.
40. New York State. New York State Brownfield Cleanup Program Development of Soil Cleanup Objectives Technical Support Document; New York State Department of Environmental Conservation and New York State Department of Health: Albany, NY, USA, 2006.
41. Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 “Norme in materia ambientale”, Supplemento Ordinario alla “Gazzetta Ufficiale” n. 88 del 14 aprile 2006. URL: <https://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/06152dl.htm>
42. Government Decree on the Assessment of Soil Contamination and Remediation Needs 214/2007, 1 March 2007; Ministry of Environment: Helsinki, Finland, 2007; (the legally binding document is In Finnish or Swedish)

43. Carlon C. (Ed.) (2007). Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. European Commission, Joint Research Centre, Ispra, EUR 22805-EN, 306 pp.
44. Soil, Ground Water and Sediment Standards for Use under Part XV.1 of the Environmental Protection Act; Canadian Ministry of the Environment (CME): Toronto, ON, Canada, 15 April 2011.
45. He Z., Shentu J., Yang X., Baligar V.C., Zhang T., Stoffella P.J. Heavy metal contamination of soil: sources, indicators, and assessment // *J. Environ. Indic.* 2015, 9, pp. 17–18.
46. Касьяненко А.А. Контроль качества окружающей среды. М.: Российский университет дружбы народов, 1992. 136 с
47. Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. URL: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1990-26490> (accessed on 2 December 2020).
48. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
49. Hakanson, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // *Water res.* 1980, 14, pp. 975–1001.
50. Baran A., Wieczorek J., Mazurek R., Urba'nski K., Klimkowicz-Pawlas A. Potential ecological risk assessment and predicting zinc accumulations in soils. // *Environ. geochem. Health*, 2018, 40, pp. 435–450.
51. Wu Q., Leung J.Y.S., Geng X., Chen S., Huang X., Li H., Huang Z., Zhu L., Chen J., Lu Y. Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site // *Implications for dissemination of heavy metals. sci. Total Environment.* 2015, pp. 506–507, 217–225.
52. Pan X.-D., Wu P.-G., Jiang X.-G. Levels and potential health risk of heavy metals in marketed vegetables in Zhejiang // *China. sci. Rep.* 2016, No. 6, p. 20317.

53. Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е., Дмитрак Ю.В. Ликвидация накопленного экологического ущерба // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т.11, № 2(40). С. 238-248.
54. Грязнов О.Н. Инженерно-геологические условия Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2017. 240 с.
55. Селезнев А.А., Климшин А.В. Тяжелые металлы в грунтах на территории г. Екатеринбурга // Известия Уральского государственного горного университета. 2020. Вып. 1(57). С. 96-104.
56. Семенов А.И., Кокшаров А.В., Погодин Ю.И. Содержание тяжелых металлов в почве г. Челябинска // Медицина труда и экология человека. 2015. № 3. С. 184-191.
57. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: Изд-во ПГНИУ. 2016. 252 с.
58. Дрюпина Е.Ю., Эйрих А.Н., Эйрих С.С., Папина Т.С. Пространственно-временная динамика содержания загрязняющих веществ в коммунальных и смешанных сточных водах Барнаула // Известия Алтайского государственного университета. 2014. № 3-1(83). С. 182-187.
59. Писарева А.В., Белопухов С.Л., Савич В.И., Степанова Л.П., Гукалов В.В., Яковлева Е.В., Шайхиев И.Г. Миграция тяжелых металлов от очага загрязнения в зависимости от взаимосвязей в ландшафте // Вестник технологического университета. 2017. Т.20. № 6. С. 160-163.
60. Bou Kheir R., Greve M., Greve M., Peng Y. & Shomar B. A Comparative GIS tree-pollution analysis between arsenic, chromium, mercury, and uranium contents in soils of urban and industrial regions in Qatar // Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration. 2019. No. 4(10). URL: <https://doi.org/10.1007/s41207-019-0099-8>
61. Журавлева Н.В., Иваныкина О.В., Исмагилов З.Р., Потокина Р.Р. Содержание токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах

угольных месторождений Кемеровской области // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-техн. журнал). 2015. № 3. С.187-196.

62. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Поведение мышьяка в почвах, горных породах и подземных водах. Трансформация, адсорбция / десорбция, миграция: аналитический обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. 2011. 249 с.

63. Raymond A. Wuana, Felix E. Okieimen. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources. Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation // Inter-national Scholarly Research Network. 2011. Vol. 2011. No. 402647. URL: <https://doi.org/10.5402/2011/402647>

64. ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М: Изд-во стандартов. 1983.

65. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. Heavy Metal Toxicity and the Environment. In: Luch A. (Ed) Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. Experientia Supplementum. Springer, Basel. 2012. Vol. 3. pp. 133-164.

66. Янин Е.П. Ремедиация территорий, загрязненных химическими элементами: общие подходы, правовые аспекты, основные способы (зарубежный опыт) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2014. № 3. С. 3-105.

67. Khalid S., Shahid M., Niazi N.K., Murtaza B., Bibi I., Dumat C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils // Journal of Geochemical Exploration. 2016. Vol. 182. Part 2. pp. 247-268.

68. Копщик Г.Н., Копщик С.В., Ливанцова С.Ю., Смирнова И.Е. Ремедиация загрязненных тяжелыми металлами почв путем промывания // Экологический вестник Северного Кавказа. 2010. Т. 6. № 2. С. 26-30.

69. Chiang Y.W., Santos R.M., Ghyselbrecht K., Cappuyns V., Martens J.A., Swennen R., Van Gerven T., Meesschaert B. Strategic selection of an optimal sorbent mixture for in-situ remediation of heavy metal contaminated sedi-

ments: Framework and case study // *Journal of Environmental Management*. 2012. Vol. 105. pp. 1-11.

70. Галиулин Р.В., Галиулина Р.А., Кочуров Б.И. Фиторемедиация почв, загрязнённых тяжёлыми металлами // *Теоретическая и прикладная экология*. 2009. № 4. С. 71-75.

71. Nicolae Cioica, Cătălina Tudora, Dorin Iuga, György Deak, Monica Matei, Elena Mihaela Nagy, and Zoltan Gyorgy. A review on phytoremediation as an ecological method for in situ clean up of heavy metals contaminated soils // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 112. No. 03024. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911203024>

72. Лукин С.В., Селюкова С.В. Агроэкологическая оценка влияния органических удобрений на микроэлементный состав почв // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 12. С. 61-65.

73. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии. 2009. 96 с.

74. Fonseca B., Maio H., Quintelas C., Teixeira A., Tavares T. Retention of Cr(VI) and Pb(II) on a loamy sand soil. Kinetics, equilibria and breakthrough // *Chemical Engineering Journal*. 2009. Vol. 152. No. 1. pp. 212-219.

75. Fonseca B., Figueiredo H., Rodrigues J., Queiroz A., Tavares T. Mobility of Cr, Pb, Cd, Cu and Zn in a loamy sand soil: a comparative study // *Geoderma*. 2011. Vol. 164. No. 3-4. pp. 232-237.

76. Chalermyanont T., Arrykul S., Charoenthaisong N. Potential use of lateritic and marine clay soils as landfill liners to retain heavy metals // *Waste Management*. 2009. Vol. 29. No. 1. pp. 117-127.

77. Lin Z., Puls R.W. Adsorption, desorption and oxidation of arsenic affected by clay minerals and aging process // *Environmental Geology*. 2000. Vol. 39. No. 7. pp. 753-759.

78. Дмитриева Е.Д., Горячева А.А., Сяндюкова К.В., Музафаров Е.Н. Сорбционная способность природного и модифицированного монтмо-

риллонита по отношению к ионам меди в присутствии органических кислот // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16. № 6. С. 813-820.

79. Eloussaief M., Benzina M. Efficiency of natural and acid-activated clays in the removal of  $Pb^{2+}$  from aqueous solutions // Journal of Hazardous Materials. 2010. Vol. 178. No. 13. pp. 753-757.

80. Demirkiran A.R., Acemioglu B., Gonen T. Sorption of copper and nickel ions from solution by clay minerals // Oxidation Communications. 2016. Vol. 39. No. 1-II. pp. 817-829.

81. Akpomie K.G., Dawodu F.A., Adebowale K.O. Mechanism on the sorption of heavy metals from binary solution by a low cost montmorillonite and its desorption potential // Alexandria Engineering Journal. 2015. Vol. 54. No. 3. pp. 757-767.

82. Akpomie K.G., Dawodu F.A. Acidmodified montmorillonite for sorption of heavy metals from automobile effluent // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2016. No. 5. pp. 1-12.

83. Ogbu I.C., Akpomie K.G., Osunkunle A.A., Eze S.I. Sawdust-kaolinite composite as efficient sorbent for heavy metal ions // Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research. 2019. Vol. 54. No. 1. pp. 99-110.

84. Malandrino M., Abollino O., Buoso S., Giacomino A., La Gioia C., Mentasti E. Accumulation of heavy metals from contaminated soil to plants and evaluation of soil remediation by vermiculite // Chemosphere. 2011. Vol. 82. No. 2. pp. 169-178.

85. Sökand Ü., Kängsepp P., Kakum R., Tenno T., Mathiasson L., Höglund W. Selection of adsorbents for treatment of leachate: batch studies of simultaneous adsorption of heavy metals // Journal of Material Cycles and Waste Management. 2010. Vol. 12. pp. 57-65.

86. Никитина И.М. Разработка способа получения реагента на основе торфа для снижения содержания тяжелых металлов в сточных водах горных

предприятий. Дис. ... канд. техн. наук. Москва: ФГАОУ ВО «НИТУ МИ-СиС». 2015. 124 с.

87. Ivanov A.A., Yudina N.V., Savel'eva A.V. Sorption properties of modified peat with respect to petroleum and heavy metals // *Solid Fuel Chemistry*. 2011. Vol. 45. pp. 404-407.

88. Чиркова В.С., Собгайда Н.А., Рзазаде Ф.А. Сорбенты на основе отходов агропромышленного комплекса для очистки сточных вод // *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18. № 20. С. 263-266.

89. Лукашевич О.Д., Усова Н.Т. Сорбент из железистого шлама для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. № 1. С. 148-159.

90. Харлямов Д.А., Насыров И.А., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г. Адсорбция ионов меди, свинца и хрома на магнитном композиционном сорбционном материале // *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. № 12. С. 204-206.

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

92. Чиркова В.С., Собгайда Н.А., Шайхиева К.И. Оценка эффективности очистки сточных вод от ионов хрома (VI) отходами металлообработки предприятия // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 19. С. 226-229.

93. Ульянова В.В., Собгайда Н.А., Степанова С.В. Адсорбенты на основе отхода машиностроительного предприятия // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. Т. 15. № 22. С. 107-110.

94. Ofomaja A.E., Unuabonah E.I., Oladoja N.A. Competitive modeling for the biosorptive removal of copper and lead ions from aqueous solution by Man-

sonia wood sawdust // *Biore-source Technology*. 2010. Vol. 101. No. 11. pp. 3844-3852.

95. Karalić K., Lončarić Z., Popović B., Zebec V., Kerovec V. Liming effect on soil heavy metals availability // *Poljoprivreda*. 2013. Vol. 19. PP. 59-64.

96. Hecl J., Tóth S. Effect of fertilizers and sorbents applied to the soil on heavy metal transfer from the soil // *Electronic journal of Polish agricultural universities*. 2009. Vol. 12. No. 2. URL: <http://www.ejpau.media.pl/volume12/issue2/art-17.html>

97. Mahar A., Wang P., Li R.H., Zhang Z.Q. Immobilization of lead and cadmium in contaminated soil using Sorption of Heavy Metals on Clay Minerals and Oxides: A Review // *Pedosphere*. 2015. Vol. 25. No. 4. pp. 555-568.

98. Лащук В.В., Слуковская М.В., Кременецкая И.П., Мосендз И.А., Иванова Л.А. Применение отходов АО «Ковдорский ГОК» для мелиорации загрязненного почвенного слоя // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016. Т. 18. № 2. С. 746-751.

99. Слуковская М.В., Кременецкая И.П., Мосендз И.А., Дрогобужская С.В., Иванова Л.А. Ремедиация антропогенно нарушенных территорий с использованием серпентинсодержащих отходов // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2018. Т. 9. № 56. С. 45-51.

100. Turner T., Wheeler R., Stone A., Oliver I. Potential Alternative Reuse Pathways for Water Treatment Residuals: Remaining Barriers and Questions - a Review // *Water, Air, and Soil Pollution*. 2019. Vol. 230. No. 4272. URL: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4272-0>

101. Chiang Y.W., Ghyselbrecht K., Santos R.M., Martens J.A., Swennen R., Cappuyns V., Meesschaert B. Adsorption of multi-heavy metals onto water treatment residuals: sorption capacities and applications // *Chemical Engineering Journal*. 2012. Vol. 200. pp. 405-415.

102. Горячёв В.И., Яблонев А.Л., Щербакова Д.М. Конструкторско-технологическое обоснование производства тепличного грунта и гумусового



концентрата механическим обезвоживанием торфяного сырья. Труды Института. 2022. № 26 (79). С. 14-18.

103. В.И. Косов, Е.Т. Базин, И.И. Лиштван От физики торфа и торфяных залежей к биосферно-совместным технологиям освоения торфяных и сапропелевых месторождений. Материалы юбилейной научно-практической конференции «Торфяная отрасль и повышение эффективности использования энергобиоресурсов». - Тверь, 2000. - С. 37-41

104. Лиштван И.И. Исследование физико-химической природы торфа и процессов структурообразования в торфяных системах с целью регулирования их свойств: дис. ...д-ра техн. наук / Лиштван Иван Иванович. - Калинин, 1969. - 750 с.

105. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев А.А. Химия и физика торфа: учебное пособие для вузов . - М.: Недра, 1989. - 304 с.

106. Александров Б.М., Гревцев Н.В., Шампаров А.Г., Цейтлин Е.М. Проблемы охраны окружающей среды и рационального природопользования в условиях свердловской области. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 346-350.

107. Гревцев Н.В., Александров Б.М. Перспективы комплексного использования торфяных ресурсов Свердловской области. Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2003. № 3. С. 25.

108. Elkhatib E., Mahdy A., Sherif F., Hamadeen H. Evaluation of a novel water treatment residual nanoparticles as a sorbent for arsenic removal // Journal of Nanomaterials. 2015. Vol. 2015. No. 912942. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/912942>

109. Aponte H., Meli P., Butler B., Paolini J., Matus F., Merino K., Kornejo P., Kuzyakov Ya. Meta-analysis of heavy metal effects on soil enzyme activities // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 737. No. 139744. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139744>

110. Горбунов А.В. Разработка и обоснование технологии экструзионного брикетирования торфяного и техногенного сырья. Диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.13. Екатеринбург, 2013. 185 с.
111. Гревцев Н.В., Амдур А.М., Форшев А.А., Федоров С.А., Самигуллин И.Т. Исследование возможности использования торфа как компонента пылеугольного топлива в металлургических процессах // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2023. № 4. С. 93-103.
112. Медведев И.Ф., Дервягин С.С. Тяжелые металлы в экосистемах. Монография. Саратов, «Ракурс», 2017. 178 с.
113. Юрак В.В., Апакашев Р.А., **Лебзин М.С.**, Малышев А.Н. Композитные сорбенты из природного и техногенного сырья: оптимизация состава для рекультивации. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 12-1. С. 177-191.
114. Юрак В.В., Апакашев Р.А., **Лебзин М.С.**, Малышев А.Н. Оценка эффективности и экологичности сорбент-ориентированного метода восстановления загрязненных тяжелыми металлами и металлоидами почв. Горные науки и технологии. 2023. Т. 8. № 4. С. 327-340.
115. Апакашев Р.А., **Лебзин М.С.**, Юрак В.В., Малышев А.Н. Гибридные сорбенты - мелиоранты для рекультивации загрязненных мышьяком почв. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 11-1. С. 18-28.
116. Апакашев Р.А., Усманов С.Ф., **Лебзин М.С.**, Юрак В.В., Малышев А.Н. Адсорбция соединений хрома природными и авторскими сорбентами. Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2022. Т. 22. № 8. С. 157-162.
117. Валиев Н.Г.О., **Лебзин М.С.**, Завьялов С.С., Малышев А.Н. Исследование адсорбции ионов Cr композиционными сорбентами на основе природных материалов и осадков водоподготовки. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 4. С. 204-213.

118. Апакашев Р.А., Малышев А.Н., **Лебзин М.С.** Исследование физико-химических свойств осадков водоподготовки для "зеленой" почвенной утилизации. Известия Уральского государственного горного университета. 2022. № 3 (67). С. 117-124.

119. Юрак В.В., Апакашев Р.А., Валиев Н.Г., **Лебзин М.С.** Сорбент-ориентированный метод детоксикации почв от тяжелых металлов. Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13. № 1 (47). С. 135-150.

120. Апакашев Р.А., Валиев Н.Г.О., Усманов А.И., **Лебзин М.С.** Эффективность природных сорбентов при адсорбции ионов тяжелых металлов. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 4. С. 14-23.

121. Горлов Ю.В., Раева В.Б. Процессы открытых горных работ: методические указания к практическим занятиям, курсовому проектированию и самостоятельной работе студентов / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2017. 60 с.

122. Технологические схемы тушения породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик. Государственный Макеевский ордена октябрьской революции научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности МакНИИ. Макеевка—Донбасс. 1980. 85 с.

123. Воропанова Л.А., Пухова В.П. Сорбция ионов тяжелых металлов семенами бобовых культур // Вестник Владикавказского научного центра. 2014. № 1. Том 14. 57-61 с.

124. Ефимов В.И., Стась Г.В., Корчагина Т.В., Прохоров Д.О. Методические положения комплексной экологической оценки воздействия породных отвалов шахт на окружающую среду // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 3. С. 18-28.]

125. Методические рекомендации по составлению территориальных комплексных схем охраны природы области. Л.: ЛенНИИ градостроительства, 1986. 112 с.

126. Иванов А. Н. Методический инструментарий экономической оценки экологических последствий при освоении ресурсов недр. Автореферат дис. ... канд. экон. наук 08.00.05. Екатеринбург. 2020. 24 с.

127. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. 36 с.

128. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба. Причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. 1986 г. 95 с.

129. Балацкий О.Ф., Экономика чистого воздуха. Киев: Наукова думка, 1979. 296 с.

130. Хаустов А. П., Редина М. М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. – М.: Издательство «Дело», 2006 – 544с.

131. Юрак В.В. Теоретико-методологические основы оценки экосистемных услуг. Дис. д-ра экон. наук: 08.00.05. Екатеринбург. 2022. 398 с.

15.10.2024, 09:01

ИЗ №2819720

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 819 720** (13) **C1**

(51) МПК

[C09K 17/40 \(2006.01\)](#)[C09K 101/00 \(2006.01\)](#)[B01J 20/14 \(2006.01\)](#)[B01J 20/22 \(2006.01\)](#)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.05.2024)  
 Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 01.11.2024 по 31.10.2025. При  
 уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 01.11.2025 по 30.04.2026  
 размер пошлины увеличивается на 50%.

(52) СПК

**C09K 17/40 (2024.01); B01J 20/14 (2024.01); B01J 20/22 (2024.01)**(21)(22) Заявка: [2023128044](#), 31.10.2023(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
31.10.2023Дата регистрации:  
23.05.2024Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 31.10.2023(45) Опубликовано: [23.05.2024](#) Бюл. № **15**

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
 поиске: Р.А. Апакашев и др. Гибридные  
 сорбенты-мелноранты для рекультивации  
 загрязненных мышьяком почв, Горный  
 информационно-аналитический  
 бюллетень, 2022, N 11-1, стр. 18-28. RU  
 2790973 C1, 01.03.2023. RU 2471849 C1,  
 10.01.2013. RU 2774431 C1, 21.06.2022. CN  
 104119925 A, 29.10.2014. CN 111729932 A,  
 02.10.2020.

Адрес для переписки:  
 620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург,  
 ул. Куйбышева, 30, ФГБОУ ВО "УрГТУ",  
 Новиков Николай Валентинович

(72) Автор(ы):

Апакашев Рафил Абдрахманович (RU),  
 Лебзин Максим Сергеевич (RU),  
 Малышев Александр Николаевич (RU),  
 Усманов Альберт Исмаилович (RU),  
 Юрак Вера Васильевна (RU),  
 Завьялов Сергей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 образования "Уральский государственный  
 горный университет" (RU)

(54) Композиционный гранулированный сорбент на основе природных материалов,  
 обогащенный Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, для рекультивации земель, загрязненных As<sup>3+</sup>

(57) Реферат:

Изобретение относится к охране окружающей среды, техническое решение  
 которого относится к области получения композиций на основе материалов  
 природного растительного происхождения, может быть использовано для очистки  
 техногенных грунтов и почв от ионов мышьяка и тяжелых металлов. Изобретение  
 относится к композиционному гранулированному сорбенту на основе природных  
 материалов, обогащенному Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, для рекультивации земель, загрязненных As<sup>3+</sup>.

15.10.2024, 09:01

ИЗ №2774431

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 774 431** <sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
[C05F 11/02 \(2006.01\)](#)  
[C09K 17/40 \(2006.01\)](#)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса: 26.07.2024)  
Пошлина: Срок подачи ходатайства о восстановлении срока действия патента до 25.05.2027.

(52) СПК

**C05F 11/02 (2022.02); C09K 17/40 (2022.02)**(21)(22) Заявка: [2021134476](#), 25.11.2021(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.11.2021Дата регистрации:  
21.06.2022Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 25.11.2021(45) Опубликовано: [21.06.2022](#) Бюл. № [18](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2745456 C1, 25.03.2021. US 20110314882 A1, 29.12.2011. US 20130000370 A1, 03.01.2013. WO 2021122503 A1, 24.06.2021.

Адрес для переписки:  
620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург,  
ул. Куйбышева, 30, Уральский ГГУ,  
Чуркин Василий Алексеевич

(72) Автор(ы):

Усманов Альберт Исмагилович (RU),  
Апакшаев Рафаил Абдрахманович (RU),  
**Лебзин Максим** Сергеевич (RU),  
Юрак Вера Васильевна (RU),  
Душин Алексей Владимирович (RU),  
Завьялов Сергей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Уральский государственный  
горный университет" (RU)

(54) Торфяной гранулированный мелниорант для рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству. Торфяной гранулированный мелниорант для очистки земель от тяжелых металлов характеризуется тем, что содержит верховой нейтрализованный торф, диатомит и вермикулит, при следующем соотношении исходных компонентов в смеси, мас. %: торф - 60, диатомит - 30, вермикулит - 10, причем полученная смесь гранулируется, при этом гранулы соответствуют следующим характеристикам: насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup> - 600-640, удельная площадь поверхности, м<sup>2</sup>/кг - 0,7-0,75. Изобретение позволяет рекультивировать техногенные грунты урбанизированных, промышленных и сельскохозяйственных территорий, загрязненных преимущественно тяжелыми металлами, и улучшить агрофизические свойства почв. 2 з.п. ф-лы, 3 ил., 5 табл., 1

15.10.2024, 09:01

ИЗ №2796171

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 796 171** (13) **C1**

(51) МПК

[C02F 11/13 \(2019.01\)](#)[F26B 3/06 \(2006.01\)](#)[B09B 3/00 \(2006.01\)](#)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 20.05.2023)  
 Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 20.10.2023 по 19.10.2024. При  
 уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 20.10.2024 по 19.04.2025  
 размер пошлины увеличивается на 50%.

(52) СПК

**B08B 3/00 (2023.02); C05F 7/00 (2023.02); C02F 11/13 (2023.02); F26B 3/06 (2023.02)**(21)(22) Заявка: [2022127049](#), 19.10.2022(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
19.10.2022Дата регистрации:  
17.05.2023Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 19.10.2022(45) Опубликовано: [17.05.2023](#) Бюл. № 14(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 1225832 A1, 23.04.1986. RU  
2782605 C1, 31.10.2022. RU 2125548 C1,  
27.01.1999. RU 2421288 C1, 20.06.2011. RU  
75882 U1, 27.08.2008. US 4970806 A,  
20.11.1990. WO 1997001513 A1, 16.01.1997.Адрес для переписки:  
620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург,  
ул. Куйбышева, 30, Чуркин Василий  
Алексеевич

(72) Автор(ы):

Апакашев Рафил Абдрахманович (RU),  
Давыдов Станислав Яковлевич (RU),  
Бакалейщик Артём Михайлович (RU),  
Лебзин Максим Сергеевич (RU),  
Мальшев Александр Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Уральский государственный  
горный университет" (RU)

(54) Способ утилизации осадков сооружений водоподготовки

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству и стройиндустрии и может быть использовано для утилизации осадков водоподготовки фильтровальных станций и получения как гуминового удобрения, имеющего применение в качестве сорбента-мелиоранта для рекультивации загрязненных тяжелыми металлами нарушенных земель (восстановление горных выработок, выполаживание откосов полигонов, планировка золоотвалов, шлаковых отвалов), так и для получения материала для стройиндустрии (производство цемента, кирпичей, монолитных блоков). Способ приготовления смеси водопроводного осадка с фрезерным торфом, при котором создают кипящий слой смеси с высотой  $H$ ; осадки водоподготовки фильтровальных станций смешивают с фрезерным торфом в соотношении от 1,5:1 до 4:1; ограничивают верхний уровень кипящего слоя диспергирующей решеткой,



15.10.2024, 09:02

ИЗ №2745456

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 745 456** (13) **C1**(51) МПК  
[C09K 17/40 \(2006.01\)](#)  
[C05F 11/02 \(2006.01\)](#)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса:  
22.04.2023)  
Пошлина: Срок подачи ходатайства о восстановлении срока действия патента до 03.03.2026.

(52) СПК

**C09K 17/40 (2021.02); C05F 11/02 (2021.02)**(21)(22) Заявка: [2020129211](#), 03.09.2020(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
03.09.2020Дата регистрации:  
25.03.2021Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 03.09.2020(45) Опубликовано: [25.03.2021](#) Бюл. № [2](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2711925 C1, 23.01.2020. RU  
2597172 C2, 10.09.2016. RU 2649634 C1,  
04.04.2018. UA 73659 U, 10.10.2012. KR  
100787020 B1, 18.12.2007. CN 106590679 A,  
26.04.2017.Адрес для переписки:  
620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург,  
ул. Куйбышева, 30, Усманов Альберт  
Исмаглович

(72) Автор(ы):

**Юрак Вера Васильевна (RU),  
Душин Алексей Владимирович (RU),  
Апакашев Рафил Абдрахманович (RU),  
Усманов Альберт Исмаглович (RU),  
Лебзин Максим Сергеевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Уральский государственный  
горный университет» (RU)**

(54) Торфяной мелниорант для рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами

(57) Реферат:

Изобретение относится к области получения композиций на основе материалов природного растительного происхождения и может быть использовано для очистки земель от тяжелых металлов. Торфяной мелниорант для очистки почв от тяжелых металлов, фракцией 0-10 мм, содержит торф верховой нейтрализованный, диатомит и вермикулит при следующем соотношении, мас. %: торф 60, диатомит 30, вермикулит 10. Изобретение обеспечивает очистку земель путем снижения загрязнения тяжелыми металлами и улучшение агрофизических свойств почв за счет использования композиции на основе материалов природного растительного происхождения. 2 табл., 1 ил.



15.10.2024, 09:02

ИЗ №2826149

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 826 149** (13) **C1**

(51) МПК  
[C09K 17/40 \(2006.01\)](#)  
[C09K 17/50 \(2006.01\)](#)

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 10.09.2024)  
Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 07.02.2025 по 06.02.2026. При  
уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 07.02.2026 по 06.08.2026  
размер пошлины увеличивается на 50%.

(52) СПК

**C09K 17/40 (2024.01); C09K 17/50 (2024.01)**(21)(22) Заявка: [2024102884](#), 06.02.2024(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.02.2024Дата регистрации:  
04.09.2024Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 06.02.2024(45) Опубликовано: [04.09.2024](#) Бюл. № [25](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2537178 C2, 27.12.2014. RU  
2766361 C1, 15.03.2022. RU 2557618 C2,  
27.07.2015. EA 31039 B1, 30.11.2018. WO  
2002081593 A1, 17.10.2002. АНТОНИНОВА  
Н.Ю., УСМАНОВ А.И., СОБЕНИН А.В и  
др. "Исследование влияния торфо-  
двухкомпонентного мелноранта на  
формирование устойчивого травяного  
покрова при рекультивации нарушенных  
земель", Горный

информационно-аналитический бюллетень,  
Екатеринбург, 2022, N5, с.131-141; DOI:  
10.25018/0236\_1493\_2022\_5\_0\_131.

Адрес для переписки:  
620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург,  
ул. Куйбышева, 30, ФГБОУ ВО  
"Уральский государственный горный  
университет", Новиков Николай  
Валентинович

(72) Автор(ы):

Галактонова Людмила Вячеславовна  
(RU),  
Терехова Надежда Алексеевна (RU),  
Холодильникова Татьяна Николаевна (RU),  
Веденева Наталья Георгиевна (RU),  
Лебедев Святослав Валерьевич (RU),  
Юрак Вера Васильевна (RU),  
Душин Алексей Владимирович (RU),  
**Лебзин Максим Сергеевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Уральский государственный  
горный университет" (RU)

(54) Мелнорант для почв земель сельскохозяйственного назначения

(57) Реферат:

15.10.2024, 09:07

БД №2024622055

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU

**2024622055**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ**

Номер регистрации (свидетельства): <a href="#">2024622055</a> Дата регистрации: 16.05.2024 Номер и дата поступления заявки: 2024621744 06.05.2024 Дата публикации и номер бюллетеня: <a href="#">16.05.2024</a> Бюл. № 5 Контактные реквизиты: нет	Авторы: <b>Лебзин Максим Сергеевич (RU),</b> <b>Егошина Ольга Сергеевна (RU),</b> <b>Александров Борис Михайлович (RU)</b> Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет» (RU)
--	--

Название базы данных:

Исходная база данных для комплексной оценки запасов торфа по категориям сырья с учетом QR-кодов и оцифровывания генетической классификации видов торфа

Реферат:

База данных предназначена для оптимизации выбора направлений использования торфяного месторождения с учетом требований к качественным характеристикам категорий торфяного сырья. По каждому виду торфа представлена информация, включающая: числовой код категории торфяного сырья, QR-код категории торфяного сырья, вид торфа, общетехнические свойства, физические свойства, элементный состав, групповой состав органической массы, состав зольной части торфа, содержание микроэлементов. Может служить основой для кодировки других веществ с применением QR-кодов для автоматизации обработки исходной геологической информации. Функциональные возможности позволяют реализовать экономически целесообразный прогноз организации производства с учетом разных направлений использования торфа на конкретных месторождениях. QR-коды могут быть использованы при маркировке торфяного сырья. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК. ОС: Windows 7/8/10/11, Windows Server 2012/2016/2019; Linux; MacOS.

Вид и версия системы управления базой данных: Excel

Объем базы данных: 916 КБ



СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ «ПРИБОР-ЭКСПЕРТ»  
Per. № РОСС RU.31578.04ОЛН0 от 16.11.2016 г.



## СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ РОСС RU.НЕ06.Н08673

Срок действия с 26.06.2023 по 25.06.2026

№ 0030678

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ RA.RU.11HE06

Орган по сертификации продукции ООО "Эксперт-С". Адрес: 300045, РОССИЯ, Тульская обл, Тула г, Новомосковское ш, дом 54, помещение 3, 2 этаж, помещение 14, Телефон 8-487-274-0239, адрес электронной почты: s.eksp@yandex.ru

**ПРОДУКЦИЯ** Торфяной мелиорант для рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами. Серийный выпуск.

код ОК  
23.99.19.190

**СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ**

ТУ 23.99.19-001-02069237-2023 "Торфяной мелиорант для рекультивации земель, загрязненных тяжелыми металлами. Технические условия"

код ТН ВЭД

**ИЗГОТОВИТЕЛЬ** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет». ОГРН: 1036603993777, ИНН: 6661001004, КПП: 667101001. Адрес: 620144, РОССИЯ, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д.3, телефон: +7 (343) 283-06-06, адрес электронной почты: isdim96@gmail.com.

**СЕРТИФИКАТ ВЫДАН** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет». ОГРН: 1036603993777, ИНН: 6661001004, КПП: 667101001. Адрес: 620144, РОССИЯ, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д.3, телефон: +7 (343) 283-06-06, адрес электронной почты: isdim96@gmail.com.

**НА ОСНОВАНИИ**

Протокол испытаний № 001/R-26/06/23 от 26.06.2023 года, выданный Испытательной лабораторией «Гранум» (аттестат РОСС RU.31578.04ОЛН0.ИЛ31)



**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Схема сертификации: 1с



Руководитель органа

*Бог*  
подпись

А.В. Босик

инициалы, фамилия

Эксперт

*То*  
подпись

А.А. Белянин

инициалы, фамилия

Сертификат не применяется при обязательной сертификации



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«Уральский государственный горный университет»**  
**(ФГБОУ ВО «УГГУ»)**

---

Куйбышева ул., д.30, Екатеринбург, 620144, ГСП. Тел./факс:(343)257-25-47/ 251-48-38  
E-mail:office@ursmu.ru,http://www.ursmu.ru  
ОКПО 02069237, ОГРН 1036603993777, ИНН/КПП 6661001004/667101001

**Акт**

о внедрении научных и практических результатов научных исследований младшего научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории «Рекультивация нарушенных земель и техногенных объектов» Лебзина М.С. на тему **«Обоснование технологии консервации породных отвалов сорбент-ориентированным методом».**

Научные и практические результаты научной работы Лебзина М.С. внедрены ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» в учебный процесс при подготовке специалистов по специальности 20.02.01 «Рациональное использование природохозяйственных комплексов» по дисциплинам **«Промышленная экология и промышленная радиозэкология», «Природопользование и охрана окружающей среды».**

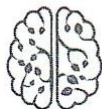
Проректор по учебной работе

25.12.2024 г.



В.В. Зубов





**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«ЭКОИННОВАТОР»**

620110, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д. 58  
Тел.: +7-963-271-95-18, e-mail: ecoinnovator@gmail.com  
<http://ecoinnovator.net>, ОКПО 29698435, ОГРН 1186658047542  
ИНН/КПП 6679117345/667901001  
Исх. № 1-1/А от 18.02.2025  
Вх. № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**АКТ**

**о внедрении результатов диссертационной работы**

Выдан Лебзину Максиму Сергеевичу - младшему научному сотруднику научно-исследовательской лаборатории «Рекультивация нарушенных земель и техногенных объектов» ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

Настоящим актом удостоверяется, что результаты диссертационной работы Лебзина М.С. по теме: «Обоснование технологии консервации породных отвалов сорбент-ориентированным методом», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, были вынесены на рассмотрение комиссии Общества с ограниченной ответственностью «ЭкоИнноватор»

Комиссией в составе:

**Усманов Альберт Исмагилович** – председатель комиссии, генеральный директор ООО «ЭкоИнноватор»;

**Собенин Артем Вячеславович** – инженер-исследователь ООО «ЭкоИнноватор».

Рассмотрев результаты диссертационной работы, а именно:

1. Сорбент-ориентированный метод восстановления нарушенных земель в сравнении с биоремедиационным, является наиболее перспективным решением консервации породного отвала.
2. Химический состав органической части торфа определяется химическим составом участвующих в образовании торфа растений, играет важную роль в сорбции тяжелых металлов путем связывания и нейтрализации ионов тяжелых металлов в течение 48 ч.
3. Использование торфа и осадков водоподготовки в составе композитного сорбента-мелиоранта торф – осадки водоподготовки, в пропорциях – 20/80, 40/60, 60/40 (масс. %) обеспечивает сорбцию не менее 98 % ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , не менее 49 % ионов  $\text{Pb}^{2+}$ , не менее чем на 59 % ионов  $\text{As}^{3+}$ .
4. Эффективность сорбента-мелиоранта на основе торфа и осадков водоподготовки заключается в сорбции ионов тяжелых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+}$  при комнатной температуре в течение 60 минут. Содержание ионов  $\text{Cu}^{2+}$  с концентрацией 5 ПДК уменьшается в 3 раза, содержание ионов  $\text{Pb}^{2+}$  с концентрацией 5 ПДК в 4 раза, содержание

ионов  $As^{3+}$  с концентрацией 5 ПДК в 10 раз для. Полная сорбция ионов  $Cu^{2+}$  происходит через 48 ч, ионов  $Pb^{2+}$  через 24 ч, ионов  $As^{3+}$  через 5 ч.

5. Включение в состав сорбента-мелиоранта  $Fe_2O_3$  на 17 % увеличивает сорбцию ионов  $As^{3+}$ .

6. Технология консервации породного отвала сорбент-ориентированным методом за счет сорбции ионов тяжелых металлов эффективна при условии обводнения, положительных температур и рыхления верхнего слоя породного отвала.

7. Для сорбции большого числа ионов тяжелых металлов торф верховой в качестве компонента сорбента-мелиоранта, в среднем, на 18 % эффективнее торфа низинного.

8. Целесообразно комбинированное использование осадков водоподготовки и торфа в составе композиционного сорбента-мелиоранта в разных пропорциях - при увеличении осадков водоподготовки в пропорции увеличиваются сорбционные свойства, но снижаются мелиоративные свойства сорбента.

9. Для снижения десорбции ионов тяжелых металлов целесообразно использовать оксид кальция с целью снижения кислотности среды.

**Решили:**

Практический эффект от внедрения результатов исследования Лебзина М.С. заключается в создании эффективной и экономически целесообразной технологии консервации породных отвалов. Переход к сорбент-ориентированному методу, основанному на применении композитного сорбента-мелиоранта на основе торфа и осадков водоподготовки, позволяет значительно снизить негативное воздействие тяжелых металлов на окружающую среду. Это достигается за счет высокой сорбционной способности разработанного материала, который эффективно извлекает и удерживает ионы меди, свинца и мышьяка из загрязненной почвы, уменьшая их миграцию в грунтовые воды и предотвращая распространение загрязнения.

Оптимизация состава и условий применения сорбента (включая добавление оксида железа, регулирование влажности и температуры, рыхление) позволяет достичь максимальной эффективности сорбции и долгосрочной стабилизации тяжелых металлов. Использование доступных и относительно недорогих материалов, таких как торф и осадки водоподготовки, делает технологию экономически привлекательной, а возможность регулирования соотношения компонентов позволяет адаптировать состав сорбента к конкретным условиям и типу загрязнения, обеспечивая оптимальный баланс между сорбционными и мелиоративными свойствами. Применение оксида кальция дополнительно повышает надежность консервации за счет снижения кислотности и предотвращения повторного высвобождения тяжелых металлов в окружающую среду. В целом,

разработанный подход способствует восстановлению нарушенных земель, снижению экологических рисков и улучшению качества жизни в регионах с развитой горнодобывающей промышленностью.

Комиссия ООО «ЭкоИнноватор» отмечает целесообразность использования предлагаемых технологических решений при очистке наземных и водных экосистем загрязненных ионами тяжелых металлов. Результаты работы могут быть использованы для предотвращения вымывания тяжелых металлов в грунтовые воды и поверхностные водоемы, а также улучшению физических и химических свойств почвы, способствуя восстановлению растительного покрова. Предложенный автором метод, за счет использования доступных материалов (торф, осадки водоподготовки, оксид кальция) и относительно простой технологии, является экономически целесообразным и может быть успешно применен для консервации различных типов породных отвалов, загрязненных тяжелыми металлами.

Председатель комиссии:



А.И. Усманов

Члены комиссии:

А.В. Собенин