

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Тарасова Светлана Сергеевна

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВОГРУНТОВ НА ОСНОВЕ
БУРОВЫХ ШЛАМОВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЭТАПА
РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ
В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

03.02.08 – экология (биология)

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук,
доцент, Гаевая Елена Викторовна

Тюмень – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БУРОВЫМИ ШЛАМАМИ И СПОСОБЫ ИХ БИОРЕМЕДИАЦИИ	11
1.1 Источники и объемы образования буровых шламов в условиях Западной Сибири.....	11
1.2 Влияние буровых шламов на компоненты окружающей природной среды.....	15
1.2.1 Химическая характеристика буровых шламов	19
1.2.2 Токсикологическая характеристика буровых шламов	24
1.3 Биологические способы обращения с буровыми шламами.....	28
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	35
2.1 Объект исследования и характеристика применяемых компонентов ...	35
2.2 Методы проведения лабораторных испытаний химических, токсикологических и агрохимических исследований	40
2.3 Методика проведения биотестирования.....	42
2.4 Методика определения биологической активности	43
2.5 Методика оценки качества растений злаковых культур.....	45
2.6 Схемы проведения исследований.....	47
2.7 Статистическая обработка результатов исследований	49
ГЛАВА 3. ХИМИКО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУРОВЫХ ШЛАМОВ	51
3.1 Рентгеноструктурный и гранулометрический составы буровых шламов	51
3.2 Исследование химического состава твердой фазы и водной вытяжки образцов буровых шламов	54
3.3 Оценка токсичности буровых шламов методом биотестирования.....	60

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ МЕЛИОРИРОВАННОГО БУРОВОГО ШЛАМА НА РАСТЕНИЯ СЕМЕЙСТВА ЗЛАКОВЫЕ	64
4.1 Влияние мелиорантов на солевой состав бурового шлама.....	65
4.2 Элюатный способ лабораторного фитотестирования мелиорированного бурового шлама	74
4.3 Изучение влияния природных минеральных сорбентов на остаточное содержание нефтепродуктов в буровых шламах	86
ГЛАВА 5 ВЛИЯНИЕ ПОЧВОГРУНТОВ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ЗЛАКОВЫЕ	91
5.1 Результаты химических исследований вариантов почвогрунтов	91
5.2 Результаты вегетационных опытов морфометрических показателей многолетних растений семейства злаковые	97
ГЛАВА 6 РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЭТАПА РЕКУЛЬТИВАЦИИ	101
6.1 Описание проведения опытно-промышленных испытаний получения почвогрунтов	101
6.2 Результаты физико-химических и токсикологических исследований образцов почвогрунтов	102
6.3 Результаты биологической активности образцов почвогрунтов	112
6.4 Результаты морфометрических показателей растений злаковых культур	119
6.5. Применение почвогрунтов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель.....	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	132
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	133
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	159

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ПАВ	–	поверхностно-активные вещества
БШ	–	буровой шлам
с	–	солевой буровой раствор на водной основе
пг	–	полимер-глинистый буровой раствор на водной основе
ипг	–	ингибированный полимер-глинистый буровой раствор на водной основе
РУО	–	буровой раствор на углеводородной основе
ОБР	–	отработанный буровой раствор
КБР	–	коллектор бурового раствора
УОБ	–	углеводородокисляющие бактерии
МПА	–	мясопептонный агар
КАА	–	крахмало-аммиачный агар
Δ	–	погрешность методик (методов) выполнения измерений
$S_{\bar{x}}$	–	ошибка выборочной средней
$НСР_{05}$	–	наименьшая существенная разность при 95 % уровне вероятности
ХМАО-Югра	–	Ханты-Мансийский автономный округ Югра

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Производственная деятельность нефтедобывающих предприятий оказывает техногенное воздействие на объекты природной среды. Только на территории Западной Сибири, где добывается более 40% нефти в России, ежегодно образуется более 100 тысяч тонн буровых шламов, представляющих серьезную экологическую опасность для окружающей среды.

Экологические воздействия буровых шламов на компоненты природной среды могут сопровождаться токсическим эффектом на биосферу в целом, а также способны выражаться в нарушении экологического равновесия биотопов различных трофических уровней при их взаимодействии с абиотической средой, носящей механизм функциональных повреждений экосистемы (Булатов и др., 1997; Малышкин 2010; Рахимов и др., 2014).

Образующиеся при бурении нефтяных скважин буровые шламы являются токсичными для окружающей среды (III-IV класс опасности) в связи с используемыми буровыми растворами и исходными свойствами выбуренной породы (Рядинский и др., 2004; Соромотин, 2015; Скипин, 2016). Бурение скважин в условиях Западной Сибири осуществляется в осадочных отложениях, в которых наиболее распространенными являются глинистые минералы (их доля составляет 70-80%) (Балаба, 2004; Матвиенко и др., 2017).

Буровые шламы оказывают негативное воздействие на компоненты природной среды, обладают токсичностью для почвенной микрофлоры, гидробионтов и растений, так как содержат соли, тяжелые металлы и нефтепродукты (Нехорошева, 2015; Скипин и др., 2015; Петухова, 2015; Ягафарова, 2018; Пичугин и др., 2019).

Степень разработанности темы. Изучению вопросов влияния буровых шламов на компоненты природной среды и способов обращения с ними посвящено большое количество работ таких ученых, как В.Б.

Барахнина, Е.В. Голубев, М.М. Малышкин, И. В. Мельник, В.С. Петухова, Е.А. Пичугин, Д.В. Рахматуллин, Л.В. Рудакова, В.Ю. Рядинский, Л.Н. Скипин, А.В. Соромотин, И.И. Чиник, Г.Г. Ягафарова, A. Leonard Sunday, Liu Dong-sheng и др.

Актуальными являются проблемы обращения с буровыми шламами, в связи с чем, важнейшим приоритетом деятельности нефтедобывающих предприятий должна быть минимизация воздействия на окружающую среду путем создания безотходных экологически безопасных способов. Изучаемые отходы, представляющие собой горную породу, целесообразно возвращать в окружающую среду в качестве грунтов при проведении рекультивационных мероприятий.

В связи с вышесказанным, необходимо разрабатывать новые экологические способы обращения с буровыми шламами, направленные на снижение негативного воздействия отходов на окружающую среду. Создание почвогрунтов на основе буровых шламов для биологической рекультивации нарушенных земель позволит улучшить экологическую обстановку на объектах нефтедобычи.

Цель исследований – экологическая оценка почвогрунтов на основе буровых шламов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель.

Задачи исследований:

1. Изучить химико-токсикологические показатели буровых шламов, выявить влияние токсичных свойств отходов на гидробионты (*Paramecium caudatum* Ehrenberg, *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, *Daphnia magna* Straus, *Chlorella vulgaris* Beijer).

2. Изучить влияние различных мелиорантов на химический состав бурового шлама и определить степень фитотоксического действия на многолетние растения семейства злаковые (овсяница красная (*Festuca rubra* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), кострец безостый (*Bromus inermis* Leyss.)).

3. Оценить сорбционные свойства природных минеральных сорбентов в зависимости от их объемной доли внесения на изменение остаточного содержания нефтепродуктов в буровом шламе.

4. Определить влияние почвогрунтов на морфометрические показатели растений семейства злаковые.

5. Предложить способ создания почвогрунтов на основе буровых шламов для проведения биологической рекультивации нарушенных земель с использованием многолетних растений.

Научная новизна. Впервые для условий Западной Сибири дана комплексная эколого-токсикологическая оценка буровых шламов с применением разных типов буровых растворов. Установлены объемные доли внесения природных минеральных сорбентов и мелиорантов, влияющих на химико-токсикологические свойства почвогрунтов на основе буровых шламов. Определена зависимость увеличения разнообразия микробоценоза, роста и фитомассы надземных побегов растений семейства злаковые от компонентного состава почвогрунтов. Получены новые составы почвогрунтов для биологического этапа рекультивации земель, не оказывающие токсического действия на гидробионты и фитотоксического действия на многолетние растения семейства злаковые.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты дают расширенное представление о химико-токсикологической характеристике буровых шламов, оказывающих негативное воздействие на компоненты окружающей природной среды. Оценено токсическое действие буровых шламов на гидробионты. Научно обоснованы и экспериментально доказаны составы почвогрунтов, не оказывающие негативного воздействия на компоненты окружающей природной среды.

Разработаны рекомендации по созданию почвогрунтов для проведения биологического этапа рекультивации нарушенных земель на нефтяных месторождениях. Результаты исследований могут быть основой для разработки способов по обращению с буровыми шламами.

Материалы диссертации используются в преподавании дисциплин «Инженерная экология», «Оценка воздействия на окружающую среду», «Экологическое проектирование» в ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

Получены экологически чистые грунты в процессе утилизации буровых шламов (Патент на изобретение № 2661831), обладающие характеристиками и свойствами, пригодными для биологического этапа рекультивации нарушенных земель. Разработан способ утилизации отходов бурения, заключающийся во внесении в отходы бурения доломитовой муки, диатомита и песка, с получением грунта, не оказывающего негативного воздействия на компоненты природной среды (Патент на изобретение № 2724158).

Положения, выносимые на защиту:

1. Химико-токсикологические свойства буровых шламов обусловлены типом используемых буровых растворов, компоненты (сода каустическая, калий хлористый, баритовый утяжелитель и др.) которых оказывают отрицательный синергический эффект на гидробионты, вызывая гибель более 50 % тест-объектов. Высоким токсическим действием обладают буровые шламы, образованные с использованием солевого раствора на водной основе.

2. Внесение мелиорантов 3-20 % объемной доли в буровой шлам снижает фитотоксическое действие на многолетние растения семейства злаковые.

3. Создание почвогрунтов с внесением мелиорантов, природных минеральных сорбентов, торфа и гуминового препарата «Росток» способствует развитию микробо- и фитоценоза.

Степень достоверности и апробации результатов исследования

Достоверность результатов обеспечивается применением методик (методов), внесенных в федеральный реестр аттестованных методик

(методов) выполнения измерений, а также поверенных средств измерений, используемых в процессе проведения испытаний.

Физико-химические и токсикологические исследования буровых шламов и почвогрунтов проводились в соответствии с грантом на выполнение научно-исследовательской работы в рамках договора №12406ГУ/2017 с ФГБОУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям).

Опытно-промышленные испытания осуществлялись в соответствии с договором №422/ннк от 28.03.2018 с ФГБОУ ВО «ТИУ» о получении гранта «Грант на научные разработки и проекты, направленные на развитие ТИУ: Апробация технологии утилизации бурового шлама в рамках ОПИ».

Апробация работы и публикации. Результаты исследований докладывались на: Международной научно-практической конференции молодых исследователей им. Д.И. Менделеева, посвященной 10-летию института промышленных технологий и инжиниринга (Тюмень, 2018); Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии – нефтегазовому региону» (Тюмень, 2019); Международной научно-практической конференции «АРКТИКА: современные подходы к производственной и экологической безопасности в нефтегазовом секторе» (Тюмень, 2019); Втором международном молодежном научно-практическом форуме «Нефтяная столица» (Ханты-Мансийск, 2019); Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2020» (Москва, 2020).

Основные положения и научные результаты диссертации опубликованы в 17 статьях и тезисах докладов, из них 7 статей – в журналах, рекомендованных ВАК РФ и 3 статьи – в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, 1 монография. Количество патентов – 2.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 195 страницах машинописного текста. Состоит из введения, 6 глав, выводов, списка

литературы. Включает 17 рисунков, 51 таблицу. Список литературы содержит 198 источников, 29 из которых – зарубежные.

Личный вклад автора заключается в отборе образцов бурового шлама со шламовых амбаров нефтяных месторождений ХМАО-Югры, проведении физико-химических исследований бурового шлама и почвогрунтов, биотестирования на гидробионтах, вегетационных опытов на многолетних растениях семейства злаковые, выполнении опытно-промышленных испытаний почвогрунтов для биологического этапа рекультивации. Анализ полученных данных и статистическая обработка результатов, подготовка публикаций, апробация результатов исследования, формулировка выводов, написание текста диссертации проведены автором лично.

Благодарности. Автор выражает искреннюю признательность и благодарность своему научному руководителю – кандидату биологических наук, доценту кафедры «Техносферная безопасность» Гаевой Елене Викторовне за неоценимый вклад и помощь на всех этапах выполнения диссертации. Отдельную благодарность автор выражает доктору сельскохозяйственных наук, профессору кафедры «Техносферная безопасность» Скипину Леониду Николаевичу за рекомендации и консультации при написании работы.

ГЛАВА 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БУРОВЫМИ ШЛАМАМИ И СПОСОБЫ ИХ БИОРЕМЕДИАЦИИ

1.1 Источники и объемы образования буровых шламов в условиях Западной Сибири

Строительство нефтяных скважин и объектов нефтедобычи является крупнейшим этапом разработки и освоения месторождений, в результате которого создается инфраструктура нефтедобывающих комплексов. Техногенному воздействию подвержены все компоненты окружающей природной среды: атмосфера, гидросфера, почва, животный и растительный мир, геологическая среда (Московченко и др., 2002; Джавадов и др., 2003; Некрасова, 2003; Соромотин, 2010; Пашкевич и др., 2013; Шенфельд и др., 2014; Пичугин, 2015; Авдеева и др., 2016).

Отходы производства, образующиеся в процессе бурения, обслуживания нефтяных скважин, сборов продуктов добычи, первичной подготовки нефти и газа создают техногенные потоки на нефтяном промысле (Пиковский и др., 1994).

Во время строительства буровых скважин значимую опасность представляют буровые отходы, загрязнённые химическими реагентами (Сегид, 2001; Шамина, 2012; Пашкевич и др., 2013; Соромотин, 2015).

Буровые отходы состоят из сточных, пластовых вод, тампонажных, буровых растворов и бурового шлама (Быков, 1993; Рядинский и др., 2004; Пичугин, 2013).

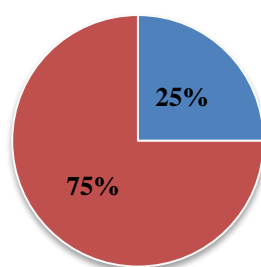
Объем отходов, образованных при бурении скважин, зависит, прежде всего, от глубины самой скважины, технологии бурения, системы водоснабжения, сроков строительства и геологических особенностей разбуриваемого пласта (Солодовников и др., 2015; Матвеев и др., 2017).

Авторами (Stuckman et al, 2019) установлено, что в процессе бурения горизонтальной скважины при добычи сланцевой нефти образовывается около 4,3 млн тонн бурового шлама только в одном штате Пенсильвании и 113 млн тонн бурового шлама в США. В настоящее время образованный буровой шлам утилизируется, захоранивается или вторично используется в строительстве.

Согласно исследованиям В.Б. Барахнина и др. (2009) на территории Западной Сибири образуется в среднем 0,4 м³ буровых отходов на 1 м проходки.

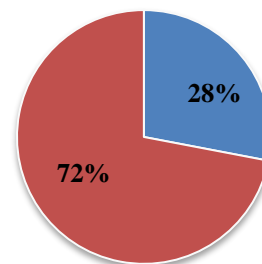
Образование промышленных отходов в ПАО "НК "Роснефть"

■ прочие отходы ■ буровой шлам



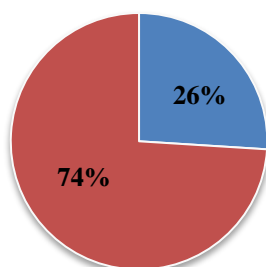
Образование промышленных отходов ПАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ»

■ прочие отходы ■ буровой шлам



Образование промышленных отходов «Салым Петролеум Девелопмент Н.В.»

■ прочие отходы ■ буровой шлам



Образование промышленных отходов ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»

■ прочие отходы ■ буровой шлам

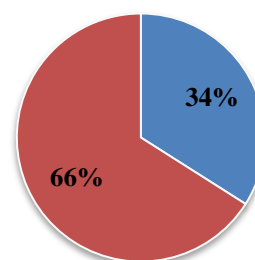


Рис. 1 – Образование промышленных отходов в нефтегазодобывающих компаниях за 2018-2020 гг.

В соответствии с представленными данными нефтегазовых компаний в части образования промышленных отходов, в том числе буровых отходов –

бурового шлама за 2018-2020 гг. отмечено, что значительная часть отходов представлена образованием буровых шламов (рисунок 1).

В отчете о деятельности в области устойчивого развития группы ПАО «Лукойл» за 2018-2020 гг. отмечается, что основными видами промышленных отходов являются буровые отходы (буровой шлам, отработанные буровые растворы, буровые сточные воды), которые образуются в процессе нефтяных бурения скважин.

Объемы образования отходов, прежде всего, зависят от объемов бурения нефтяных скважин. Увеличение образования количества отходов связано с ростом объемов проходки эксплуатационного бурения.

Источники и факторы техногенного воздействия на окружающую природную среду бурения нефтяных скважин изучены достаточно хорошо (Косаревиц и др., 1994; Хаустов и др., 2006; Булатов, 2011).

Шламовые амбары является наиболее опасными и постоянными источниками загрязнения атмосферного воздуха, почвенного покрова, грунтовых и поверхностных вод, представляющие технологически необходимое вспомогательное сооружение, предназначенные для сбора, накопления и размещения (захоронения) токсичных промышленных отходов бурения нефтяных скважин (Пичугин, 2019).

Отходы бурения размещаются в шламовых амбарах. По мнению ряда авторов, шламовые амбары представляют собой источники загрязнения компонентов природной среды, где основную нагрузку принимают почва, поверхностные и подземные воды (Некрасова, 2003; Балаба, 2004; Пиковский, 2015).

Воздействие шламового амбара как источника поступления отходов бурения в окружающую среду, освещено в работах многих авторов (Глазовская, 1980; Базанов и др., 2004; Соромотин, 2010; Савичев и др., 2013; Savichev et al, 2016). Отмечено, что токсичные компоненты отходов бурения распространяются через обваловку шламовых амбаров с последующим

образованием ореола загрязнения грунтовых вод вокруг них (Соромотин, 2010).

Шламовые амбары также могут быть источником поступления поллютантов в окружающую среду и причиной формирования вторичных очагов загрязнения (Некрасова, 2003).

Шламовые амбары с буровыми отходами занимают огромные площади северных территорий. При строительстве шламовых амбаров осуществляется рубка деревьев и кустарников, происходит уничтожение надпочвенного покрова, отчуждаются земли (Пичугин, 2013).

Попадание токсичных отходов бурения в окружающую среду происходит по разным причинам: из-за нарушения или несовершенства технологии, аварийных ситуаций, нарушения гидроизоляции противофильтрационного экрана и т.д. (Некрасова, 2003; Соромотин, 2010; Фоминых и др., 2014; Пичугин, 2019).

В исследованиях В.А. Базанова и др. (2004) отмечается, что при правильной эксплуатации шламовых амбаров воздействие на болотные экосистемы, минимальное.

В работах В.И. Балабы и др. (2001) затрагивается проблема утилизации отходов бурения и их воздействие на компоненты природной среды. Большое внимание уделяется проблеме образования бурового шлама, его химическому и минералогическому составу, а также вопросам отличия бурового шлама от выбуренной породы.

Различают два понятия – «выбуренная порода» и «буровой шлам». В результате углубления на забое скважины образуется выбуренная горная порода. Выбуренная горная порода преобразуется в буровой шлам при гидротранспорте промывочной жидкостью со скважины. Отделение промывочной жидкости от бурового шлама осуществляется на средствах очистки циркуляционной системы буровой установки. Соответственно, буровой шлам отличается по составу, объему и физико-химическим свойствам от выбуренной породы (Балаба, 2001; Матвеев и др., 2017).

Автором Н.С. Минигазимов (2014) установлено, что буровой шлам, образованный при строительстве нефтяных и газовых скважин, весьма существенно отличается от шлама нефтедобычи, нефтепереработки и нефтехимии. Различия отмечаются в соотношении основных компонентов (нефть, вода, взвешенные вещества) и в токсичных компонентах, применяемых в технологических процессах.

В зарубежной литературе буровые шламы описывают как частицы измельченной породы, полученной разрушающим действием бурового долота. Помимо горной породы, остатков грунтов и бурового раствора, буровой шлам включает в себя эмульгаторы и растворы солей, барит или карбонат кальция (Neff, 2000; Ifeadi, 2004; Neff, 2005).

Таким образом, буровой шлам – это выбуренная горная порода, насыщенная применяемым типом бурового раствора. Химический состав буровых шламов зависит от геологических условий территории, исходных компонентов буровых растворов, технологического процесса очистки бурового раствора, а также от глубины и интервалов бурения (Булатов, 1997; Patin, 1999).

1.2 Влияние буровых шламов на компоненты окружающей природной среды

Ежегодное увеличение образования буровых отходов (в том числе бурового шлама) приводит к загрязнению компонентов окружающей среды веществами, входящими в состав буровых шламов (Пичугин, 2019).

Исследования загрязнения природных экосистем буровыми шламами в период строительства и эксплуатации нефтяных скважин представлены в работах В.Н. Прохаев и др. (1979), Н.Е. Стыгар и др. (1984), М.Ю. Ежова (1986), С.Г. Лихачева (1986), И.В. Косаревица и др. (1994), А.И. Булатова и др. (1997), А.И. Захаров (1998), И.Л. Некрасовой (2003), М.М. Малышкина

(2010), Justyna Kujawska (2017), Н.В. Горленко (2017), Tan T. Nguyen (2018) и др.

Воздействие буровых отходов на атмосферный воздух происходит в результате испарения легких фракций нефти с зеркала шламовых амбаров. Воздействие буровых отходов на грунтовые и поверхностные воды возможно при нарушении и/или отсутствии гидроизоляционного материала дна и стенок шламовых амбаров, отсутствии обвалования, при несанкционированном размещении буровых отходов на площадке куста, во взаимодействии с гидрометеорами и/или подтоплением кустовой площадки в период интенсивного снеготаяния. Нарушение гидроизоляционного материала шламовых амбаров снижает биопродуктивность почвенных ресурсов, загрязняются подземные водоносные горизонты, впоследствии, загрязняются подземные и поверхностные воды (Пичугин, 2013).

Авторами Н.А. Бадовский (1994) и У.Т. Гайрабеков (1998), отмечено, что примерно 20 % жидкой фазы буровых отходов проникают в объекты окружающей природной среды. Применение индикационных способов доказывает связь между шламовым амбаром и контрольными пунктами подземных вод.

Воздействие атмосферных осадков и снеготаяния способствуют переходу водорастворимых солей из буровых шламов в растворы с последующей миграцией экотоксикантов в водоносные пласты (Пичугин, 2013).

Загрязнение токсичными буровыми отходами поверхностных водных объектов влияет на угнетение и преобразование биоценоза (Тетельмин, 2009).

Воздействие буровых отходов на почвенный и растительный покровы изучено многими авторами (Ежов, 1986; Солнцева и др., 1989; Некрасовой, 2003; Булатов, 2011). Отмечается, что негативное воздействие отходов бурения на растительный мир. Растительные сообщества на почвах подверженных загрязнению отходами бурения практически не

восстанавливаются. Отсутствие или эпизодическое состояние растительного покрова приводит к нарушению ландшафта и заболоченности территорий.

Загрязнение почвенного покрова буровыми отходами можно разделить на несколько стадий: входящие в буровые отходы вещества-загрязнители проникают в подземные воды и участвуют в образовании поверхностных ареалов; вертикальная и горизонтальная инфильтрация жидкой фазы буровых отходов; миграция загрязнителей. Наличие в отходах бурения водорастворимых солей развивает процесс засоления и формируется фитотоксичность почвенного покрова.

Эколого-токсикологическая оценка негативного воздействия буровых отходов на объекты природной среды (атмосфера, литосфера и гидросфера) проводилась многими учеными (Капелькина, 2013; Беляков, 2014; Мартыненко, 2017; Пичугин, 2019; Остах, 2021).

Исследования И.Л. Некрасовой (2003) по геохимической подвижности загрязнителей отходов бурения, показали, что выщелачивание минеральных и органических соединений с разрушением органоминеральных комплексов с перестройкой структуры миграционного потока загрязнителей происходит при взаимодействии бурового шлама с водой.

Автором Е.Г. Мартыненко (2017) предложена система геоэкологической оценки территорий, нарушенных строительством шламовых амбаров, которая обосновывает возможности освоения нарушенных земель при производстве грунтозамещающих материалов.

При буровых работах происходит воздействие на геосистемы, значительный масштаб носит воздействие на приповерхностную гидросферу (Некрасова, 2003). Негативное влияние бурового шлама на среду проявляется в загрязнении компонентов природной среды химическими реагентами, тяжелыми металлами, нефтепродуктами, токсичными солями (Балаба, 2004; Минигазимов, 2014; Пиковский, 2015).

В литературных данных приводится ряд негативных последствий, связанных с воздействием бурового шлама на компоненты окружающей

природной среды. Так, например, атмосферный воздух загрязняется при испарении легких фракций нефтепродуктов и при выделении пыли с поверхности шламовых амбаров (Пичугин, 2013).

Воздействие бурового шлама на гидросферу обусловлено нарушением температурного режима и изменением физико-химических параметров природной воды – водородного показателя (pH), солености, электропроводности и окисляемости (Васильев и др., 2014).

Загрязнять поверхностные и подземные воды могут тяжелые металлы, различный фракционный состав нефти, низкомолекулярные углеводороды (углеводородные газы), полиароматические углеводороды и органические кислоты, фенолы, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и полимеры. Эти вещества, содержащиеся в буровом шламе, обладают высокой миграционной способностью (Хаустов и др., 2006; Васильев, 2014).

При избытке атмосферных осадков, отработанные буровые растворы могут с последующей миграцией попадать в водоносные горизонты (Тетельмин и др., 2009).

Основной причиной воздействия бурового шлама на поверхностные и подземные воды является неправильное обустройство шламовых амбаров, используемых для сбора буровых отходов. Зачастую нарушена их герметичность или отсутствует гидроизоляция, не выполняется обвалование (Пичугин, 2013).

Утечка стоков из шламовых амбаров является наиболее распространенной причиной загрязнения педосферы и гидросферы (Некрасова, 2003).

При поступлении бурового шлама в поверхностные воды увеличивается мутность воды, что в свою очередь нарушает жизнедеятельность молоди рыб, планктонных и бентоносных организмов (Васильев и др., 2014).

В случае загрязнения поверхностных вод нефтепродуктами из бурового шлама происходит угнетение состояния рыб, снижается их выживаемость.

Отмечается изменение состава биоценозов, заморы рыбы, гибель нерестилищ (Тетельмин и др., 2009).

При воздействии бурового шлама на живые организмы отмечается уменьшение продолжительности жизни особей, проявляются патологические признаки и гистологические нарушения в организмах рыб и беспозвоночных. Нефтяные углеводороды также могут накапливаться в органах и тканях растений, вследствие чего происходит деградация и угнетение растительного покрова. Отмечается нарушение продукционно-деструкционных процессов в экосистемах. Состояние и выживаемость рыб заметно ухудшаются, отмечается аномально высокое распространение уродств на эмбриональных и личиночных стадиях развития ряда массовых видов (Васильев и др., 2014).

Буровой шлам оказывает негативное влияние на почвенный биоценоз, изменяет структуру почвы, снижает продуктивность сельскохозяйственных земель. По большей мере, воздействие бурового шлама на почву сводится к загрязнению нефтепродуктами. Из-за нарушения воздушного режима и угнетения окислительно-восстановительных процессов снижается биологическая активность и плодородие почв. Щелочная среда бурового шлама может способствовать образованию легкорастворимых гуматов, которые вымываются из поверхностного слоя почв, уменьшая общее содержание гумуса (Пичугин, 2013).

1.2.1 Химическая характеристика буровых шламов

Многие из промышленных отходов, связанных с бурением нефтяных скважин, влияют на состояние окружающей природной среды. По мнению авторов (Onwukwe et al, 2012) характеристика буровых отходов и их способность влиять на окружающую природную среду определяется физическими и химическими свойствами.

Химические свойства в значительной степени зависят от состава горной породы, от технологии бурения, в частности, от типа применяемого бурового раствора и способа бурения (Остах, 2021, Климова, 2021).

Химические свойства бурового шлама зависят от его состава, которые определяются характеристиками выбуренной горной породы (Крючков, 2012) и типом применяемого бурового раствора (Беяков, 2014). Так, авторами установлено, что буровой шлам включает жидкие и твердые составляющие фазы бурового раствора (Nabhani et al, 2015).

Нефтяные месторождения состоят из осадочных пород, которые представляют собой механические и химические продукты разрушения метаморфических пород. К этим породам относятся мономинеральные (гипс, доломиты и др.) и полиминеральные (глины, песчаники и др.) породы (Булатов и др., 1999).

Буровые растворы используются для транспортировки выбуренной горной породы, поддержания пластового давления в нужных пределах, а также охлаждения оборудования (Onwukwe et al, 2012). Буровой раствор представляет собой сложную многокомпонентную дисперсную систему жидкостей, включающих твердые вещества, растворенные в жидкости (например, в воде или в нефти) или в эмульсиях с химическими добавками. Подобные добавки нужны для придания раствору различных свойств (Breuer et al, 2004, Пичугин, 2019).

В составе буровых растворов очень часто присутствуют металлы: мышьяк, барий, хром, кадмий, медь, свинец и ртуть. Металлы добавляют в буровой раствор в виде солей металлов и органо-металлических соединений (Frost et al, 2006).

Состав буровых растворов может меняться в широком диапазоне в зависимости от производителя. Буровой раствор на синтетической основе и нефтяной основе пробуривает более чистую скважину с меньшими затратами и с меньшим образованием объема бурового шлама по сравнению с буровыми растворами на водной основе.

Тем не менее, обращение с отходами, в основе имеющих нефтяную основу, более сложное из-за высокого содержания дизельного топлива, нефтепродуктов и полиароматических углеводородов, тогда как отходы, в основе которых синтетические растворы, имеют более низкую токсичность, более быструю биоразлагаемость и более пригодны для вторичной переработки (Ball et al., 2012).

Буровой раствор является поликомпонентной смесью веществ. Компоненты буровых растворов относятся к III-IV классам опасности для окружающей природной среды (Ахметшин и др., 1995).

По данным автора У.А. Лушпеевой (2000) химический анализ отходов бурения свидетельствует о несколько повышенной минерализации бурового шлама. Нефтепродукты, обнаруженные в буровых шламах, соответствовали 120-680 мг/кг. Анализ буровых сточных вод показал, что это, как правило, слабо щелочные среды с $pH = 7-8,2$ ед. pH со значительным количеством органики.

Степень токсичности бурового шлама обусловлена как неорганическими соединениями, входящими в состав разбуриваемых пластов, так и содержанием углеводородов, которые присутствуют в продуктивных пластах (Майстренко, 2004). В буровой шлам углеводороды могут поступать из буровых растворов на углеводородной основе, или из геологических слоев, проникающих при бурении (Neff, 2005).

По данным различных авторов, содержание нефтепродуктов в буровом шламе существенно изменяется с минимальных до максимальных значений (Балаба, 2001; Некрасова, 2003; Ягафарова, 2006; Авдеева и др., 2016).

По данным автора Ягафарова Г.Г. (2006) отмечено, что нефтепродукты в шламе представлены в основном парафинонафтеновыми углеводородами (из которых 20% – твердые парафины), асфальтенами (5,6%), смолами (19,2%), полициклическими ароматическими углеводородами (20,1%).

Наличие тяжелых металлов в буровом шламе становится важным критерием, влияющим на токсичность данного вида отхода, помимо содержания нефтепродуктов и минерализован

ных вод. В первую очередь, на химический состав бурового шлама влияет литологический состав разбуриваемых пород и добавки, входящие в состав буровых растворов (Frost et al., 2006; Соромотин и др., 2015; Матвиенко и др., 2017).

Буровые шламы содержат макроэлементы (Ca, Mg, K, Na) и микроэлементы (Cu, Co, Fe, Mn, Zn, As, Al, Ba, Cr, Cd, Pb, Ni, Hg) (Mikos-Szymanska et al., 2018).

Отмечается, что элементы Ba, Ni, Co, Cu и Zn представляют угрозу из-за долговременной подвижности этих элементов (Stuckman et al., 2016; Климова и др., 2020).

По данным авторов, валовое содержание тяжелых металлов в буровом шламе меняется в широком диапазоне (Хаустов и др., 2006; Минигазимов и др., 2014; Павлова, 2015; Нехорошева и др., 2015; Скипин, 2016; Пичугин, 2017). Большинство металлов, связанных со шламом, находятся в неподвижной форме в минеральных образованиях из геологических структур (Neff, 2005; Климова и др., 2020).

По данным авторов (Kujawska et al., 2017) тяжелые металлы не подвергаются биологическим процессам разложения и сохраняются в неизменном виде.

Stuckman M., Lopano C.L. (2016) отмечают, что металлы (Cu, Ni, Zn, Cd, Co), входящие в состав бурового шлама, связаны с окисляемыми фазами. Металлы, присутствующие в структуре кристаллической решетки минералов вмещающих пород, находятся в нерастворимой форме.

Исследователями отмечается, что при оценке бурового шлама стоит особое внимание уделять валовому содержанию тяжёлых металлов (Патин, 1997; Neff, 2005; Минигазимов и др., 2014).

В тоже время происходит миграция подвижных элементов тяжелых металлов, из-за чего буровой шлам становится источником вторичного загрязнения (Патин, 1997; Балаба, 2004).

В работе Некрасовой И.Л. (2003), отмечается, что в шламе содержание подвижных форм тяжелых металлов превышает нормативные значения. При прогнозах поступления тяжелых металлов в природные геосистемы имеет значение оценка степени их растворения в водной среде. К числу наиболее подвижных и мобильных соединений бурового шлама относятся Cu, Ni и Cr, низкая мобильность отмечается у Mn и Fe.

Исследования содержания подвижных форм тяжелых металлов в буровом шламе в шламовых амбарах исторического наследия свидетельствует о вымывании подвижных форм металлов (Гвоздецкая, 2010).

В работе (Stuckman et al., 2019) определены химические различия бурового шлама, керна и бурового раствора. По данным исследования на основной элементный состав бурового шлама влияет состав исходной горной породы и бурового раствора. Концентрации большинства основных элементов (например, Al, Ba, Fe, K и Si) в буровом шламе совпадает с содержанием в буровом растворе и керне, за исключением для Ca и Na. Концентрация Ca в буровом шламе (2,98-13,5%) значительно выше, чем в керне (0,9-1,5%), что, скорее всего, связано с поступлением минерализованного кальцита из вертикальных трещин, перехваченных скважиной или привноса известковых пород, а также с высоким содержанием Ca в остаточном буровом растворе.

Автором Гвоздецкой М.В. (2010) исследован минеральный состав бурового шлама, при этом отмечается, что токсичные элементы накапливаются на поверхности частиц бурового шлама.

Авторами Пашкевич М.А. (2013) и Гвоздецкая М.В. (2013) разработана методика мониторинга состояния отходов бурения с помощью комплекса современных аналитических методов, подобная оценка экологической

опасности отходов бурения основана на определении гранулометрического, химического, минерально-фазового состава.

На состав бурового шлама влияют применяемые буровые растворы, используемые в процессе бурения, а также особенности геологического строения разреза (Тарасова и др., 2019).

Таким образом, большинство исследователей указывают, что буровые отходы, оказывают комплексное негативное воздействие на компоненты природной среды (Балаба, 2004; Хаустов, 2006; Пашкевич, 2013; Васильев, 2014; Пиковский, 2015; Патин, 2017; Пичугин, 2019).

1.2.2 Токсикологическая характеристика буровых шламов

Токсичность бурового шлама зависит от его состава и свойств, которые определяются характеристиками выбуренной горной породы (Крючков, 2012) и составом буровых растворов (Беляков, 2014). Так, установлено, что буровой шлам включает жидкие и твердые составляющие буровых растворов (Nabhani et al, 2015).

Оценку влияния бурового шлама на живые организмы и определение классов опасности изучали В.А. Терехова (2003), Т.В. Светличная (2004), М.М. Малышкин (2010), В.Н. Крючков (2012), А.А. Климова и др. (2018).

В работах Светличной Т.В. (2004) буровой шлам исследован с помощью метода биотестирования. Автор использует ряд тест-объектов: рачки дафния *Daphnia magna*, моллюски дрейссена *Dreissena polymorpha*, хирономиды *Chironomus plumosus* Meig, *Chironomus thummi* Kieff, рыбы данио *Brachydanio rerio*, бактериопланктон морской, водоросль *Thalassiosira weissflogii*, коловратки *Brachionus plicatilis*, артемия *Artemia salina*, аквариумная рыбка Меланотения трехполосая или Радужница *Melanotaenia trifasciata*. Результаты исследования показывают, что пелитовая фракция бурового шлама с дагестанского побережья Каспийского моря относится ко

II классу опасности. Хроматы, входящие в состав отхода, обладают мутагенным и канцерогенным действием.

Авторами Крючковой В.Н. и др. (2012) изучено острое и хроническое влияние буровых отходов на разные систематические группы гидробионтов: ракообразных (*Daphnia magna*, *Artemia salina*), моллюсков (*Dreissena rostriformis*), хирономид (*Chironomus* gr. *Salinarius*). Результаты биотестирования показали наличие токсического действия только в зоне прямого воздействия размещения буровых отходов, где наблюдаются их высокие концентрации.

Азаровой С.В. (2004) проведена оценка экологической опасности отходов методом биотестирования с применением тест-организма *Drosophila melanogaster*, полученные данные указывают, что химические компоненты, присутствующие в пробах в повышенных количествах, оказывают влияние на появление морфоз.

Вопросами комплексной оценки эколого-гигиенических характеристик и определением класса опасности очищенных буровых шламов занимались Крыса В.В. и др. (2013). Биотестирование авторы проводили на следующих гидробионтах: хирономиды *Chironomus dorsalis* Meigen, дафнии *Daphnia magna* Straus и аквариумные рыбки *Brachydanio rerio*. Установлено, что водные вытяжки из проб бурового шлама являются нетоксичными для выбранных тест-объектов. Тем не менее, фитотестирование водных вытяжек из бурового шлама с применением метода определения скорости прорастания семян показало, что пробы бурового шлама вызывают некоторое угнетение семян из-за повышенного содержания легкорастворимых солей.

Авторами Фоминых Д.Е. и др. (2014) определена токсичность бурового шлама нефтегазовых месторождений Томской области методом биотестирования, установлено вредное действие шлама на рост корней семян овса.

В работе Хаустова А.П. и др. (2006) оценка фитотоксического действия выбуренной породы проводилась также с помощью проращивания семян овса с использованием водного, буферного и кислотного экстрактов.

Метод биотестирования с применением инфузорий *Paramecium caudatum* для оценки цитотоксичности бурового шлама показал неоднородность степени токсичности шлама (Нехорошева, 2015).

В работе Сипулиновой Р.Б., Карагайчевой Ю.В. (2015) изучена фитотоксичность водных вытяжек бурового шлама. Для определения токсичности использовались водоросли *Scenedesmus quadricauda* и редька *Raphanus sativus.*, в результате исследований токсического действия не было отмечено.

Исследования химической токсичности компонентов бурового раствора и бурового шлама показали, что наблюдаемый эффект увеличения биотурбации при низких и умеренных дозах, является результатом физических свойств, таких как размер частиц бурового шлама (Schaanning et al, 2008). Токсичность шлама варьируется в зависимости от свойств бурового раствора (Schaanning et al, 1996).

Физические факторы, такие как форма частиц бурового шлама, должны учитываться как потенциальные факторы воздействия, влияющие на токсичность бурового шлама (Trannum et al, 2010).

Существует ряд исследований по определению токсичности буровых отходов с использованием различных микроорганизмов в качестве тест-объектов, например, личинки тигровой креветки *Penaeus monodon* и бактерии *Bacillus*. В ходе исследования отмечено, что при увеличении концентрации загрязняющих веществ в отходах, уменьшается количество бактерий *Bacillus* (Soegianto et al, 2008).

Токсичность выбуренной породы не ограничивается неорганическими соединениями, входящими в состав разбуриваемых пластов. Основной опасностью выбуренной горной породы является наличие в продуктивном

пласте повышенного содержания углеводов и водорастворимых солей (Майстренко, Ключев, 2004).

Автором Климовой А.А. (2020) определена токсичность бурового шлама на территории Томской области методами биотестирования для оценки возможности его дальнейшего использования, было выявлено, что буровые шламы относятся к IV классу опасности для окружающей природной среды.

Учеными Р.Ю. Касимовым (1974), Н.Е. Стыгар (1984), Т.И. Гусейновым (1986), С.А. Гусейновой (2013) было изучено влияние буровых шламов на отдельные виды морских и пресноводных гидробионтов. Выявлено, что наиболее токсичными для изучаемых организмов являются каустическая сода, баритовые утяжелители, бихромат калия и другие реагенты, применяемые при бурении скважины.

Исследования токсичности, проведенные И.А. Макаренко (2007) на различных буровых шламах исторического наследия по отношению к тест-объектам (дафнии, высшая водная растительность – валлиснерий, высшие растения – лук), показали, что изучаемые отходы сохраняли свои токсические свойства на протяжении 7 лет, после чего токсичность резко снижалась.

Малышкиным М.М. (2010) изучено влияние шламов буровых на микроорганизмы и гидробионты (дафнии – *Daphnia magna* Straus, аквариумные рыбы – *Brachydanio rerio*, хирономиды – *Chironomus dorsalis* Meigen). Было установлено, что многие буровые шламы токсичны из-за карбоната калия, содержащегося в буровых шламах.

В зарубежной литературе известно исследование влияния отходов бурения (в том числе бурового шлама) на донные сообщества бактерий (отряды *Clostridiales* и *Desulfuromonadales* и класс *Mollicutes*) (ТТ. Nguyen, 2018), на холодноводные кораллы *Lophelia pertusa*. *L. pertusa* (Т. Baussant, 2018), на дождевых червей *Eisenia fetida* (J. Kujawska, 2017), на редьку,

кукурузу, овес, люцерну и ячмень (R. Saint-Fort, 2017), на рыб *Pagrus auratus* (S. Bakhtyar, 2012).

Однако, несмотря на все выше сказанное, степень экологической опасности буровых шламов для окружающей среды зависит от состава бурового раствора, используемого для бурения скважин (Рязанов, 2005).

Каждое химическое вещество, входящее в состав бурового раствора, оказывает множественное токсическое действие на различные живые организмы (Мойсейченко и др., 1994; Беляков, 2014).

Таким образом, токсичность буровых шламов напрямую связана с компонентами, входящие в состав буровых растворов. При этом, литературные данные указывают, что именно состав буровых растворов, главным образом, определяет токсичность буровых шламов в целом.

1.3 Биологические способы обращения с буровыми шламами

Биологический метод утилизации буровых шламов позволяет одновременно снизить воздействие нескольких загрязнителей, например, полимерных добавок и нефти, тяжелых металлов и т.д.

Способов, приведенных в литературных данных, по созданию и применению биологических способов утилизации буровых шламов незначительно. Технологии утилизации буровых шламов в основном основаны на физико-химических способах обезвреживания (Король, 2005; Дьяченко, 2009; Воробьева, 2011; Чепрасов, 2011; Жабриков, 2014; Идрисов, 2015; Чеботаев, 2015; Солодовников и др., 2015; Литвинова, 2016; Хамидуллина, 2016).

Перспективным для ликвидации буровых шламов является биотехнологический метод, основанный на использовании активных микробных штаммов-деструкторов органических загрязнителей отходов буровых (Ягафарова и др., 1998, Патент на изобретение RU 2352630).

Применение гумино-минерального мелиоранта для утилизации бурового шлама улучшает физико-химические свойства отхода (Узбеков, 2003).

Беляков А.Ю. (2014) отмечает, что преимуществом биологической нейтрализации (обезвреживание) бурового шлама является одновременная утилизация нескольких загрязнителей – ПАВ и углеводородов, а также отсутствует необходимость в подготовке бурового шлама (отделения твердой и жидкой фазы, отверждение, отмыв, нейтрализация), что позволяет обезвреживать буровые отходы непосредственно на месте (*in situ*).

Важным условием при проведении работ по биологической рекультивации является эколого-токсикологическая оценка бурового шлама, включающая определение потенциально опасных, токсичных и загрязняющих веществ.

Внесение фосфогипса улучшает химические и физико-химические свойства бурового шлама и обеспечивает условия прорастания семян, роста и развития растений. Применение сорбента и гуминового препарата «Росток» благоприятно сказывается на развитии растений, при этом происходит формирование жизнеспособного фитоценоза с высокими значениями фитомассы вегетативных надземных побегов. Возможность применения технологии по рекультивации бурового шлама при амбарном и безамбарном методах бурения, с последующим использованием полученного грунта для рекультивации шламовых амбаров и прилегающих (примыкающих) к ним производственной и вспомогательной инфраструктуры, нарушенных земель временного и постоянного отвода, с проведением биологического этапа рекультивации (Гаевая и др., 2017; Тарасова, 2017).

Результаты исследований авторов Гасымлы Л.Э., Ибадова Н.А. и др. (2005) показали, что при предварительной обработке бурового шлама известью процесс биоремедиации субстрата протекает со значительно большей интенсивностью, чем без обработки шлама известью. Это связано с тем, что микроорганизмы способны использовать углеводороды бурового

шлама (альфа-олефины) в качестве единственного источника углерода и энергии. Гомогенизация шлама при обработке известью способствует активной деятельности почвенных микроорганизмов, использующих альфа-олефины в качестве субстратов углеродного питания, что в свою очередь благоприятно воздействует на деградацию, разложение углеводородов в шламе.

Фиторемедиация является экономически эффективной технологией, которая использует способность растений концентрировать элементы и соединения из окружающей среды и метаболизировать различные молекулы в своих тканях (Reichenauer et. all, 2008).

Для изучения возможностей применения многолетних злаковых культур при биологической рекультивации буровых отходов, авторами были использованы следующие растения: кострец безостый (*Bromopsis inermis* Leyss.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.). Исследования показали, что мятлик луговой при 5%-15% загрязнении буровым раствором превышал энергию прорастания контрольного образца на 10-20%, а при 20% концентрации наблюдался фитотоксический эффект на рост и развитие проростков мятлика лугового (65%). Высокий показатель энергии прорастания у костреца безостого наблюдался при содержании бурового раствора 15% и составил 70%. С последующим увеличением концентрации 20% происходило заметное снижение энергии прорастания семян. Энергия прорастания овсяницы красной при 5% и 15% загрязнении находилась на уровне контрольного образца (65%), при концентрации раствора 20% это значение составило 60%. Мятлик луговой проявил более устойчивые свойства к загрязнению по сравнению с кострцом безостым. Наименьшей всхожестью, в сравнении с контролем обладал кострец безостый. При содержании бурового раствора от 5 до 10% всхожесть костреца безостого снижалась, концентрация 20% оказывала статистически значимое негативное влияние на прорастание семян данной культуры, всхожесть составила 50%. Исследования показали, что значение всхожести у

овсяницы красной при концентрации раствора 5% и 10% было 70% и 75% соответственно (Гаевая и др., 2017).

В патентной литературе известны способы утилизации буровых шламов, заключающиеся в смешивании отходов с различными минеральными добавками, мелиорантами и сорбентами, а также применение установок по утилизации отходов (Патенты на изобретение: RU 100926, RU 2145580, RU 2179621, RU 2198142, RU 2242493, RU 2293103, RU 2379137, RU 2389564, RU 2392256, RU 2486166, RU 2491135, RU 2492943, RU 2524708).

Известен способ очистки бурового шлама от нефтяных и полимерных реагентов, включает нейтрализацию активной ассоциации нефтеразрушающих микроорганизмов и органических добавок при добавлении к буровому шламу *Rhodococcus erythropolis AC-1339Д* и *Fusarium sp. №56* в присутствии пламилон и диамофоса с соотношением 1:1. Полученный органо-минеральный субстрат является экологически безопасным (6-7 ед. рН), в дальнейшем используется для экологического экранирования (в т.ч. создания биологического фильтра) буровых скважин, буровых и шламовых амбаров, рассаливания грунтов, в качестве органо-минерального удобрения для сельского хозяйства и т.д., что создает замкнутый природоохранный цикл нефтегазовой и нефтеперерабатывающей промышленности (Барахнина, 2009).

Известен способ утилизации бурового шлама, который заключается в производстве искусственного дерна, который обустривается последовательно – наложением однородной смеси бурового шлама и торфа (в количестве 10-60 % от массы бурового шлама) с травосмесью семян растений (в расчете 10-50 кг/га в зависимости от вида растений) и армированием смеси синтетической, быстроразлагающейся органической либо металлической сеткой. Торфяной грунт в составе смесей выполняет роль наполняющего и сорбирующего материала, связывающего, деструктурирующего нефтяные компоненты и др. загрязняющие вещества и препятствующего их миграции в

окружающую среду, а также роль гумуссированного субстрата, обуславливающего плодородие смеси, создание оптимальных условий для произрастания растений – трав, кустарников и деревьев на биологическом этапе рекультивации (Патенты на изобретение RU 2298567, RU 2323293, RU 2347629).

Известен способ, рекультивации шламовых амбаров заключающийся в следующем: по периметру шламового амбара предусмотрена противофильтрационная траншея, которая имеет гидроизоляционную пленку и засыпана грунтом, обвалование высотой не менее 1,0 м над уровнем заполнения шламового амбара. При этом дно и стенки шламового амбара изолируются глинистым раствором толщиной не менее 10 см. В шламовом амбаре размещаются буровые отходы не выше IV класса опасности. Шламовый амбар не засыпается, а остается открытым для воздействия ультрафиолетового излучения солнца и кислорода атмосферного воздуха на буровые отходы. После консолидации буровых отходов осуществляется посадка черенков ивы на полочках, откосах обвалований и межсекционных перемышках, рогоза по урезу воды. В последующем буровые шламы трансформируются в почвообразующую породу, на которой развиваются зональные почвы и формируются устойчивые фитоценозы. Применение данного изобретения позволяет эффективно вовлечь в хозяйственный оборот выбуренную горную породу, исключив разработку и добычу дополнительных объемов песка и торфа (для засыпки шламового амбара), тем самым сохранив ненарушенными большие площади болотных ландшафтов (Патент на изобретение RU 2617632).

Известен способ получения грунта при обезвреживании шламов, пригодного для использования в различных областях, в том числе и в сельском хозяйстве. Технический результат достигается за счет способа получения грунта при обезвреживании шламов с последующей рекультивацией, включающего извлечение нефтепродуктов из амбара, которое производят с последующим откачиванием из него бурового

раствора, нейтрализацию шлама с помощью известняка, после чего шлам в амбаре подвергают перемешиванию с минеральными удобрениями и вносят биодеструктор для удаления остаточного содержания нефтепродуктов в соотношении 1:1, или кокосовый абсорбент в соотношении 1:0,5, или композицию, содержащую оксид кальция в количестве 70-75% и отработанный силикагель в количестве 25-30%, затем осуществляют перемешивание шлама с активированной торфяной крошкой, и/или песком, и/или суглинком, и/или опилками, после чего полученную смесь подвергают аэрации с последующим увлажнением (Патент на изобретение RU 2646882).

Известен способ рекультивации бурового шламового амбара, заключающимся в смешении полученного бурового шлама с торфом и песком в соотношении, об. %: шлам буровой не более 75,0; торф не менее 18,0; песок не менее 7,0; при общем содержании компонентов, равном 100 об. % в объемах, обеспечивающих получение грунта, выполняющего функцию почвообразующей породы, созданием плодородного слоя и посадкой растительности. Получаемый описываемым способом грунт не оказывает негативного воздействия на компоненты природной среды, не препятствует протеканию процессов почвообразования, а также заселению и произрастанию растительности. Основным посадочным древесным материалом являются черенки ивы (Патент на изобретение RU 2539470).

Известен способ переработки бурового шлама, результат достигается способом, при котором в буровой шлам вносят углеродный сорбент в количестве от 1,5 до 3%, песок, бактериальные штаммы из относящихся к родам: *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Corynebacterium*, *Xanthomonas*, *Alcaligenes*, *Nocardia*, *Brevibacterium*, *Mycobacterium*, *Beijerinckia*, *Bacillus*, *Enterobacteriaceae*, *Klebsiella*, *Micrococcus*, *Sphaerotilus*, *R. Erythropolis*, биодобавки из группы, включающей Путидойл, Деворойл, Валентис, Олеоворин, Биоприн, НХ7, Дестройл, инертные добавки. В результате указанных действий получают не токсичный грунт (Патент на изобретение RU 2656379).

Известен способ рекультивации бурового шламового амбара, результат заключается в получение грунта, выполняющего функцию почвообразующей породы – компонента природной среды. Для этого в буровой шлам вносят торфопесчаную смесь, гранулы сорбента с дополнительным внесением органических твердых удобрений из отходов животноводства, содержащие большое количество азота, фосфора и калия. Авторы отмечают, что полученный грунт может быть применим в сельском хозяйстве, как экологически чистый продукт (Патент на изобретение RU 2702184).

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что буровой шлам негативно воздействует на окружающую природную среду. Данное воздействие распространяется на почвенный покров, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух и биоценозы. При этом следует отметить, что буровые шламы представляют собой выбуренную горную породу, пропитанную буровым раствором, и именно тип применяемого раствора в большей степени оказывает воздействие на природные экосистемы. Значительные объемы образующихся буровых шламов указывают на необходимость разработки способа обращения и возвращения их в окружающую среду в виде почвогрунтов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Объект исследования и характеристика применяемых компонентов

Буровой шлам имеет градацию по показателю текучести от текучей до тугопластичной, по цвету от черного до светло серого, в зависимости от глубины забоя и вида долота – с включениями различного диаметра, по разновидности грунтов относится от суглинка легкого до глины тяжелой.

Объектом исследования являются почвогрунты на основе бурового шлама, не оказывающие токсического и фитотоксического действия, с последующим применением для биологического этапа рекультивации.

Почвогрунт – грунт, измененный, перемещенный или образованный в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека (улучшенные техногенно (переотложенные) грунты (антропогенно-образованные) (ГОСТ 25100).

Отбор проб буровых шламов на разных типах буровых растворов производился на лицензионных участках нефтяных месторождений ПАО «ЛУКОЙЛ Западная Сибирь» ХМАО-Югры со шнекового конвейера или мест его накопления – шламового амбара. Общее количество образцов буровых шламов на разных типах буровых растворов составило более 30 проб. Исследования выполнялись в период 2017-2020 гг. и включали в себя проведение лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний бурового шлама и почвогрунта. В таблице 1 представлен перечень наименований буровых шламов с применением разных типов буровых растворов.

Таблица 1 – Перечень наименований буровых шламов на разных типах буровых растворов

Наименование образца бурового шлама	Расшифровка образцов буровых шламов
БШ _{с1}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением солевого бурового раствора на водной основе
БШ _{с2}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением солевого бурового раствора на водной основе
БШ _{с3}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением солевого бурового раствора на водной основе
БШ _{пг1}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением полимер-глинистого бурового раствора на водной основе
БШ _{пг2}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением полимер-глинистого бурового раствора на водной основе
БШ _{пг3}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением полимер-глинистого бурового раствора на водной основе
БШ _{инг1}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением ингибированного полимер-глинистого бурового раствора на водной основе
БШ _{инг2}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением ингибированного полимер-глинистого бурового раствора на водной основе
БШ _{руо1}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением бурового раствора на углеводородной основе
БШ _{руо2}	буровой шлам, образованный в процессе бурения с применением бурового раствора на углеводородной основе

Примечание: с – солевой буровой раствор на водной основе; пг – полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; инг – ингибированный полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; РУО – буровой раствор на углеводородной основе; 1-3 – порядковый номер пробы.

Климатическая характеристика района опытно-промышленных испытаний принята по метеостанции Сургут согласно научно-прикладному справочнику по климату СССР, Серия 3, Многолетние данные, Части 1 – 6, Выпуск 17, Тюменская и Омская области (Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1998 г.).

Климат данного района резко континентальный. Зима суровая, холодная, продолжительная. Лето короткое, теплое. Короткие переходные сезоны – осень и весна. Поздние весенние и ранние осенние заморозки. Безморозный период очень короткий. Резкие колебания температуры в течение года и даже суток.

Среднегодовая температура воздуха – минус 5,2 °С, среднемесячная температура воздуха наиболее холодного месяца января – минус 24,2 °С, а самого жаркого июля – 16,3 °С. Абсолютный минимум температуры – минус 53 °С, абсолютный максимум – 32 °С. Средняя максимальная температура воздуха наиболее теплого месяца – 21,2 °С.

Температура воздуха наиболее холодной пятидневки 0,98 обеспеченности минус 48 °С; 0,92 обеспеченности – минус 46 °С. Температура воздуха наиболее холодных суток 0,98 обеспеченности минус 51 °С; 0,92 обеспеченности – минус 49 °С.

Средняя дата первого заморозка осенью – 16.09, последнего – 6.06.

Продолжительность безморозного периода в среднем 101 день, максимальная – 122 дня, продолжительность с температурой воздуха ≤ 0 – 243 дня.

Осадков в районе выпадает много, особенно в теплый период с апреля по октябрь – 381 мм, в холодное время с ноября по март – 117 мм, годовая сумма осадков – 498 мм. Соответственно держится высокая влажность воздуха, средняя относительная влажность меняется от 71 до 85%.

Средняя дата образования снежного покрова 11.10, дата схода 18.05.

Сохраняется снежный покров 218 дней.

Максимальная декадная высота снежного покрова 5% обеспеченности 90 см. Максимальный перенос снега за зиму – 600 м³/м.

Средняя годовая скорость ветра – 4,1 м/с, средняя за январь – 3,7 м/с и средняя в июле – 4,4 м/с. В течение года преобладают ветры южного и юго-западного направления, в январе – южного и юго-западного, а в июле – северного и северо-восточного.

Согласно схеме инженерно-геологического районирования Западно-Сибирской плиты район относится к области (первого порядка) среднечетвертичных озерно-аллювиальных (перигляциальных) аккумулятивных равнин, сложенных многолетнемерзлыми и талыми сильноувлажненными породами. Как область второго порядка – Пим-Аганская область развития невысоких плоских очень сильно заболоченных среднечетвертичных озерно-аллювиальных равнин (рис. 2).

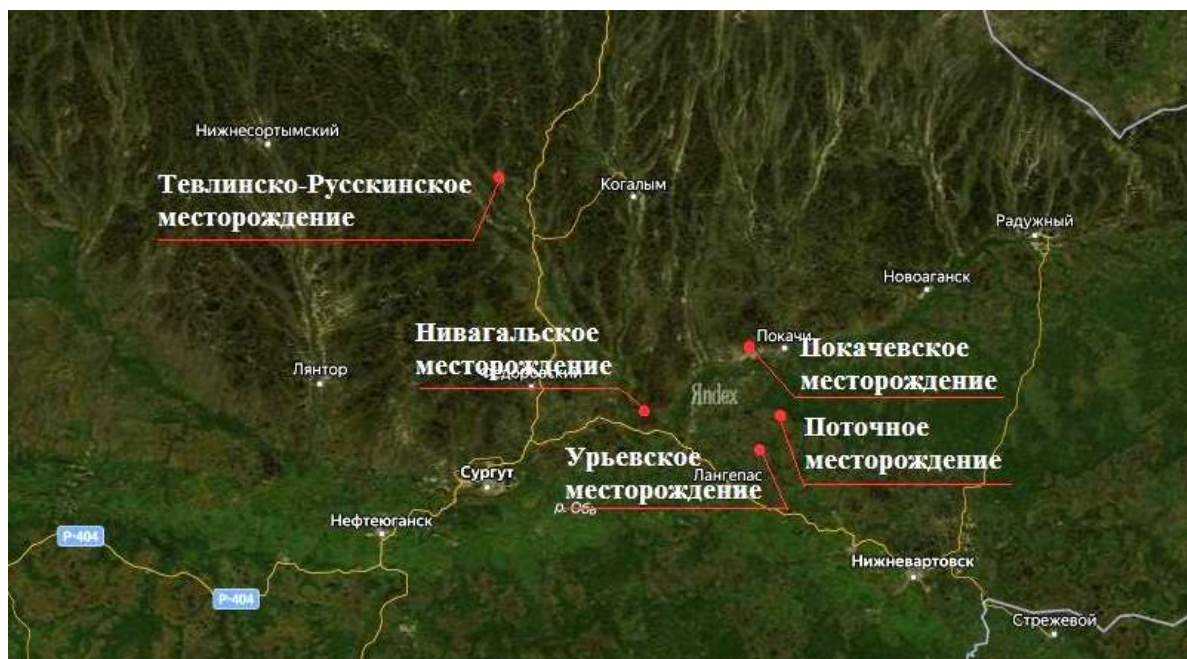


Рис. 2 – Карта-схема мест отбора проб буровых шламов

Используемые компоненты для создания почвогрунтов:

мелиоранты:

Доломитовая мука (состоит из кристаллов (или их агрегатов) доломита рыхлая или сыпучая масса, применяемая в сельском хозяйстве для известкования почв. Природная доломитовая мука залегает среди доломитов, доломитизированных известняков, дедоломитов, других минералов и является продуктом их разрыхления и выщелачивания при выветривании).

Известь негашеная (оксид кальция, белое кристаллическое вещество используемое в основном в производстве строительных материалов, таких как цемент, силикатный кирпич и прочее).

Гипс (минерал из класса природных сульфатов, по составу гидрат сульфата кальция. Применяется для получения азотных удобрений (сульфата аммония), гипсования засоленных почв и др.).

Фосфогипс (представляет собой порошок белого или от светло-серого до тёмно-серого цвета, имеющий влажность 27-30% и не обладающий вяжущими свойствами. По химическому составу фосфогипс представляет собой двуводный гипс с примесями веществ как растворимых (фосфорная и серная кислоты, моно-и дикальцийфосфат, фторсиликаты, соли натрия и калия), так и нерастворимых (кремнезем, сокристаллизованные фосфаты, нерастворимые фосфаты и фториды и др.)).

Карналлит (минерал, двойная соль: водный хлорид калия и магния с примесями брома, рубидия и цезия. Является сырьём для получения калийной соли, удобрений, важный сырьевой источник для производства калия (K), брома (Br). Незначительный источник магния (Mg) в большинстве стран, но основное сырьё для производства магния в России; магний используется как восстановитель при производстве стратегического продукта – титана).

природные минеральные сорбенты:

Глауконит (минерал, водный алюмосиликат железа, кремнезема и оксида калия непостоянного состава. Химический состав: непостоянный. Сорбент обладает высокими абсорбционными и катионообменными свойствами).

Диатомит (рыхлые или сцементированные кремнистые отложения, осадочная горная порода белого, светло-серого или желтоватого цвета, состоящая более чем на 50 % из панцирей диатомей. Используют в качестве натуральных инсектицидов, применяют в сельском хозяйстве, в металлургии, в водоочистке, в нефтехимии и строительстве).

2.2 Методы проведения лабораторных испытаний химических, токсикологических и агрохимических исследований

Исследования физико-химических, агрохимических, токсикологических свойств буровых шламов и почвогрунтов, осуществлялось в соответствии с методиками (методами), внесенными в федеральный реестр аттестованных методик (методов) выполнения измерений на базе следующих лабораторий кафедр «Техносферная безопасность» и «Строительных материалов», аккредитованной аналитической лаборатории физики, химии и механики мерзлых грунтов ФГБОУ ВО «ТИУ».

Методики проведения испытаний буровых шламов и почвогрунтов представлены в таблице 2. Рентгенофазовый анализ проводился на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 фирмы «Shimadzu».

Таблица 2 – Методики проведения испытаний

Наименование определяемого показателя	Нормативный документ на метод испытаний	Метод испытаний
рентгенофазовый анализ	Руководство по эксплуатации к прибору дифрактометру XRD-7000 фирмы «Shimadzu»	рентгеновская дифракция
гранулометрический состав	Руководство по эксплуатации к прибору Лазерный анализатор частиц «Analysette 22» MicroTecPlus	лазерная дифракция
нефтепродукты	ПНД Ф 16.1:2.2.2.3.3.64-10 (ФР 1.31.2010.07598)	гравиметрический
водородный показатель pH (водной вытяжки)	ГОСТ 26423-85	кондуктометрический
плотный остаток водной вытяжки	ГОСТ 26423-85	выпаривание
удельная электрическая проводимость	ГОСТ 26423-85	кондуктометрический
хлорид-ион (водорастворимая форма анионов)	ПНД Ф 16.1:2.2.3:2.2.69-10	капиллярный электрофорез (КЭ) с косвенным детектированием при длине волны 254 нм

сульфат-ион (водорастворимая форма анионов)	ПНД Ф 16.1:2:2.3:2.2.69-10	капиллярный электрофорез (КЭ) с косвенным детектированием при длине волны 254 нм
кадмий (валовое содержание)	М-МВИ 80-2008	атомно-эмиссионной спектрометрии (АЭС), атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС-ЭТ, ААС пламя)
мышьяк	ПНД Ф 16.1:2:2.2:3.48-06	инверсионная вольтамперометрия
марганец (валовое содержание)	М-МВИ 80-2008	атомно-эмиссионная спектрометрия (АЭС), атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС-ЭТ, ААС пламя)
ртуть	МИ 2878-2004	атомно-абсорбционный
свинец (валовое содержание)	М-МВИ 80-2008	атомно-эмиссионная спектрометрия (АЭС), атомно-абсорбционная спектрометрии (ААС-ЭТ, ААС пламя)
кобальт (валовое содержание)	М-МВИ 80-2008	атомно-эмиссионная спектрометрия (АЭС), атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС-ЭТ, ААС пламя)
медь (валовое содержание)	М-МВИ 80-2008	атомно-эмиссионная спектрометрия (АЭС), атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС-ЭТ, ААС пламя)
никель (валовое содержание)	М-МВИ 80-2008	атомно-эмиссионная спектрометрия (АЭС), атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС-ЭТ, ААС пламя)
цинк (валовое содержание)	М-МВИ 80-2008	атомно-эмиссионная спектрометрия (АЭС), атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС-ЭТ, ААС пламя)
водородный показатель pH (солевой вытяжки)	ГОСТ 26483-85	кондуктометрический
обменный натрий	ГОСТ 26950-86	пламенная спектрофотометрия
обменный калий	ГОСТ 26205-91	фотоэлектроколориметрия
емкость катионного обмена	ГОСТ 17.4.4.01-84	фотометрический

токсичность острая	ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 (Т16.1:2:2.3:3.9-06) ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 (Т16.1:2:2.3:3.7-04) ФР.1.39.2015.19244 ФР.1.39.2007.03221	токсикологический
всхожесть и энергия прорастания	ГОСТ 12038-84	-
влажность	ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.58-08 ГОСТ 5180-84	гравиметрический высушивание
плотность	ГОСТ 5180-84	пикнометрический
отбор проб	ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3:3.2-03	инструментальный

2.3 Методика проведения биотестирования

Для оценки степени токсического действия на окружающую среду использовалась кратность разведения водной вытяжки из буровых шламов и почвогрунтов. Для этого в качестве тест-объектов выбиралось не менее двух гидробионтов из разных систематических групп (*Daphnia magna* Straus и *Paramecium caudatum* Ehrenberg, *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg и *Chlorella vulgaris* Beijer).

Количество выбранных гидробионтов обосновано тем, что по чувствительности и степени изученности среди тест-организмов, используемых для биотестирования каждый имеет ряд преимуществ и ограничений при использовании, при этом один тест-организм не может служить универсальным индикатором одинаково чувствительным к широкому спектру загрязняющих веществ.

Токсическое действие, определенное по результатам биотестирования, устанавливалось по гидробионту, проявившему более высокую чувствительность к анализируемой пробе.

В качестве показателей биотестирования – реакции гидробионтов, использовались следующие тест-функции:

– изменение величины (подавление / стимуляция) оптической плотности культуры тест-объекта (*Chlorella vulgaris* Beijer);

- выживаемость (смертность) тест-объекта (*Daphnia magna* Straus, *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg);
- хемотаксическая реакция (*Paramecium caudatum* Ehrenberg).

2.4 Методика определения биологической активности

Образец бурового шлама или почвогрунта перемешивался и измельчался до однородного состояния.

Для всех образцов определялась влажность, с учетом которой далее рассчитывали численность микрофлоры на 1 грамм сухого бурового шлама / почвогрунта.

Навеска бурового шлама или почвогрунта помещалась в выпарительную чашку, высушивалась до постоянного веса при +85 °С, определялась потеря веса и рассчитывалась влажность образца.

Из образца отбиралась навеска 1 г., переносилась в пробирку с 9 мл 0,9 % натрия хлорида (физраствора). Далее добавлялся по 1 капле стерильный ПАВ ТВИН-80, перекрывался стерильной резиновой пробкой и энергично встряхивался в течение 1 минуты. Затем отстаивался в течение 10 минут, после чего готовилась серия разведений полученной суспензии в 10, 100, 1000, 10000 и т.д. раз.

Из разведений делался посев на агаризованные среды для определения численности ряда физиологических групп бурового шлама и почвогрунтов.

Общее число микрофлоры определялось посевом в толщу мясопептонного агара (МПА). Для этого 1 мл исследуемой суспензии вносился в стерильную чашку Петри и заливался 25-30 мл теплой среды МПА. Перемешивался покачиванием и инкубировался при 30 °С в течение 3-5 суток. Численность выражается в миллионах клеток или колониеобразующих единиц на один грамм сухой пробы (млн КОЕ/г).

Численность *сапрофитной микрофлоры* (синонимы – гнилостной, аммонифицирующей белки) определялась посевом 0,1 мл разведений

суспензии на поверхность МПА. Посевы подсчитывались через 3-5 суток термостатирования при 30 °С.

Численность *актиномицетов, микромицетов и бактерий, использующих органическое вещество без азота*, определялась посевом 0,1 мл разведений суспензии на поверхность крахмало-аммиачного агара (КАА). Посевы подсчитывались через 5-7 суток термостатирования при 30 °С.

Численность *углеводородокисляющих бактерий (УОБ)* определялась посевом 0,1 мл разведений суспензии на поверхность агаризованной минеральной среды Мюнца с нефтью в качестве единственного источника углерода и энергии. Посевы подсчитывались через 7-10 суток термостатирования при 30 °С.

Численность микромицетов отдельно определялась посевом 0,1 мл разведений суспензии на поверхность среды Чапека. Посевы подсчитывались через 3-5 суток термостатирования при 30 °С.

Составы питательных сред:

МПА – мясопептонный агар

Готовый ГМФ агар – 18 г.

Пептон сухой ферментативный – 2,5 г.

Агар бактериологический – 4 г.

Вода дистиллированная – 500 мл.

КАА – крахмало-аммиачный агар

Крахмал растворимый – 5 г.

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 1 г.

K_2HPO_4 – 0,5 г.

MgSO_4 – 0,5 г.

NaCl – 0,5 г.

CaCO_3 – 1,5 г.

Агар бактериологический – 4 г.

Вода дистиллированная – 500 мл.

Среда Мюнца

NaCl – 0,5 г.

KNO₃ – 1 г.

MgSO₄ – 0,2 г.

KH₂PO₄ – 0,15 г.

K₂HPO₄ – 0,35 г.

Агар бактериологический – 10 г.

Нефть стерильная 1 мл.

Среда Чапека

Среда Чапека сухая – 25 г.

Агар бактериологический – 4 г.

2.5 Методика оценки качества растений злаковых культур

Всхожесть и энергия прорастания семян

Для оценки всхожести и энергии прорастания семена вида многолетних растений семейства злаковые – овсяница красная, мятлик луговой, кострец безостый раскладывались на двух слоях увлажненной бумаги в чашках Петри. Чашки Петри помещались в термостаты с поддержанием установленной температуры, которая проверялась трижды в день (утром, в середине дня и вечером) с отклонением не более чем на ± 2 °C. Состояние увлажненности ложа проверялось ежедневно, при необходимости смачивалось водной вытяжкой комнатной температуры, не допуская переувлажнения. Также обеспечивалась постоянная вентиляция в термостатах – ежедневно на несколько секунд приоткрывались крышки чашек Петри (ГОСТ 12038-84).

Лабораторный опыт всхожести семян

Вегетационные опыты морфометрических показателей многолетних растений семейства злаковые (*Festuca rubra* L., *Poa pratensis* L., *Bromus inermis* Leyss.) проводили в трехкратной повторности, объем сосуда до 1 дм³. Сосуды закрывали пленкой для снижения испарения и проращивали в

условиях искусственного освещения при температуре 22-24 °С. Ежедневно делали контрольные взвешивания сосудов и добавляли по массе, испарившейся за сутки, количество воды. Сосуды контрольных вариантов увлажняли водой.

Через 30 суток измеряли высоту надземных побегов и общее число проростков.

Контроль состояния растительного покрова на делянках при опытно-промышленных испытаниях проведен на основании разработанных методик полевых наблюдений, учитывающих следующие показатели:

1. Проективное покрытие почвогрунтов растительностью.
2. Высота надземной части побегов.
3. Масса вегетативных надземных побегов.

Оценку качества наблюдений проводили после завершения посевных мероприятий в конце вегетационного периода текущего года, а также на 2-ой и 3-ий год.

1. Проективное покрытие почв растительностью

Для расчета общего проективного покрытия визуально учитывается отношение проекций всех растений на исследуемом участке (за вычетом просветов между листьями и ветвями) к общей площади, принимаемой за 100 %. При проведении точных инструментальных измерений проективного покрытия почвогрунтов растительностью используется сетка Раменского или рамка-квадрат площадью 1 м², 0,25 м².

2. Морфометрические показатели растений

Исследование морфометрических показателей направлено на более детальное определение жизненного состояния растений, произрастающих на делянке опытно-промышленных испытаний. Наиболее показательным критерием состояния растений в данном случае является высота надземных побегов.

Для определения высоты злаков производят измерение образцов растений равномерно распределенных по участку наблюдений с

использованием мерной линейки, установленной от узла кущения на уровне почвогрунтов до верхушки наиболее высокого надземного побега.

3. Масса вегетативных надземных побегов

Для определения массы надземных побегов с определенной площади срезают надземные побеги, затем проводят взвешивание сырой массы и рассчитывают на определенную единицу измерения. В диссертационной работе расчеты проведены в граммах на 1 м².

Для интенсификации развития растений в составе травосмеси в лабораторных и опытно-промышленных испытаниях использовали гуминовый препарат «Росток» согласно инструкции по применению, способствующий росту и развитию растений в неблагоприятных природно-климатических условиях.

Росток – натуральный гуминовый препарат, изготовленный из торфа, стимулирует рост и развитие растений, адаптирует растения к природным и техногенным воздействиям и предохраняет культурные растения от стрессовых воздействий.

2.6 Схемы проведения исследований

Варианты проведения исследований по изменению солевого состава буровых шламов при внесении мелиорантов в объемных долях 3-20 % представлены в таблице 3. Определение остаточного содержания нефтепродуктов при внесении природных минеральных сорбентов в объемных долях 3-25 % – в таблице 4.

Варианты получения почвогрунтов в лабораторных условиях, заложенных в трехкратной повторности приведены в таблице 5.

По результатам оценки проведения лабораторных исследований было выделено несколько наилучших вариантов почвогрунтов с их последующем применением в опытно-промышленных испытаниях (таблица 6). Делянки

были приняты размерами 1х3 м, высота слоя почвогрунтов – 0,2 м, опыт проведен в трехкратной повторности.

Для закладки опытов была использована смесь многолетних злаковых растений: мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная. Посев семян трав проводился из расчета 120 кг/га (кострец безостый – 70 кг/га, овсяница красная – 40 кг/га, мятлик луговой – 10 кг/га).

Таблица 3 – Варианты внесения мелиорантов для определения изменения солевого состава бурового шлама

Наименование компонента	Вариация
Буровой шлам	<p>Контроль (буровой шлам – 100 %)</p> <p>Буровой шлам + мелиорант (с объемной долей внесения – 3 %; 5 %; 7 %; 10 %; 15 %; 20 %)</p>
Доломитовая мука	
Гипс	
Фосфогипс	
Известь негашеная	
Карналлит	

Таблица 4 – Варианты внесения природных минеральных сорбентов для определения остаточного содержания нефтепродуктов

Наименование компонента	Вариация
Буровой шлам	<p>Контроль (буровой шлам – 100 %)</p> <p>Буровой шлам + природный минеральный сорбент (с объемной долей внесения – 3 %; 5 %; 7 %; 10 %; 15 %; 20 %; 25 %)</p>
Глауконит (крупка)	
Глауконит (мука)	
Диатомит	

Таблица 5 – Варианты компонентного состава почвогрунтов в лабораторных условиях

Наименование компонента	Номер варианта, объемная доля %												
	Контроль	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Диатомит	-	10						-					
Глауконит	-	-						10					
Буровой шлам	100	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40
Доломитовая мука	-	-	-	10	10	-	-	-	-	10	10	-	-
Гипс	-	10	10	-	-	-	-	10	10	-	-	-	-
Фосфогипс	-	-	-	-	-	10	10	-	-	-	-	10	10

Наименование компонента	Номер варианта, объемная доля %												
	<i>Контроль</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>
Торф низовой	-	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40
Гум. пр-т. «Росток»	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+

Таблица 6 – Варианты компонентного состава почвогрунтов в опытно-промышленных испытаниях

Вариант	Компонент, объемная доля %						
	буровой шлам	доломитовая мука	гипс	диатомит	глауконит	торф низовой	гум. пр-т. «Росток»
1	100	-					
2	80	10	-	10	-	-	-
3	40					40	+
4	80	-	10	-	10	-	-
5	40					40	+

2.7 Статистическая обработка результатов исследований

Математическая обработка результатов проводилась с использованием программы Microsoft Excel 2007, с применением основных статистических методов и закономерностей. Для оценки полученных результатов использовался дисперсионный анализ однофакторного вегетационного опыта.

ГЛАВА 3 ХИМИКО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУРОВЫХ ШЛАМОВ

Буровой шлам в основном состоит из выбуренной породы, которая образуется при размельчении горной породы в недрах с помощью породоразрушающего инструмента (бурового долота) и поднимается на дневную поверхность буровым раствором (Михайлова, 2000; Сафонова, 2013).

Глинистые минералы выбуренной породы (монтмориллонит, каолинит, иллит) в процессе забоя скважины пропитываются буровым раствором и выносятся на дневную поверхность. Частицы глинистых минералов выбуренной породы находятся в буровом растворе, в результате этого происходит адгезионное присоединение к частицам водных коллоидно-суспензионных систем из буровых растворов. На изменение физико-химических свойств частиц выбуренной породы при превращении их в буровые отходы влияет тип бурового раствора. Поры частиц породы заполняются дисперсионной средой бурового раствора, поверхность глинистых частиц модифицируется, на внешней и внутренней поверхности частиц выбуренной породы адсорбируются вещества различной природы (тяжелые металлы, хлориды, сульфаты, нефтепродукты) (Малышкин, 2010; Мазлова, 2010; Сафонова, 2012).

Химические реагенты, вводимые в буровой раствор, используются для регулирования щелочности, ингибирования глинистых сланцев и обуславливают щелочную реакцию и засоленность буровых шламов в сравнении с природными поверхностными суглинистыми отложениями в условиях Западной Сибири.

ГЛАВА 3. ХИМИКО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУРОВЫХ ШЛАМОВ

3.1 Рентгеноструктурный и гранулометрический составы буровых шламов

Фазовым анализом называется установление числа фаз в данной системе и их идентификация.

Рентгеновский метод фазового анализа основан на том, что каждое кристаллическое вещество дает специфическую интерференционную картину с определенным количеством, расположением и интенсивностью интерференционных линий, которые определяются природой и расположением атомов в данном веществе. Так как почти нет двух кристаллических веществ, которые обладали бы одинаковой во всех отношениях кристаллической структурой, то рентгенограммы почти однозначно характеризуют данное вещество и никакое другое. В смеси нескольких веществ каждое из них дает свою картину рентгеновской дифракции независимо от других. Полученная рентгенограмма смеси представляет собой сумму ряда рентгенограмм, которые получились бы, если бы на одну и ту же пленку поочередно снимали каждое вещество в отдельности.

Различные особенности кристаллической структуры глинистых минералов обуславливают их весьма разнообразные физико-химические свойства. Емкость катионного обмена (обменная емкость) служит косвенным показателем способности глинистых минералов оказывать влияние на процессы, протекающие в породах, в том числе на формирование экранирующих свойств пород (Михалкина, 2016).

Наибольшую роль в свойствах буровых шламов играют глинистые минералы – способствуют набуханию за счет мелкодисперсных частицы. К

данному ряду минералов можно отнести по способности к набуханию: монтмориллонитовые > гидрослюдастые > каолинитовые.

Результаты исследований содержания глинистых минералов в буровых шламах представлено на рисунке 3 и в таблице 5.



Рис. 3 – Результаты рентгеноструктурного анализа

На основании рентгеноструктурного анализа определён минералогический состав бурового шлама (табл. 7). Установлено высокое содержание кальцита, плагиоклаза, кварца, калиевого полевого шпата (КПШ).

Таблица 7 – Минералогический состав средней пробы буровых шламов от групп месторождений ХМАО-Югра

Содержание минералов, %										
Кварц	КПШ	Плагиоклаз	Хлорит	Каолинит	Иллит	ССО	Кальцит	Доломит	Сидерит	Пирит
18,2	13,6	19,2	1,1	6,3	3,3	2,6	31,9	1,1	1,2	1,5

Примечание: ССО – смешанослоистый минерал, представляющий чередующиеся слои гидрослюда и монтмориллонита.

При анализе содержания глинистых минералов в составе проб бурового шлама было выявлено, что наибольший процент составляют каолинит, хлорит и гидрослюда от общего содержания глинистых минералов.

Минералогический состав почв является фактором почвообразования, определяющим содержание и соотношение в почвах элементов питания и токсикантов, процессы ионного обмена, устойчивость почв к деградации, плодородие почв (Савич и др., 2016).

Существенным вопросом с точки зрения возможности использования буровых шламов для биологической рекультивации (почвогрунт) является гранулометрический состав. Результаты гранулометрического состава образцов бурового шлама представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты гранулометрического состава образцов бурового шлама на территории месторождений ХМАО-Югры

№ п/п	Диаметр частиц, мм							Классификация по механическому составу*
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	< 0,01	
БШ _{с1}	0,73	2,02	5,16	0,00	11,37	80,72	92,09	Глина тяжелая
БШ _{с2}	4,59	1,19	57,78	0,01	17,97	18,46	36,44	Суглинок средний
БШ _{с3}	4,95	2,75	62,68	0,01	11,12	18,49	29,62	Суглинок легкий
БШ _{пг1}	2,61	9,12	54,28	0,06	20,11	13,82	33,99	Суглинок средний
БШ _{пг2}	3,58	7,28	52,33	0,08	18,69	18,04	36,81	Суглинок средний
БШ _{пг3}	2,29	3,38	58,92	0,22	19,80	15,39	35,41	Суглинок средний
БШ _{ипг1}	0,24	0,65	0,00	0,00	35,51	63,60	99,11	Глина тяжелая
БШ _{ипг2}	0,12	10,05	51,68	12,85	21,62	3,68	38,15	Суглинок средний
БШ _{пуО1}	0,00	0,74	1,03	0,00	1,29	96,94	98,23	Глина тяжелая
БШ _{пуО2}	0,20	0,72	2,02	0,01	11,29	85,76	97,06	Глина тяжелая
Минимум	0,00	0,65	0,00	0,00	1,29	3,68	29,62	
Максимум	4,95	9,12	58,92	12,85	35,51	96,94	99,11	

*Примечание: с – солевой буровой раствор на водной основе; пг – полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; ипг – ингибированный полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; пуО – буровой раствор на углеводородной основе; 1-3 – порядковый номер пробы; * – классификация по гранулометрическому составу Н.А.Качинского.*

По результатам оценки содержания групп гранулометрических элементов, буровые шламы относятся от суглинка легкого до глины тяжелой. Буровой раствор в своем составе содержит бентониты в большем количестве, что влияет на гранулометрический состав (< 0,001), происходит увеличение содержания группы физической глины.

При определении распределения дисперсных частиц по фракциям выявлено, что в образцах БШ_{сз}, БШ_{инг1}, БШ_{руО1}, БШ_{руО2} было превалирование физической глины – илистой фракции, что позволяет отнести твердую фазу отходов к классификации глина тяжелая. Илистая фракция, из-за своей гидрофильности и мелкодисперсного размера частиц, образует с жидкой фазой отходов дисперсную систему, которая при отсутствии внешних воздействий остается устойчивой на долгое время.

Высокое содержание физической глины в буровых шламах обуславливает отрицательные физико-химические свойства отхода (набухаемость, низкая фильтрация).

Основными фракциями в составе буровых шламов являются фракции с размером частиц 0,05-0,01, 0,005-0,001, < 0,001 и < 0,01 0,05 до 0,005 мм и менее 0,005 мм. Это свидетельствует о том, что в составе буровых шламов преобладают глинистые и пылеватые частицы.

По результатам гранулометрического состава твердой фазы буровых шламов можно сделать вывод о том, что содержание гранулометрических элементов зависит от выбуренной породы, проходимой в процессе бурения, и компонентного состава используемого бурового раствора.

3.2 Исследование химического состава твердой фазы и водной вытяжки образцов буровых шламов

Содержание в буровых шламах водорастворимых солей (хлорид-ионов, сульфат-ионов) приводит к токсическому действию на живые организмы. Довольно значимую роль имеют водорастворимые хлориды, в меньшей степени – сульфаты. Это объясняется тем, что сульфаты, обладая наименьшей подвижностью, фиксируются в твердой фазе буровых шламов. В свою очередь, хлориды как наиболее подвижная водорастворимая форма анионов, обладают способностью к миграции. Результаты исследований химического состава образцов буровых шламов представлены в таблице 9.

Тип засоления определялся по соотношению содержания ионов Cl^- и SO_4^{2-} в водной вытяжке ($\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$): хлоридный тип – $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-} > 2,5$; сульфатно-хлоридный тип – $1,5 < \text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-} \leq 2,5$; хлоридно-сульфатный тип – $1 < \text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-} \leq 1,5$; сульфатный тип – $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-} < 1,0$. (ГОСТ 25100-2020).

По типу засоления изучаемые пробы буровых шламов в большинстве случаев относились к хлоридному типу засоления, в частности буровые шламы на солевом, ингибированном полимер-глинистом растворах и растворе на углеводородной основе, значения варьировались от 10 до 83,8 раз. Сульфатный тип засоления наблюдался в пробе БШ_{с3} и отношение $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ составило 0,46 раз. При анализе буровых шламов на полимер-глинистом растворе был выявлен сульфатно-хлоридный тип засоления с отношением $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ в 1,88 раз.

По степени засоления буровые шламы на солевом растворе относились к средnezасоленным, на углеводородной основе к слабозасоленным. Пробы бурового шлама на полимер-глинистом и ингибированном полимер-глинистом растворах БШ_{пг2}, БШ_{пг3}, БШ_{инг1}, БШ_{инг2} являются незасоленными.

Результаты исследований образцов буровых шламов показывают, что уровень содержания водорастворимым солей зависит от типа используемого бурового раствора. Высокая доля нахождения водорастворимых солей отмечалась в буровом шламе на солевом и углеводородном растворах, при этом наибольшее значение хлорид-ионов составило от 4049 до 6568 мг/кг.

По уровню водородного показателя среды пробы бурового шлама можно отнести от нейтральной до слабощелочной среды – 7,26 и 8,7 ед. pH соответственно.

Таблица 9 – Результаты исследований химического состава образцов буровых шлам

Наименование пробы	Наименование показателя											
	Сульфат-ион (водорастворимая форма), мг/кг			Хлорид-ион (водорастворимая форма), мг/кг			Плотный остаток водной вытяжки, %			рН, ед.рН		
	значение	Δ	$S_{\bar{x}}$	значение	Δ	$S_{\bar{x}}$	значение	Δ	$S_{\bar{x}}$	значение	Δ	$S_{\bar{x}}$
БШ _{с1}	93,0	±14,0	±1,54	6568,0	±985	±8,08	2,48	±0,17	±0,05	8,7	±0,10	±0,05
БШ _{с2}	57,0	±9,0	±2,69	4778,0	±717	±4,62	2,25	±0,16	±0,09	7,26	±0,10	±0,26
БШ _{с3}	1084,0	±163	±15,01	494,0	±74	±3,46	1,67	±0,117	±0,03	8,36	±0,10	±0,22
БШ _{пг1}	75,0	±11,3	±1,54	750,0	±112	±2,69	0,3	±0,03	±0,001	7,9	±0,10	±0,29
БШ _{пг2}	125,0	±18,8	±5,00	234,0	±35	±5,00	0,21	±0,021	±0,001	8,31	±0,10	±0,31
БШ _{пг3}	105,0	±15,8	±5,00	198,0	±30	±2,69	0,22	±0,022	±0,001	8,2	±0,10	±0,29
БШ _{ипг1}	90,0	±13,5	±1,54	394,0	±59	±2,69	0,21	±0,021	±0,001	8,31	±0,10	±0,06
БШ _{ипг2}	80,0	±12,0	±2,69	353,0	±53	±5,00	0,22	±0,022	±0,001	8,31	±0,10	±0,25
БШ _{руО1}	140,0	±21,0	±2,69	4049,0	±607	±7,31	0,83	±0,083	±0,01	7,31	±0,10	±0,19
БШ _{руО2}	140,0	±21,0	±3,46	2690,0	±403	±8,08	1,02	±0,714	±0,01	7,31	±0,10	±0,30

Примечание: с – солевой буровой раствор на водной основе; пг – полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; ипг – ингибированный полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; РУО – буровой раствор на углеводородной основе; 1-3 – порядковый номер пробы;

Δ – погрешность методик (методов) выполнения измерений; $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

Валовое содержание тяжелых металлов зависит не только от компонентов, входящих в состав бурового раствора, но и от свойств выбуренной горной породы. Тяжёлые металлы в образцах буровых шламов находятся в малодоступной для биологического усвоения форме, и в таком виде не могут обладать токсичностью для живых организмов. Максимальное содержание наблюдалось по марганцу и составило от 125,0 до 625,0 мг/кг (таблица 10).

Содержание тяжелых металлов по степени их убывания отражено в следующем ряду: $Mn > Zn > Pb > Cu > Co > As$. При сравнении концентраций тяжелых металлов в пробах буровых шламов с кларками в литосфере, выявлено превышение во всех образцах по мышьяку в 23,6 раз, а также по свинцу в двух пробах в 1,7 и 2,2 раза соответственно.

Исследования по определению химического состава образцов буровых шламов можно отнести к достаточной точности проведения на основании рассчитанных величин относительной ошибки выборочной средней (менее 5 %) и коэффициентов вариации качественных признаков, находившихся в границах от 0,03 до 9,49 %, свидетельствующих о незначительной степени изменчивости (менее 10 %) выборочной совокупности (приложение 3).

Таблица 10 – Химический состав проб буровых шламов с применением разных типов буровых растворов

Наименование показателя	Ед. изм.	БШ _{с1}	БШ _{с2}	БШ _{с3}	БШ _{пг1}	БШ _{пг2}	БШ _{пг3}	БШ _{инг1}	БШ _{инг2}	БШ _{руО1}	БШ _{руО2}	Кларки микроэлементов в литосфере*
Содержание тяжелых металлов												
Марганец (валовое содержание)	мг/кг	625,0	298,0	601,0	530,0	619,0	420,0	125,0	321,0	406,0	332,0	850,0
	Δ	±125	±60,0	±120	±106	±124	±84,0	±25,0	±64,4	±81,2	±66,4	-
	S _х	±7,31	±7,31	±6,16	±7,31	±1,54	±20,01	±2,69	±6,16	±15,01	±1,54	-
Медь (валовое содержание)	мг/кг	21,0	40,0	23,0	<20,0	<20,0	<20,0	18,0	20,0	16,0	23,0	45,0
	Δ	±6,3	±12,0	±7,0	-	-	-	±5,4	±6,0	±4,8	±7,0	-
	S _х	±0,38	±1,15	±0,38	-	-	-	±0,38	±1,00	±0,22	±0,38	-
Свинец (валовое содержание)	мг/кг	33,00	44,0	<10,00	20,0	20,0	14,0	20,0	20,0	<10,00	<10,00	20,0
	Δ	±10,0	±13,0	-	±6,0	±6,0	±4,2	±1,8	±6,0	-	-	-
	S _х	±1,15	±1,54	-	±0,38	±0,38	±0,38	±1,19	±0,99	-	-	-
Цинк (валовое содержание)	мг/кг	41,0	67,0	147,0	40,0	39,0	30,0	12,0	32,0	39,0	29,0	95,0
	Δ	±10,3	±16,8	±37,0	±10,0	±10,0	±7,5	±3,0	±8,0	±10,0	±7,3	-
	S _х	±0,38	±0,38	±3,46	±1,54	±1,15	±1,15	±0,38	±0,74	±0,15	±1,15	-
Кадмий (валовое содержание)	мг/кг	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	0,3
	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S _х	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Кобальт (валовое содержание)	мг/кг	5,4	6,7	8,0	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	19,0

	Δ	$\pm 1,8$	$\pm 2,3$	$\pm 3,0$	-	-	-	-	-	-	-	-
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 0,24$	$\pm 0,26$	$\pm 0,38$	-	-	-	-	-	-	-	-
Мышьяк	мг/кг	3,06	3,90	3,11	2,21	2,67	1,88	0,21	2,0	2,02	2,87	1,3
	Δ	$\pm 0,92$	$\pm 1,2$	$\pm 0,93$	$\pm 0,66$	$\pm 0,8$	$\pm 0,56$	$\pm 0,06$	$\pm 0,6$	$\pm 0,6$	$\pm 0,86$	-
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 0,07$	$\pm 0,11$	$\pm 0,02$	$\pm 0,08$	$\pm 0,11$	$\pm 0,04$	$\pm 0,01$	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$	$\pm 0,11$	-
Никель (валовое содержание)	мг/кг	<50,00	<50,00	<50,00	<50,00	<50,00	<50,00	<50,00	<50,00	<50,00	<50,00	68,0
	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$S_{\bar{x}}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ртуть	мг/кг	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,24	0,4
	Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\pm 0,12$	-
	$S_{\bar{x}}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\pm 0,001$	-
Остаточное содержание нефтепродуктов												
Нефтепродукты	мг/кг	1700	7000	9600	1100	1300	1400	3100	2600	4500	1800	500**
	Δ	± 714	± 2940	± 4032	± 462	± 546	± 588	± 1302	± 1092	± 1890	± 756	-
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 70,4$	$\pm 299,1$	$\pm 437,6$	$\pm 35,03$	$\pm 60,4$	$\pm 29,29$	$\pm 88,14$	$\pm 128,2$	$\pm 65,82$	$\pm 73,90$	-

Примечание: с – солевой буровой раствор на водной основе; пг – полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; ипг – ингибированный полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; РУО – буровой раствор на углеводородной основе; 1-3 – порядковый номер пробы; * – кларки микроэлементов в литосфере осадочных (глины) приняты по К.К. Турекьяну, К.Х. Ведеполю; ** – в соответствии со шкалой Пиковского;

Δ – погрешность методик (методов) выполнения измерений; $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

3.3 Оценка токсичности буровых шламов методом биотестирования

Буровые шламы представляют собой существенный фактор загрязнения окружающей природной среды, компоненты которого обладают значительным токсическим действием (Рыбина, 2004).

Степень токсичности буровых шламов обусловлена совместным действием компонентов, входящих в состав буровых растворов, и способных в растворенном или взвешенном состоянии переходить в водную среду (нефтепродукты, водорастворимые соли, тяжелые металлы). Более высокой токсичностью обладают буровые шламы, в которых используется солевой раствор (Карпухина и др., 2015).

Использование *Paramecium caudatum* Ehrenberg, *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, *Daphnia magna* Straus, *Chlorella vulgaris* Beijer в качестве тест-объектов для биотестирования позволяет охватить более 80 % подлежащих контролю загрязняющих веществ (Исидоров, 1999).

Paramecium caudatum Ehrenberg является одним из наиболее часто используемых тест-объектов для лабораторных исследований, направленных на определение прямого действия химических соединений. Результаты экспериментальных исследований влияния водных вытяжек из бурового шлама представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Определение острой токсичности на тест-объекте *Paramecium caudatum* Ehrenberg

Наименование пробы	Кратность разбавления, раз	
	1	10
	Индекс токсичности, у.е.	
БШ _{с1}	0,69	0,37
БШ _{с2}	0,61	0,29
БШ _{с3}	0,66	0,31
БШ _{пг1}	0,46	0,26
БШ _{пг2}	0,51	0,29
БШ _{пг3}	0,43	0,20
БШ _{ипг1}	0,54	0,32
БШ _{ипг2}	0,49	0,29

Наименование пробы	Кратность разбавления, раз	
	1	10
	Индекс токсичности, у.е.	
БШ _{РУО1}	0,63	0,31
БШ _{РУО2}	0,68	0,36

Примечание: с – солевой буровой раствор на водной основе; пг – полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; ипг – ингибированный полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; РУО – буровой раствор на углеводородной основе; 1-3 – порядковый номер пробы.

При определении острой токсичности водной вытяжки проб буровых шламов летальная кратность разбавления вытяжки, вызывающую гибель 50 % тест-объектов *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg за 48-часовую экспозицию, варьировалась в пределах 2,52-4,23 раз, безвредная кратность разбавления, вызывающая гибель не более 10 % тест-объектов за 48-часовую экспозицию, составила 10 раз (табл. 12).

Таблица 12 – Определение острой токсичности на тест-объекте *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg

Наименование пробы	Кратность разведения, раз			ЛКР 50-48, раз	БКР 10-48, раз
	1	10	100		
	Гибель цериодафний, % / шт.				
БШ _{с1}	100/20	5/1	0/0	3,90	10,00
БШ _{с2}	100/20	5/1	0/0	3,78	10,00
БШ _{с3}	100/20	10/2	0/0	4,23	10,00
БШ _{пг1}	90/18	5/1	0/0	2,76	10,00
БШ _{пг2}	85/17	5/1	0/0	2,52	10,00
БШ _{пг3}	90/18	5/1	0/0	2,64	10,00
БШ _{ипг1}	85/17	5/1	0/0	2,53	10,00
БШ _{ипг2}	85/17	5/1	0/0	2,47	10,00
БШ _{руО1}	100/20	10/2	0/0	3,86	10,00
БШ _{руО2}	100/20	10/2	0/0	3,84	10,00

Примечание: с – солевой буровой раствор на водной основе; пг – полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; ипг – ингибированный полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; РУО – буровой раствор на углеводородной основе; 1-3 – порядковый номер пробы.

При оценке летальной кратности разбавления (ЛКР) можно сделать вывод о том, что пробы бурового шлама на солевом растворе и углеводородном оказывают большее токсическое действие на *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg.

Наиболее универсальным тест-объектом по чувствительности и адекватности реагирования на различные токсиканты признан вид Дафний – *Daphnia magna* Straus (табл. 13).

Результаты исследований острой токсичности водной вытяжки образцов буровых шламов показали, что летальная кратность разбавления вытяжки отхода, вызывает гибель 50 % тест-объектов за 48-часовую экспозицию, и варьировала в пределах 1,85-3,20 раз.

Таблица 13 – Определение острой токсичности на тест-объекте *Daphnia magna* Straus

Наименование пробы	Кратность разведения, раз					ЛКР 50-48, раз	БКР 10-48, раз
	1	10	100	1000	10000		
	Гибель дафний, % / шт.						
БШ _{с1}	100/10	0	0	0	0	3,20	10
БШ _{с2}	100/10	0	0	0	0	3,29	10
БШ _{с3}	100/10	0	0	0	0	3,15	10
БШ _{пг1}	80/8	0	0	0	0	2,64	10
БШ _{пг2}	70/7	0	0	0	0	2,31	10
БШ _{пг3}	80/8	0	0	0	0	2,96	10
БШ _{ипг1}	70/7	0	0	0	0	2,42	10
БШ _{ипг2}	50/5	0	0	0	0	1,85	10
БШ _{руО1}	100/10	0	0	0	0	3,12	10
БШ _{руО2}	100/10	0	0	0	0	3,05	10

Примечание: с – солевой буровой раствор на водной основе; пг – полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; ипг – ингибированный полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; РУО – буровой раствор на углеводородной основе; 1-3 – порядковый номер пробы.

Исследования безвредной кратности разбавления водной вытяжки шлама указывают, что гибель тест-объектов *Daphnia magna* Straus за 48-часовую экспозицию не более 10 % достигается при разбавлении в 10 раз.

Наибольшее токсическое действие на *Chlorella vulgaris* Beijer оказывали пробы бурового шлама на полимер-глинистом, ингибированном полимер-глинистом и углеводородном растворах, химический состав которых способствовал подавлению или стимуляции роста зеленой водоросли (табл. 14).

Таблица 14 – Определение острой токсичности на тест-объекте *Chlorella vulgaris* Beijer

Наименование пробы	Кратность разведения, раз				
	1	10	100	1000	10000
	Снижение/увеличение величины оптической плотности культуры, %				
БШ _{с1}	-56,72	-34,24	8,07	10,14	11,6
БШ _{с2}	42,6	36,9	17,3	12,2	10,0
БШ _{с3}	-41,23	-37,79	12,8	8,9	7,3
БШ _{пг1}	48,34	32,77	17,3	13,4	9,85
БШ _{пг2}	64,31	45,3	32,1	19,4	16,9
БШ _{пг3}	42,9	30,13	19,1	17,3	15,2
БШ _{инпг1}	-44,3	-33,28	-12,3	-10,3	-9,1
БШ _{инпг2}	65,3	39,3	22,7	12,6	10,3
БШ _{руО1}	70,78	46,21	20,0	17,6	11,3
БШ _{руО2}	67,4	42,5	19,4	15,4	11,1

Примечание: с – солевой буровой раствор на водной основе; пг – полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; инпг – ингибированный полимер-глинистый буровой раствор на водной основе; РУО – буровой раствор на углеводородной основе; 1-3 – порядковый номер пробы.

Снижение величины оптической плотности культуры водоросли на менее чем 20 % или увеличении на 30 % и менее в водных вытяжках бурового шлама на разных типах бурового раствора по сравнению с контролем за 22 часовую экспозицию достигалось в диапазоне кратности разбавления от 10 до 100 раз.

По итогам анализа полученных данных, в результате проведения токсикологического воздействия на выбранные виды гидробионтов как тест-объектов (*Paramecium caudatum* Ehrenberg, *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, *Daphnia magna* Straus, *Chlorella vulgaris* Beijer), можно сделать вывод о степени негативного воздействия на окружающую среду и отнести все изученные образцы буровых шламов с использованием разных типов буровых растворов к IV классу опасности для окружающей природной среды в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 декабря 2014 года N 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду».

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ МЕЛИОРИРОВАННОГО БУРОВОГО ШЛАМА НА РАСТЕНИЯ СЕМЕЙСТВА ЗЛАКОВЫЕ

Применение разных типов буровых растворов при бурении скважин, в состав которых входят такие компоненты, как едкий калий, кальцинированная сода, хлорид кальция, хлорид калия, известь и т.д., оказывают токсическое действие на компоненты природной среды. Щелочность буровых шламов связана с высоким содержанием водорастворимых солей и является причиной негативного воздействия на почвенный покров и растительность.

Лабораторные исследования по изменению химических свойств путем внесения мелиорантов в разных объемных долях в буровые шламы проводились с целью изменения уровня фитотоксического действия на растения злаковых культур.

Соли в буровых шламах находятся в различных состояниях в зависимости от их количества и свойств (например, растворимость), влажности бурового шлама и структуры порового пространства. Часть солей находится в растворе, где они диссоциируют на ионы с различной степенью подвижности. Часть ионов адсорбирована твердой фазой бурового шлама. Некоторое их количество находится в тупиковых порах, образующих застойные зоны. Нерастворенные соли могут покрывать скопления кристаллов, вплоть до прослоев солей.

Движение солей в буровом шламе может происходить при передвижении влаги. Оно осложняется электрокинетическими явлениями, вызванными взаимодействием ионов солей с диполями молекул воды, диффузионными процессами из-за разности концентрации раствора, осмотическими явлениями, термодиффузионными процессами из-за разности температур, процессами сорбции и десорбции, растворения и кристаллизации солей (Голованов, 1983).

4.1 Влияние мелиорантов на солевой состав бурового шлама

С целью снижения токсикологических свойств буровых шламов необходимо осуществлять изменения химического состава, путем внесения химических реагентов, например, мелиорантов – гипс, фосфогипс и пр.

Этот процесс осуществляется путем смешения в определенных пропорциях мелиорантов и буровых шламов.

Буровой шлам способен поглощать и удерживать растворенные в воде соли магния, натрия и т.д. Объясняется это тем, что частицы благодаря силам молекулярного притяжения способны притягивать и с большой силой удерживать на поверхности молекулы различных веществ.

Способность бурового шлама поглощать вещества из раствора во многом зависит от содержания в нем мельчайших частиц, главным образом – коллоидных. В основе такой связи лежит сила молекулярного притяжения (адсорбция). Причина, препятствующая отдельным коллоидным частицам притягиваться и соединяться друг с другом в более крупные агрегаты, – одноименность их электрических зарядов.

Поглощенные катионы прочно удерживаются на поверхности коллоидных частиц и могут быть вытеснены обратно другими катионами. Вследствие этого поглощение ионов является по существу обменом катионов на поверхности мельчайших частиц бурового шлама (обменная адсорбция).

Чем больше коллоидов в буровом шламе, тем больше его емкость поглощения, т.е. максимальное количество катионов, которые они способны поглотить из бурового раствора.

Поглощающий комплекс бурового шлама благодаря адсорбционной способности своих отрицательно заряженных коллоидных частиц насыщен катионами. Но качественный состав поглощенных катионов зависит от химических реагентов буровых растворов. У одних буровых шламов поглощающий комплекс насыщен главным образом Ca^{2+} и Mg^{2+} , у других – Na^+ , у третьих – H^+ , Al^{3+} и т.д.

Состав поглощенных катионов непосредственно сказывается на свойствах буровых шламов. Так, буровые шламы, содержащие в своем поглощающем комплексе только поглощенный натрий Na^+ , обладают очень непрочной структурой, при увлажнении они расплываются в непроницаемую для воды и воздуха вязкую массу, а при высыхании резко сокращаются в объеме, образуют трещины и превращаются в монолитные, очень крепкие глыбы, трудно поддающиеся обработке.

Поглощенные катионы оказывают сильное влияние и на химические свойства бурового шлама. Буровые шламы, в поглощающем комплексе, которого находится натрий, имеют щелочную реакцию. Высокая щелочность резко ухудшает водно-физические свойства буровых шламов, усиливает пептизацию коллоидов, угнетает развитие растений, нарушая ход физиологических процессов.

Результаты внесения мелиорантов (доломитовая мука, гипс, фосфогипс, известь негашеная и карналлит) в различных объемных долях в буровой шлам, представлены на рисунках 4-8.

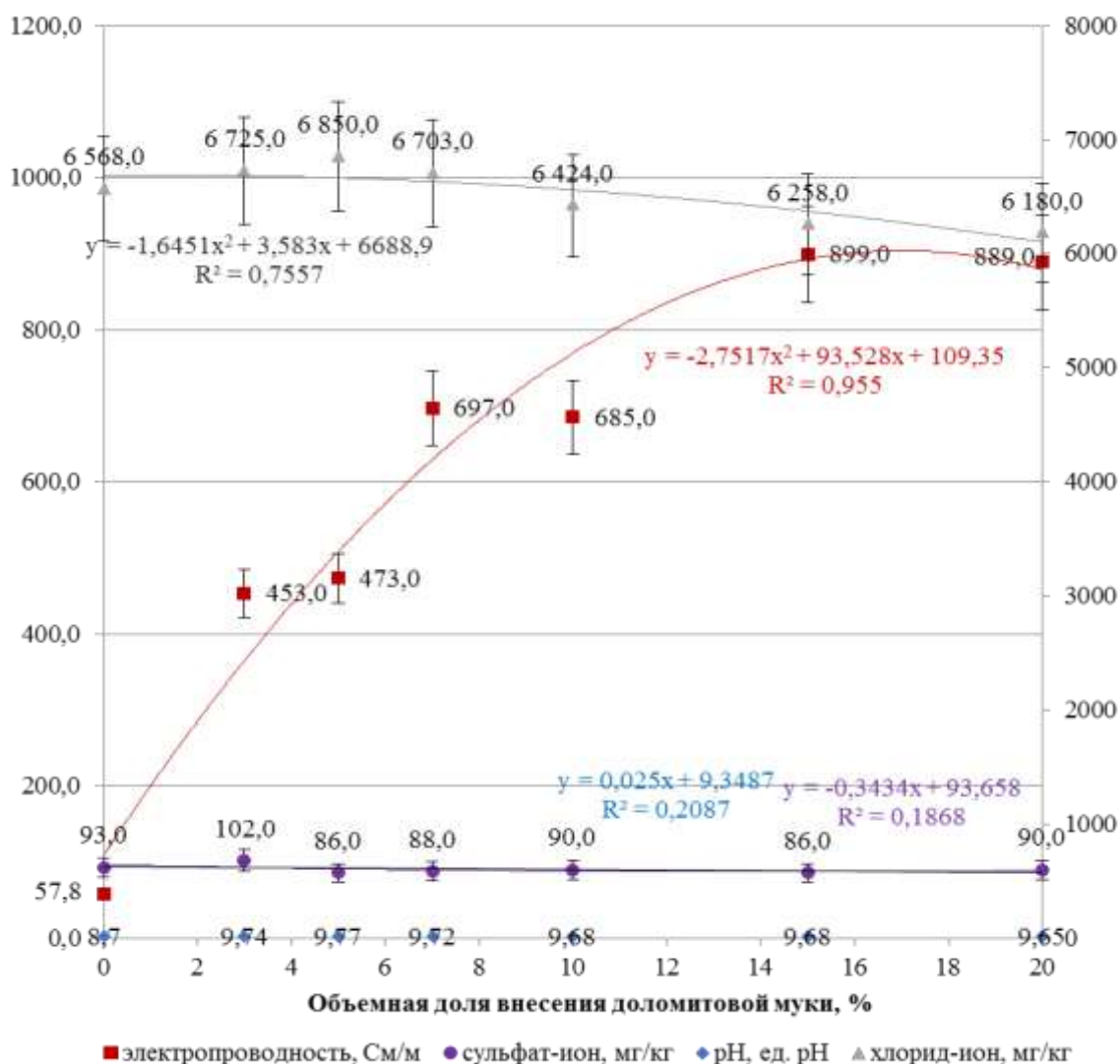


Рисунок 4 – Влияние внесения доломитовой муки на солевой состав бурового шлама

Результаты исследований внесения доломитовой муки в буровой шлам показали, что происходит увеличение реакции среды в щелочную сторону, значения варьировались от 9,65 до 9,77 ед. pH. С повышением объемной доли внесения мелиоранта концентрация хлорид-ионов увеличивалась до 1,04 раза по отношению к контрольному образцу – 6568 мг/кг, обратный эффект наблюдался у сульфат-ионов со снижением до 1,1 раза (хлоридно-сульфатное засоление). Электропроводность возрастала в более чем 7,8 раз, что свидетельствует о том, что часть солей была переведена в водорастворимую форму.

Увеличение концентрации водорастворимых солей в водной вытяжке напрямую зависит от объемной доли доломитовой муки, о чем свидетельствует высокий уровень связи между объемной долей внесения мелиоранта и значений электропроводности, что указывает на корреляционную зависимость – прямая сильная связь 0,9.

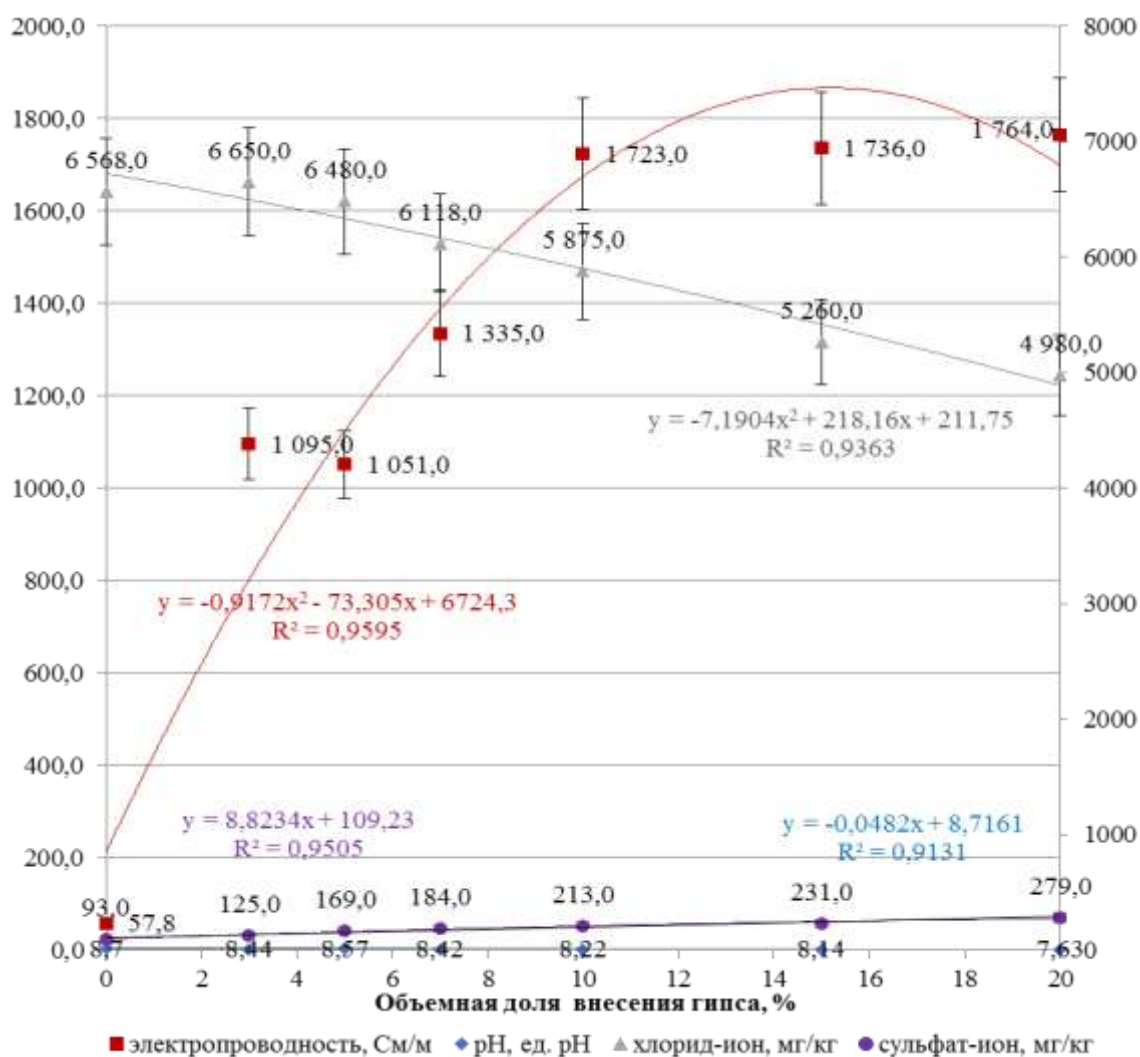


Рисунок 5 – Влияние внесения гипса на солевой состав бурового шлама

При внесении гипса в буровой шлам в разных процентных соотношениях от объема отхода (3-20 %) было выявлено изменение концентрации хлорид-иона 4980,0-6650,0 мг/кг, при этом наблюдалось хлоридно-сульфатное засоление. Содержание сульфат-иона возрастает при минимальной объемной доле внесения мелиоранта в 3 раза. Вариация концентрации сульфат-иона незначительна при увеличении объема внесения

мелиоранта и находилась в пределах 125,0-279,0 мг/кг. Значения водородного показателя среды снизилось с 8,67 до 7,63 ед. pH, т.е. произошло изменение со щелочной до слабощелочной реакции среды.

Изменение электропроводности в 18 и более раз свидетельствует об увеличении концентрации водорастворимых солей в водной вытяжке, что подтверждает прямая высокая корреляционная связь – 0,84.

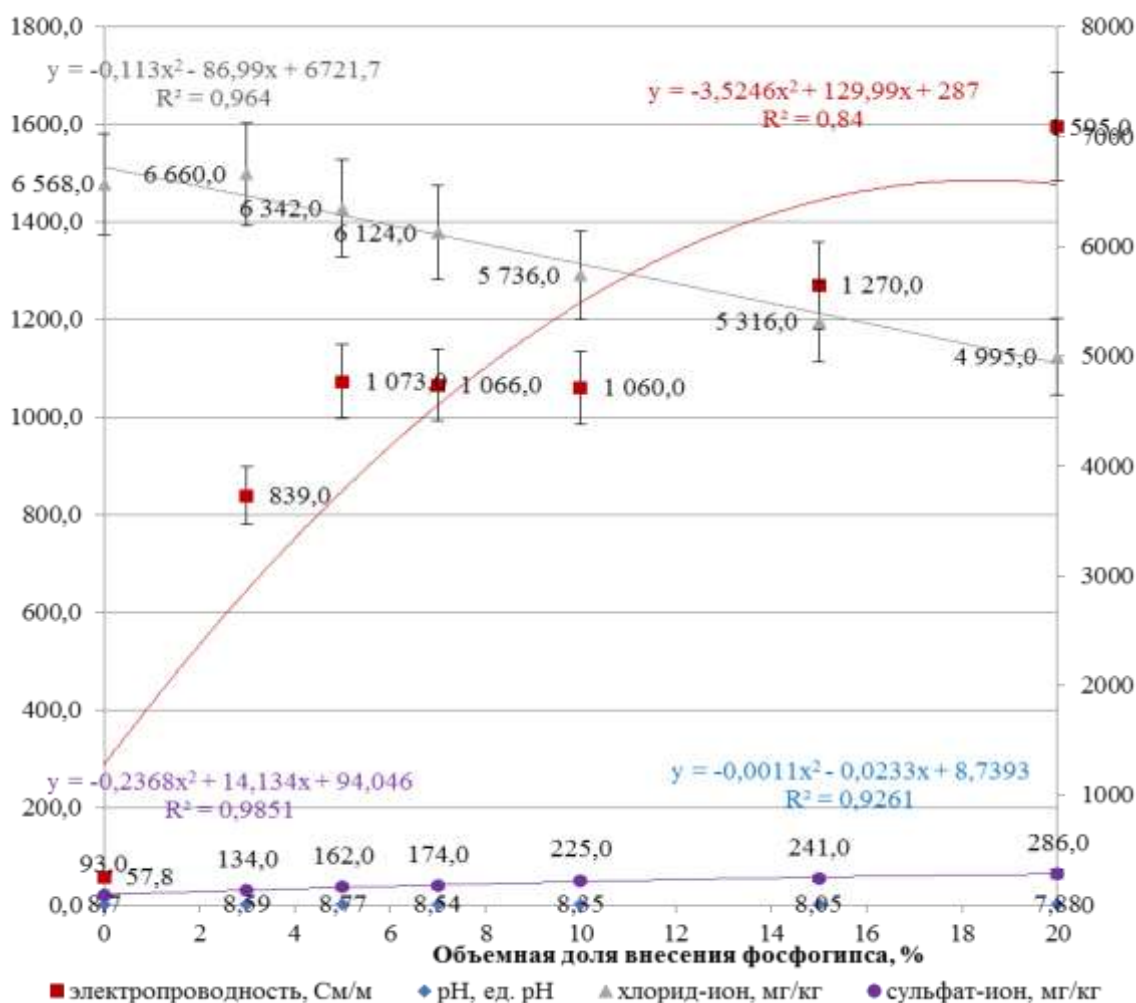


Рисунок 6 – Влияние внесения фосфогипса на солевой состав бурового шлама

Влияние внесения фосфогипса на солевой состав бурового шлама аналогично гипсу. Реакция среды водной вытяжки переходит из щелочной в слабощелочную, значения варьировались от 7,88 до 8,77 ед. pH. Содержание хлорид-ионов при внесении в мелиоранта было в пределах от 4995,0 до

6660,0 мг/кг. Значения сульфат-иона находилось в границах 134,0-286,0 мг/кг, и наблюдалось хлоридно-сульфатное засоление.

Электропроводность, также подтверждает переход солей в растворимую форму, на что указывает увеличение значений электропроводности в зависимости от объема внесения мелиоранта, а также прямая высокая корреляционная связь – 0,86.

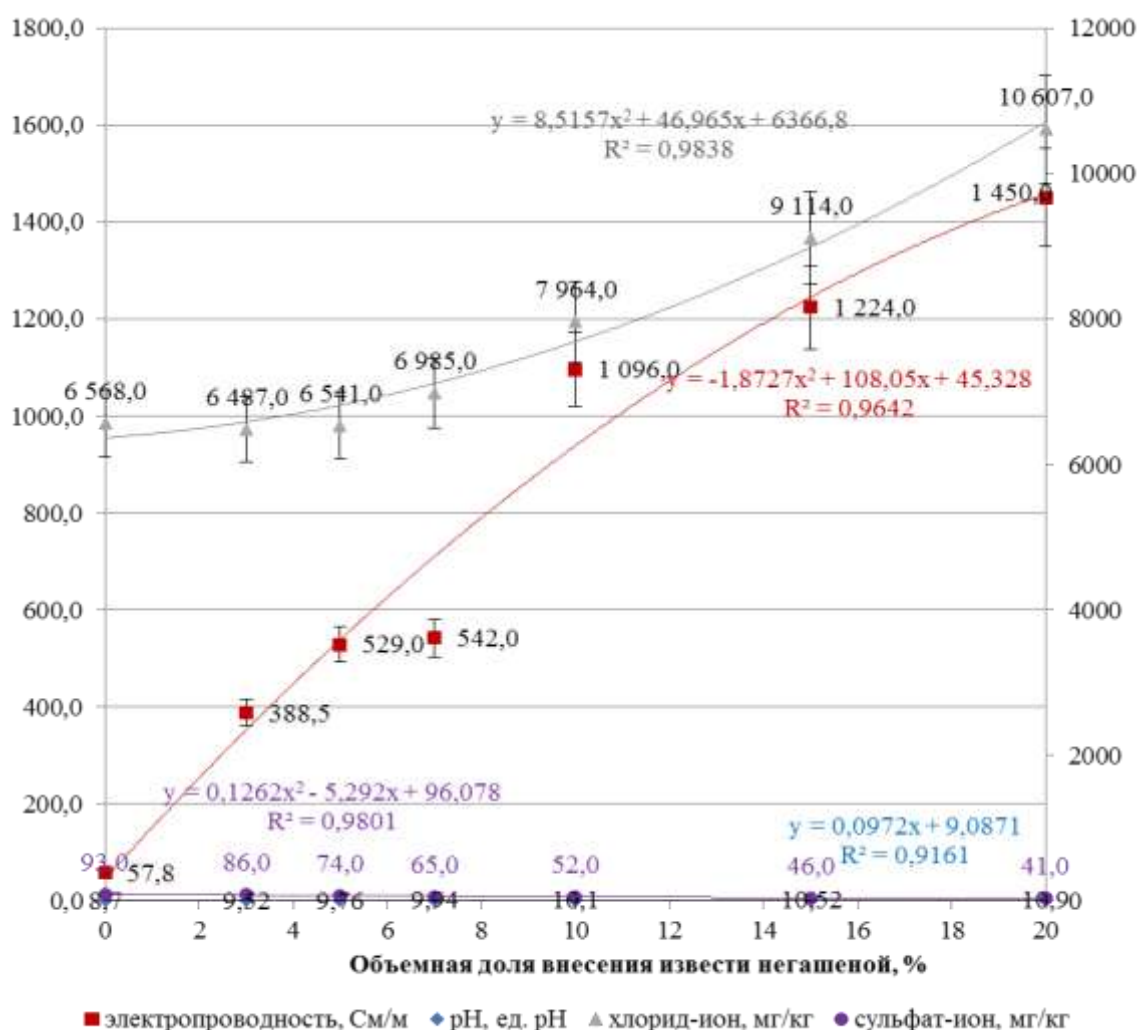


Рис. 7 – Влияние внесения извести негашеной на солевой состав бурового шлама

Известь негашеная является одним из мелиорантов с высокими показателями электропроводности и прямой сильной корреляционной связью – 0,97, напрямую зависящей от объемной доли ее внесения. Снижение содержания сульфат-ионов происходит незначительно до 41 мг/кг. Реакция

среды увеличивается со значения 9,52 до 10,90 ед. рН. Концентрация хлорид-ионов возрастает до 1,6 раз при внесении от 10 % до 20 % извести негашеной от объема бурового шлама, до этой объемной доли изменение содержания хлорид-ионов незначительно (хлоридное засоление).

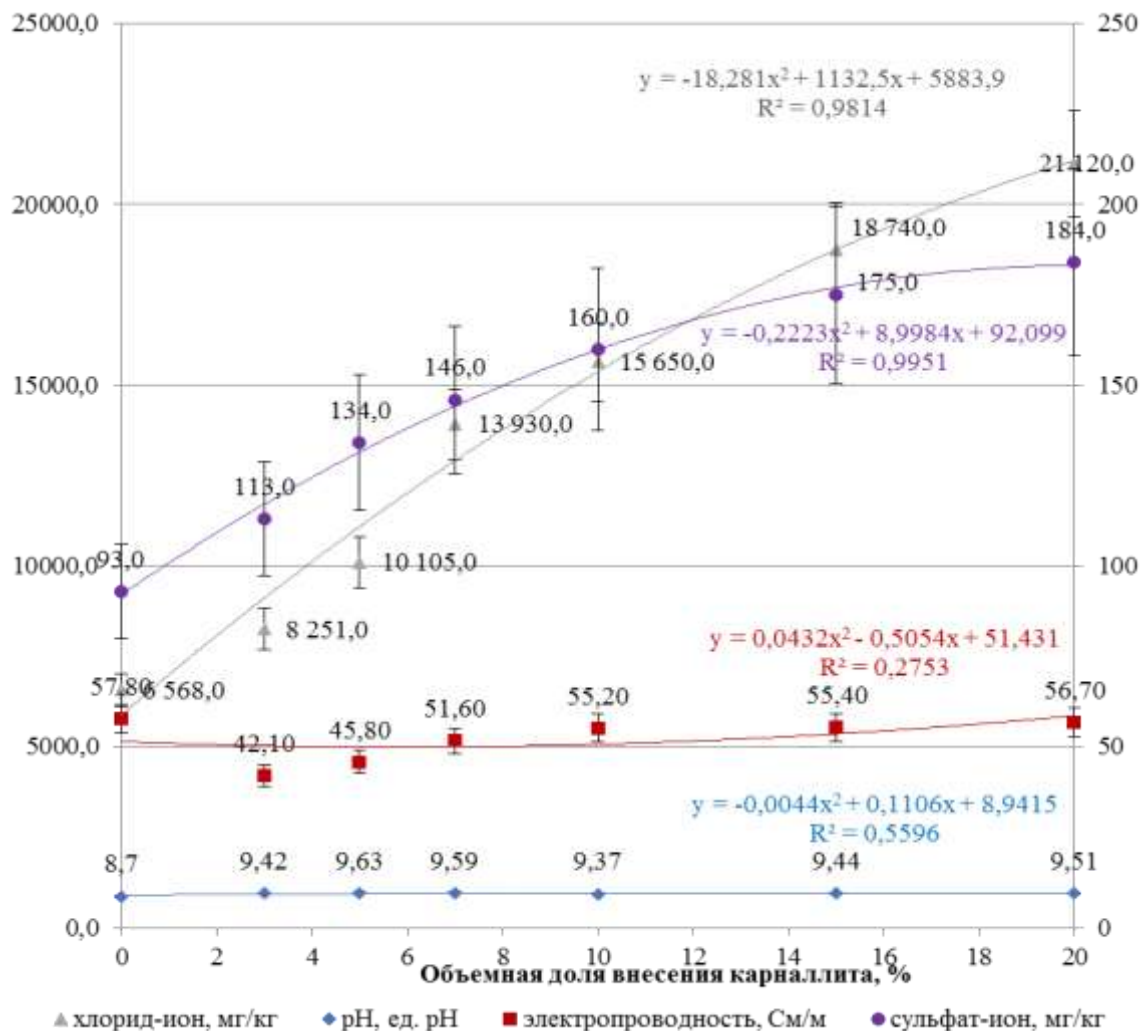


Рис. 8 – Влияние внесения карналлита на солевой состав бурового шлама

Наименее эффективным в качестве используемого мелиоранта является карналлит, при его внесении происходит снижение электропроводности, что указывает на отсутствие ионообменных реакций солей, что подтверждает умеренная прямая корреляционная связь – 0,43. Значение водородного показателя среды находилось в диапазоне 9,37-9,63 ед. рН. При увеличении объемной доли внесения мелиоранта происходит возрастание концентрации хлорид-иона до 3,2 раза. Значение сульфат-иона возросло незначительно в

пределах от 113,0 до 184 мг/кг. При этом отмечается хлоридно-сульфатное засоление с внесением от 3 до 20 % объемных долей карналлита.

Плотный остаток водной вытяжки дает представление об общем содержании растворимых в воде органических и минеральных соединений (таблица 15).

По результатам проведенных исследований, выявлено, что внесение карналлита не способствовало снижению сухого плотного остатка (2,492-2,480 %), этот показатель находился на уровне контрольного образца (2,478 %), при этом наблюдалась слабая обратная корреляционная связь ($r = -0,14$).

При внесении гипса и фосфогипса происходило существенное снижение плотного остатка, содержание этого показателя менее 1 % было от 7 до 20 % объемных долей мелиорантов, при этом наблюдалась высокая обратная корреляционная связь у гипса и фосфогипса 0,72 и 0,70, соответственно.

Внесение доломитовой муки также положительно сказывалось на изменении массы плотного остатка, при добавлении в количестве 15 и 20 % объемных долей, содержание его составило 1,008 и 0,943% соответственно. Наблюдалась очень высокая обратная корреляционная связь 0,94.

Добавление извести негашеной в объемных долях 10, 15 и 20% влияло на массу плотного остатка, значения которого составили от 0,805 до 0,958 %, при этом наблюдалась очень высокая обратная корреляционная связь 0,93.

Образцы буровых шламов с внесением мелиорантов, на основании полученных результатов плотного остатка водной вытяжки по степени засоленности относились от слабозасолённых (содержание растворимых солей 0,5-2 %) до средnezасолённых (содержание растворимых солей 2,0-5,0 %) (ГОСТ 25100).

Таблица 15 – Результаты исследований плотного остатка в водной вытяжке контрольного образца и мелиорированных буровых шламов

Объемная доля внесения мелиоранта, %	Плотный остаток водной вытяжки														
	буровой шлам (контроль)														
	%			Δ			$S_{\bar{x}}$								
	2,478			$\pm 0,17$			$\pm 0,16$								
	Наименование мелиоранта														
	доломитовая мука			гипс			фосфогипс			известь негашеная			карналлит		
	%	Δ	$S_{\bar{x}}$	%	Δ	$S_{\bar{x}}$	%	Δ	$S_{\bar{x}}$	%	Δ	$S_{\bar{x}}$	%	Δ	$S_{\bar{x}}$
3	1,895	$\pm 0,13$	$\pm 0,15$	1,005	$\pm 0,07$	$\pm 0,01$	1,165	$\pm 0,08$	$\pm 0,05$	1,988	$\pm 0,14$	$\pm 0,09$	2,492	$\pm 0,17$	$\pm 0,04$
5	1,776	$\pm 0,12$	$\pm 0,02$	0,924	$\pm 0,09$	$\pm 0,02$	1,024	$\pm 0,07$	$\pm 0,07$	1,901	$\pm 0,13$	$\pm 0,07$	2,491	$\pm 0,17$	$\pm 0,05$
7	1,675	$\pm 0,16$	$\pm 0,02$	0,855	$\pm 0,09$	$\pm 0,03$	0,950	$\pm 0,10$	$\pm 0,09$	1,901	$\pm 0,13$	$\pm 0,05$	2,490	$\pm 0,17$	$\pm 0,13$
10	1,151	$\pm 0,08$	$\pm 0,02$	0,726	$\pm 0,07$	$\pm 0,03$	0,815	$\pm 0,08$	$\pm 0,06$	0,958	$\pm 0,10$	$\pm 0,07$	2,489	$\pm 0,17$	$\pm 0,08$
15	1,008	$\pm 0,07$	$\pm 0,02$	0,678	$\pm 0,07$	$\pm 0,04$	0,725	$\pm 0,07$	$\pm 0,05$	0,866	$\pm 0,09$	$\pm 0,08$	2,489	$\pm 0,17$	$\pm 0,05$
20	0,943	$\pm 0,09$	$\pm 0,04$	0,531	$\pm 0,05$	$\pm 0,02$	0,798	$\pm 0,08$	$\pm 0,07$	0,805	$\pm 0,08$	$\pm 0,07$	2,480	$\pm 0,17$	$\pm 0,11$

Примечание: Δ – погрешность методик (методов) выполнения измерений; $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

4.2 Элюатный способ лабораторного фитотестирования мелиорированного бурового шлама

Для оценки фитотоксичности водных вытяжек из мелиорированного бурового шлама был использован метод определения скорости (энергии) прорастания семян при их проращивании в чашках Петри (метод элюатного фитотестирования).

Смеси приготавливались из буровых шламов, отличающихся геологическими особенностями и используемыми при бурении буровыми растворами, с добавлением различных мелиорантов в разном соотношении.

Исходя из принципа экстремальности, исследования проводились в условиях прямого контакта тест-растения с приготовленными экстрактами. Семена проращивались в чашках Петри с фильтровальной бумагой, куда вносился водный экстракт. Образцы помещались в термостат, обеспечивающий поддержание температуры 25 ± 2 °C на необходимый период для оценки всхожести и энергии прорастания семян.

В качестве тест-объектов использовали семена вида многолетних растений семейства злаковые – овсяница красная (*Festuca rubra* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), кострец безостый (*Bromus inermis* Leyss.), характеристика многолетних растений семейства злаковые представлена в таблице 16.

Растения исходного ассортимента для биологической рекультивации земель должны быть устойчивы к низким температурам, переувлажнению и подтоплению талыми водами в весенний период. Все виды растений должны быть адаптированы к короткому вегетационному периоду и длинному световому дню, формировать дернину, способную закреплять почвогрунты, и в данных климатических условиях размножаться вегетативно, семенным путем или тем и другим способом одновременно.

Для оценки фитотоксичности фиксировались показатели всхожести и энергии прорастания семян (ГОСТ 12038-84).

Фитотоксичность проявляется в угнетении растений, а также в изменении количественных признаков – уменьшение энергии прорастания и всхожести.

Фитотестирование водных вытяжек из бурового шлама с применением метода определения скорости прорастания семян указывает, на сколько происходит угнетение семян из-за содержания водорастворимых солей в образцах буровых шламов.

Таблица 16 – Характеристика многолетних растений семейства злаковые

№ п/п	Вид	Тип кущения	Зимостойкость	Устойчивость к затоплению	Сохранение в травостое	Особые свойства трав
1	2	3	4	5	6	7
1	Мятлик луговой	Низовой корневищно- рыхлокустовой злак озимого типа развития	Зимостоек, хорошо переносит поздние весенние и осенние заморозки	Выносит затопление до 20-30 дней	10 лет	Плохо произрастает на кислых и засоленных почвах, засухоустойчив. Положительно реагирует на известкование почв
2	Кострец безостый	Верховой длинно- корневищный злак озимо-ярового типа развития	Зимостоек, холодостоек	Выносит затопление до 40-50 дней	Полное развитие растений достигается на 2- 3-й год жизни и держится в травостое более 10 лет	Хорошо произрастает на богатых гумусом суглинистых и супесчаных почвах, плохо растет на кислых почвах. Широко используется для закрепления земель, подверженных эрозии
3	Овсяница красная	Полуверховой рыхлокустовой злак	Зимостоек, хорошо переносит осенние заморозки, зимние холода	Выносит непродолжитель ное затопление, засухоустойчив	Сохраняется в травостое до 15 лет	Требовательна к плодородию, плохо произрастает на кислых почвах. Хорошо произрастает на песчаных почвах. Малотребовательна к теплу, семена прорастают при температуре 2-3 °С тепла. Типичные места произрастания: поймы рек, обочины дорог

Результаты исследований энергии прорастания и всхожести овсяницы красной, мятлика лугового, костреца безостого при внесении доломитовой муки в буровой шлам представлены в таблицах 17-19.

Таблица 17 – Средние значения энергии прорастания и всхожести овсяницы красной при внесении доломитовой муки в буровой шлам

Объемная доля внесения доломитовой муки, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (14 сут.)
буровой шлам (контроль)	10	38±3,80
3	18	63±5,67
5	25	62±5,58
7	32	72±6,48
10	37	87±6,09
15	49	78±6,24
20	62	85±5,95

Таблица 18 – Средние значения энергии прорастания и всхожести мятлика лугового при внесении доломитовой муки в буровой шлам

Объемная доля внесения доломитовой муки, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (21 сут.)
буровой шлам (контроль)	5	25±2,50
3	8	31±3,10
5	8	35±3,50
7	12	62±5,58
10	15	69±6,21
15	14	78±6,24
20	18	86±6,02

Таблица 19 – Средние значения энергии прорастания и всхожести костреца безостого при внесении доломитовой муки в буровой шлам

Объемная доля внесения доломитовой муки, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (4 сут.)	всхожесть (10 сут.)
буровой шлам (контроль)	29	46±4,60
3	36	86±6,02
5	37	82±6,56
7	42	89±5,34
10	58	87±6,09
15	52	90±5,40
20	65	92±7,36

По результатам оценки фитотоксичности водной вытяжки из бурового шлама и доломитовой муки в разном процентном соотношении была выявлена прямая зависимость от увеличения объема внесения мелиоранта и возрастания среднего значения прорастания и всхожести.

Полученные данные показали, что всхожесть семян овсяницы красной, мятлика лугового, костреца безостого характеризуется относительно высокими показателями, однако энергия прорастания при этом была значительно ниже для отдельных видов растений. Следует отметить, что наибольшая всхожесть овсяницы красной наблюдалась при внесении доломитовой муки от 10 до 20 %, мятлика лугового от 15 и 20 %, костреца безостого от 3 до 20 %.

При определении статической взаимосвязи полученных данных была выявлена сильная прямая корреляционная зависимость энергии прорастания и всхожести семян овсяницы красной, значения которых составили 0,99 и 0,85, соответственно; а также семян мятлика лугового – 0,94 и 0,95, соответственно; семян костреца безостого – 0,93 и 0,87, соответственно.

Результаты исследований энергии прорастания и всхожести овсяницы красной, мятлика лугового, костреца безостого при внесении гипса в буровой шлам представлены в таблицах 20-22.

Таблица 20 – Средние значения энергии прорастания и всхожести овсяницы красной при внесении гипса в буровой шлам

Объемная доля внесения гипса, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (14 сут.)
буровой шлам (контроль)	10	38±3,80
3	19	64±5,76
5	26	68±6,12
7	28	68±6,12
10	34	76±6,08
15	45	85±5,95
20	48	87±6,09

Таблица 21 – Средние значения энергии прорастания и всхожести мятлика лугового при внесении гипса в буровой шлам

Объемная доля внесения гипса, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (21 сут.)
буровой шлам (контроль)	5	25±2,50
3	8	35±3,50
5	8	38±3,80
7	9	43±4,30
10	12	47±4,70
15	16	57±5,70
20	18	64±5,76

Таблица 22 – Средние значения энергии прорастания и всхожести костреца безостого при внесении гипса в буровой шлам

Объемная доля внесения гипса, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (4 сут.)	всхожесть (10 сут.)
буровой шлам (контроль)	29	56±5,60
3	29	85±5,95
5	35	87±6,09
7	36	87±6,09
10	41	90±5,40
15	47	94±5,64

Объемная доля внесения гипса, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (4 сут.)	всхожесть (10 сут.)
20	51	96±5,76

Исследования фитотоксичности водной вытяжки из бурового шлама и гипса в разном процентном соотношении показали, что всхожесть семян овсяницы красной, мятлика лугового, костреца безостого зависела от объёмной доли внесения мелиоранта.

Высокие показатели всхожести наблюдались у семян *Bromus inermis* Leyss. при внесении от 3% до 20% гипса, при этом корреляционная зависимость энергии прорастания и всхожести соответствовала – сильной прямой связи, значения были 0,99 и 0,98 соответственно.

Наименьшие результаты всхожести наблюдались у семян *Poa pratensis* L. по сравнению с другими культурами, определение статической взаимосвязи показало сильную прямую корреляционную зависимость энергии прорастания и всхожести, результаты которых составили 0,99 и 0,99, соответственно.

Средние значения энергии прорастания и всхожести *Festuca rubra* L. при внесении гипса в буровой шлам 15 и 20 % показали наиболее высокие результаты, была выявлена сильная прямая корреляционная зависимость энергии прорастания и всхожести, которая составила 0,98 и 0,98 соответственно.

Результаты исследований энергии прорастания и всхожести овсяницы красной, мятлика лугового, костреца безостого при внесении фосфогипса в буровой шлам представлены в таблицах 23-25.

Изучение влияния образцов бурового шлама в смеси с фосфогипсом наблюдалось стимулирование роста растений в зависимости от объёмной доли внесения мелиоранта.

Таблица 23 – Средние значения энергии прорастания и всхожести овсяницы красной при внесении фосфогипса в буровой шлам

Объемная доля внесения фосфогипса, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (14 сут.)
буровой шлам (контроль)	10	48±4,80
3	23	65±5,85
5	28	65±5,85
7	31	70±5,60
10	36	74±5,92
15	47	81±5,67
20	50	82±5,74

Таблица 24 – Средние значения энергии прорастания и всхожести мятлика лугового при внесении фосфогипса в буровой шлам

Объемная доля внесения фосфогипса, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (21 сут.)
буровой шлам (контроль)	5	25±2,50
3	10	39±3,90
5	12	42±4,20
7	14	46±4,60
10	16	46±4,60
15	20	59±5,90
20	25	65±5,85

Таблица 25 – Средние значения энергии прорастания и всхожести костреца безостого при внесении фосфогипса в буровой шлам

Объемная доля внесения фосфогипса, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (4 сут.)	всхожесть (10 сут.)
буровой шлам (контроль)	29	40±4,40
3	29	85±5,95
5	35	87±6,09
7	36	87±6,09
10	41	90±5,40
15	47	94±5,64

Объемная доля внесения фосфогипса, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (4 сут.)	всхожесть (10 сут.)
20	51	96±5,76

Исследования показали, что наибольшая всхожесть *Festuca rubra* L. была при внесении фосфогипса 15 и 20 % объемных и составила 81 и 82 %. Определение статической взаимосвязи полученных данных указывало на сильную прямую корреляционную зависимость энергии прорастания и всхожести семян *Festuca rubra* L., значения которых составили 0,97 и 0,97 соответственно.

Значения энергии прорастания и всхожести *Poa pratensis* L. при внесении фосфогипса в буровой шлам находились в пределах от 10 до 25 % и от 39 до 65 %, при этом корреляционная зависимость энергии прорастания и всхожести соответствовала – сильной прямой связи, значения были 0,99 и 0,97.

Изучение энергии прорастания и всхожести *Bromus inermis* Leyss. при внесении фосфогипса в буровой шлам показало, что мелиорант положительно сказывался на результатах проведенных исследований, наблюдалась сильная прямая связь корреляционной зависимости энергии прорастания и всхожести 0,99 и 0,98.

Результаты исследований энергии прорастания и всхожести овсяницы красной, мятлика лугового, костреца безостого при внесении извести негашеной в буровой шлам представлены в таблицах 26-28.

Внесение извести негашеной не значительно снижает фитотоксическое действие на злаковые культуры, чем объясняются низкие значения всхожести и энергии прорастания. Результаты расчетов показали, что корреляционная зависимость энергии прорастания и всхожести составила 0,38-0,63 и 0,4-0,7 и соответствовала умеренной прямой связи.

Таблица 26 – Средние значения энергии прорастания и всхожести овсяницы красной при внесении извести негашеной в буровой шлам

Объемная доля внесения извести негашеной, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (14 сут.)
буровой шлам (контроль)	10	28±2,8
3	14	30±3,0
5	18	35±3,5
7	19	38±3,8
10	23	38±3,8
15	25	35±3,5
20	23	33±3,3

Таблица 27 – Средние значения энергии прорастания и всхожести мятлика лугового при внесении извести негашеной в буровой шлам

Объемная доля внесения извести негашеной, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (21 сут.)
буровой шлам (контроль)	1	10±1,0
3	6	25±2,5
5	6	29±2,9
7	6	32±3,2
10	8	35±3,5
15	6	34±3,4
20	5	33±3,3

Таблица 28 – Средние значения энергии прорастания и всхожести костреца безостого при внесении извести негашеной в буровой шлам

Объемная доля внесения извести негашеной, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (4 сут.)	всхожесть (10 сут.)
буровой шлам (контроль)	9	20±2,0
3	20	35±3,5
5	21	35±3,5
7	21	32±3,2
10	21	36±3,6
15	24	38±3,8

Объемная доля внесения извести негашеной, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (4 сут.)	всхожесть (10 сут.)
20	21	38±3,8

Результаты исследований энергии прорастания и всхожести *Festuca rubra* L., *Poa pratensis* L., *Bromus inermis* Leyss. при внесении карналлита в буровой шлам представлены в таблицах 29-31.

Таблица 29 – Средние значения энергии прорастания и всхожести овсяницы красной при внесении карналлита в буровой шлам

Объемная доля внесения карналлита, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (14 сут.)
буровой шлам (контроль)	3	10±1,0
3	5	19±1,9
5	6	22±2,2
7	10	20±2,0
10	9	18±1,8
15	9	11±1,1
20	3	15±1,5

Таблица 30 – Средние значения энергии прорастания и всхожести мятлика лугового при внесении карналлита в буровой шлам

Объемная доля внесения карналлита, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (7 сут.)	всхожесть (21 сут.)
буровой шлам (контроль)	5	10±1,0
3	7	12±1,2
5	8	16±1,6
7	8	18±1,8
10	9	18±1,8
15	8	12±1,2
20	4	13±1,3

Таблица 31 – Средние значения энергии прорастания и всхожести костреца безостого при внесении карналлита в буровой шлам

Объемная доля внесения карналлита, %	Среднее значение всхожести, %	
	энергия прорастания (4 сут.)	всхожесть (10 сут.)
буровой шлам (контроль)	5	11±1,1
3	9	11±1,1
5	9	12±1,2
7	10	10±1,0
10	8	11±1,1
15	9	11±1,1
20	7	11±1,1

Использование карналлита в качестве мелиоранта оказывает подавляющее свойство на развитие многолетних растений, т.е. его применение не позволяет снизить уровень фитотоксического действия на злаковые культуры.

При определении статической взаимосвязи полученных данных была выявлена слабая прямая корреляционная зависимость энергии прорастания и всхожести семян *Festuca rubra* L., значения которых составили 0,12 и минус 0,18; а также семян *Poa pratensis* L. – минус 0,17 и 0,10; семян *Bromus inermis* Leyss. – 0,12 и 0,08, соответственно.

На основании полученных данных установлено, что интенсивность развития семян *Festuca rubra* L., *Poa pratensis* L., *Bromus inermis* Leyss. существенно отличается в зависимости от объемных долей внесения и вида мелиоранта.

Проведенные исследования указывают на возможность использования таких мелиорантов, как доломитовая мука, гипс или фосфогипс в объемных долях 10-15 % при создании почвогрунтов для биологической рекультивации нарушенных земель.

4.3 Изучение влияния природных минеральных сорбентов на остаточное содержание нефтепродуктов в буровых шламах

На практике используют различные виды сорбентов для аккумуляции вредных загрязняющих веществ, они разделяются на следующие категории: неорганические; органические (природные); органические минеральные; синтетические.

В ходе исследований было произведено смешение буровых шламов и природных минеральных сорбентов в разном процентном соотношении, с последующим измерением концентрации остаточного содержания нефтепродуктов в полученных образцах.

При этом были использованы следующие виды природных минеральных сорбентов: глауконит (мука), глауконит (крупка), диатомит (таблица 32).

Таблица 32 – Характеристики природных минеральных сорбентов

Наименование	глауконит	диатомит
Состав	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO, K ₂ O, Na ₂ O, MnO, P ₂ O ₅	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO, CaO, Fe ₂ O ₃
Размер по фракциям, мм	0,03-0,65	0,1-10,0
Удельная поверхность, м ² /г	180-200	до 100
Насыпная плотность, т/м ³	1,3-1,4	0,7
Сорбционная емкость, %	не менее 100 от массы	не менее 100 от массы

Результаты исследований остаточного содержания нефтепродуктов в буровом шламе при внесении глауконита (крупка) представлены в таблице 33.

Анализ данных показал, что при внесении природного минерального сорбента глауконита в виде крупы, наименьшее содержание остаточного содержания нефтепродуктов наблюдалось на 28 и 56 день в разном процентном соотношении от бурового шлама. Выявлено, что снижение концентрации нефтепродуктов происходило на седьмой день, значения варьировали от 969,1 до 1079,3 мг/кг. Минимальное содержание нефтепродуктов наблюдалось на 56-й день, значения составили от 241,0 до 261,0 мг/кг, при этом снижение этого показателя было до 6,8 раз.

Результаты исследований остаточного содержания нефтепродуктов в буровом отходе при внесении глауконита (мука) представлены в таблице 34.

Результаты остаточного содержания нефтепродуктов при внесении глауконита (мука) показали, что наиболее лучшие показатели были на 28-й и 56-й день исследования при внесении от 3 до 25% сорбента и варьировались от 212,0 до 265,3 мг/кг.

Результаты исследований нефтепродуктов в буровом шламе при внесении диатомита представлены в таблице 35.

Внесение диатомита положительно сказывалось на снижении концентрации нефтепродуктов в буровых шламах, при этом отмечено, что наиболее лучшие показатели были на 28-й и 56-й день исследования при внесении сорбента от 3% до 25%.

При внесении природных минеральных сорбентов в разных соотношениях в буровой шлам выявлено, что максимальное снижение концентрации нефтепродуктов было на 28-й и 56-й день проведения исследований. Результаты исследований показали, что в период исследования на 28-й и 56-й день остаточное содержание нефтепродуктов практически не изменялось, также отмечается отсутствие десорбции, что связано макроструктурой и объемной массой сорбентов.

При внесении глауконита в виде муки и крупы отмечено, что размер частиц зерен сорбента не влиял на снижение концентрации нефтепродуктов в буровом шламе, наиболее лучшие показатели остаточного содержания нефтепродуктов были на 28-й и 56-й день исследований при разных объемных долях внесения глауконита.

На основании проведенных исследований выявлено, что разные объемные доли внесения сорбентов в буровой шлам, одинаково хорошо снижали концентрацию нефтепродуктов, поэтому рекомендуемая объемная доля сорбентов при не высоких исходных значениях нефтепродуктов в буровом шламе может составлять 3-10 %.

Таблица 33 – Результаты определения остаточного содержания нефтепродуктов при внесении глауконита (круп))

День исследований	Остаточное содержание нефтепродуктов	Объемная доля вносимого глауконита (круп) в процентном соотношении от бурового шлама							
		буровой шлам (контроль)	3%	5%	7%	10%	15%	20%	25%
7 день	мг/кг	1700	1079,3	1071,5	1061,2	969,1	1009,0	977,3	1065,6
	Δ	± 714	$\pm 431,7$	$\pm 428,4$	$\pm 424,2$	$\pm 387,6$	$\pm 403,6$	$\pm 390,9$	$\pm 426,2$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 84,29$	$\pm 14,14$	$\pm 20,31$	$\pm 26,17$	$\pm 22,77$	$\pm 42,72$	$\pm 16,08$	$\pm 48,46$
14 день	мг/кг	1701	667,0	653,0	554,5	552,0	551,0	448,5	447,2
	Δ	± 714	$\pm 266,8$	$\pm 261,2$	$\pm 221,8$	$\pm 220,8$	$\pm 220,4$	$\pm 179,4$	$\pm 178,9$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 8,08$	$\pm 32,33$	$\pm 24,25$	$\pm 17,66$	$\pm 21,94$	$\pm 21,94$	$\pm 13,41$	$\pm 14,45$
21 день	мг/кг	1700	466,5	453,0	355,0	351,0 \pm	350,5	348,3	247,3
	Δ	± 714	$\pm 186,6$	$\pm 181,2$	$\pm 142,0$	140,4	$\pm 140,2$	$\pm 139,3$	$\pm 98,9$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 65,82$	$\pm 19,63$	$\pm 10,74$	$\pm 15,01$	$\pm 10,39$	$\pm 6,24$	$\pm 12,96$	$\pm 12,09$
28 день	мг/кг	1699	266,0	252,5	254,5	251,0	250,0	247,9	247,3
	Δ	± 714	$\pm 106,4$	$\pm 101,0$	$\pm 101,8$	$\pm 100,4$	$\pm 100,0$	$\pm 99,2$	$\pm 98,9$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 15,01$	$\pm 10,39$	$\pm 7,56$	$\pm 11,78$	$\pm 4,62$	$\pm 10,39$	$\pm 10,82$	$\pm 7,36$
56 день	мг/кг	1699	244,0	248,5	250,5	242,0	261,0	249,5	241,0
	Δ	± 714	$\pm 97,6$	$\pm 99,4$	$\pm 100,2$	$\pm 96,8$	$\pm 104,4$	$\pm 99,8$	$\pm 96,4$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 18,48$	$\pm 10,39$	$\pm 10,58$	$\pm 5,34$	$\pm 8,08$	$\pm 8,08$	$\pm 8,21$	$\pm 3,5$

Примечание: Δ – погрешность методик (методов) выполнения измерений; $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

Таблица 34 – Результаты определения остаточного содержания нефтепродуктов при внесении глауконита (мука)

День исследований	Остаточное содержание нефтепродуктов	Объемная доля вносимого глауконита (крупы) в процентном соотношении от бурового шлама							
		буровой шлам (контроль)	3%	5%	7%	10%	15%	20%	25%
7 день	мг/кг	1700	1198,3	1237,1	1116,8	1078,5	1003,8	1063,6	1056,1
	Δ	± 714	$\pm 479,3$	$\pm 494,8$	$\pm 446,7$	$\pm 431,4$	$\pm 401,5$	$\pm 425,4$	$\pm 422,4$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 84,29$	$\pm 23,35$	$\pm 18,18$	$\pm 18,49$	$\pm 23,74$	$\pm 12,17$	$\pm 32,81$	$\pm 34,95$
14 день	мг/кг	1701	653,0	657,0	651,0	550,0	555,0	549,2	448,8
	Δ	± 714	$\pm 261,2$	$\pm 262,8$	$\pm 260,4$	$\pm 220,0$	$\pm 222,0$	$\pm 219,7$	$\pm 179,5$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 8,08$	$\pm 21,94$	$\pm 21,94$	$\pm 32,33$	$\pm 8,08$	$\pm 15,01$	$\pm 11,46$	$\pm 18,12$
21 день	мг/кг	1700	353,5	356,0	350,5	349,9	350,0	349,1	248,9
	Δ	± 714	$\pm 141,4$	$\pm 142,4$	$\pm 140,2$	$\pm 139,9$	$\pm 140,0$	$\pm 139,6$	$\pm 99,56$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 65,82$	$\pm 16,50$	$\pm 8,08$	$\pm 10,70$	$\pm 14,56$	$\pm 8,08$	$\pm 12,26$	$\pm 3,49$
28 день	мг/кг	1699	253,5	256,0	250,5	249,4	249,7	248,8	248,6
	Δ	± 714	$\pm 101,4$	$\pm 102,4$	$\pm 100,2$	$\pm 99,8$	$\pm 99,8$	$\pm 99,5$	$\pm 99,6$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 15,01$	$\pm 5,59$	$\pm 8,08$	$\pm 3,42$	$\pm 1,97$	$\pm 2,94$	$\pm 9,89$	$\pm 6,65$
56 день	мг/кг	1699	230,0	222,4	234,6	212,0	278,0	265,3	242,0
	Δ	± 714	$\pm 92,0$	$\pm 88,7$	$\pm 93,8$	$\pm 84,8$	$\pm 111,2$	$\pm 106,1$	$\pm 96,8$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 18,48$	$\pm 5,78$	$\pm 11,26$	$\pm 3,46$	$\pm 4,62$	$\pm 10,39$	$\pm 11,11$	$\pm 8,08$

Примечание: Δ – погрешность методик (методов) выполнения измерений; $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

Таблица 35 – Результаты определения остаточного содержания нефтепродуктов при внесении диатомита

День исследований	Остаточное содержание нефтепродуктов	Объемная доля вносимого глауконита (круп) в процентном соотношении от бурового шлама							
		буровой шлам (контроль)	3%	5%	7%	10%	15%	20%	25%
7 день	мг/кг	1700	1185,3	1156,0	1002,3	1074,2	992,5	985,4	847,8
	Δ	± 714	$\pm 474,1$	$\pm 462,4$	$\pm 400,9$	$\pm 429,7$	$\pm 397,0$	$\pm 394,2$	$\pm 339,1$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 84,29$	$\pm 20,70$	$\pm 41,57$	$\pm 10,12$	$\pm 35,0$	$\pm 48,96$	$\pm 27,10$	$\pm 15,66$
14 день	мг/кг	1701	756,0	700,2	658,6	670,0	532,0	540,0	502,0
	Δ	± 714	$\pm 302,4$	$\pm 280,1$	$\pm 263,4$	$\pm 268,0$	$\pm 212,8$	$\pm 216,0$	$\pm 200,8$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 8,08$	$\pm 32,33$	$\pm 20,40$	$\pm 17,0$	$\pm 21,94$	$\pm 21,94$	$\pm 24,25$	$\pm 24,25$
21 день	мг/кг	1700	328,02	325,0	321,0	290,0	275,0	270,0	230,0
	Δ	± 714	$\pm 131,$	$\pm 130,0$	$\pm 128,4$	$\pm 116,0$	$\pm 110,0$	$\pm 108,0$	$\pm 92,0$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 65,82$	$\pm 13,99$	$\pm 8,08$	$\pm 8,08$	$\pm 10,39$	$\pm 8,08$	$\pm 10,39$	$\pm 8,08$
28 день	мг/кг	1699	260,0	261,0	259,0	250,0	245,6	245,0	228,9
	Δ	± 714	$\pm 104,0$	$\pm 104,4$	$\pm 103,6$	$\pm 100,0$	$\pm 98,2$	$\pm 98,0$	$\pm 91,6$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 15,01$	$\pm 10,39$	$\pm 10,39$	$\pm 8,08$	$\pm 8,08$	$\pm 7,31$	$\pm 8,08$	$7,25\pm$
56 день	мг/кг	1699	214,0	246,6	234,0	199,0	220,0	215,3	211,0
	Δ	± 714	$\pm 85,6$	$\pm 98,6$	$\pm 93,6$	$\pm 79,6$	$\pm 88,0$	$\pm 86,1$	$\pm 84,4$
	$S_{\bar{x}}$	$\pm 18,48$	$\pm 8,08$	$\pm 6,12$	$\pm 8,08$	$\pm 4,62$	$\pm 3,46$	$\pm 5,89$	$\pm 8,08$

Примечание: Δ – погрешность методик (методов) выполнения измерений; $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

ГЛАВА 5 ВЛИЯНИЕ ПОЧВОГРУНТОВ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ЗЛАКОВЫЕ

Важным условием создания почвогрунтов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель, является оценка состояния буровых шламов, включающая определение потенциально опасных, токсичных и загрязняющих веществ.

В основу создания почвогрунтов положен физико-химический способ обращения с буровыми шламами, улучшающий химические, токсикологические и агрохимические свойства полученного грунта для формирования устойчивого фитоценоза.

Для разработки способа создания почвогрунтов в лабораторных условиях были использованы следующие компоненты: гипс, фосфогипс, доломитовая мука, глауконит, диатомит, торф, гуминовый препарат «Росток».

5.1 Результаты химических исследований вариантов почвогрунтов

По результатам исследований были приняты следующие объемные доли внесения: мелиорант (гипс, доломитовая мука, фосфогипс) – 10 %, природный минеральный сорбент (диатомит / глауконит) – 10 %.

С целью создания благоприятных условий роста и развития растений можно использовать торф и препараты на его основе. Торф обладает высокой водоудерживающей способностью, содержит гуминовые вещества, под влиянием торфа активизируются почвенные микроорганизмы и повышается активность осуществляемых ими метаболических процессов, что обеспечивает создание в короткие сроки на поверхности рекультивируемых грунтов устойчивого биоценоза (Середина и др., 2008). Рекомендуемая норма внесения торфа – 40 % (приложение 2).

Для снижения негативного воздействия неблагоприятных факторов, в целях стимулирования роста и развития растений и их адаптации к природным и техногенным факторам был применен гуминовый препарат «Росток».

Исследования лабораторного опыта получения почвогрунтов при внесении мелиоранта (гипса, доломитовой муки, фосфогипса), природного минерального сорбента (диатомита / глауконита), торфа и гуминового препарата «Росток» представлены в таблице 36 и 37.

Коэффициент вариации результатов исследований лабораторных испытаний получения почвогрунтов с использованием природного минерального сорбента диатомита находился в пределах 0,19-4,68 %, с использованием глауконита – 0,03-5,3 %, что свидетельствует о незначительной изменчивости показателей выборочной совокупности.

Таблица 36 – Результаты исследования лабораторных испытаний почвогрунтов (с использованием природного минерального сорбента – диатомит)

№ п/п	Наименование варианта	рН			Остаточное содержание нефтепродуктов			Хлорид-ион			Сульфат-ион		
		ед.рН	Δ	$S_{\bar{x}}$	мг/кг	Δ	$S_{\bar{x}}$	мг/кг	Δ	$S_{\bar{x}}$	мг/кг	Δ	$S_{\bar{x}}$
1	Буровой шлам (контроль)	8,7	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	1700,0	$\pm 680,0$	$\pm 70,4$	6568,0	$\pm 985,0$	$\pm 8,08$	93,0	$\pm 14,0$	$\pm 0,07$
2	Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	7,32	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$	1013,0	$\pm 405,5$	$\pm 47,73$	4135,0	$\pm 620,3$	$\pm 146,6$	159,0	$\pm 23,9$	$\pm 5,0$
3	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	8,32	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	924,0	$\pm 396,6$	$\pm 28,10$	4565,0	$\pm 684,8$	$\pm 180,5$	76,0	$\pm 11,4$	$\pm 2,69$
4	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80 %:10%:10 %)	7,8	$\pm 0,1$	$\pm 0,18$	970,0	$\pm 388,0$	$\pm 42,72$	3300,8	$\pm 495,1$	$\pm 164,5$	142,0	$\pm 21,3$	$\pm 5,0$
5	Буровой шлам + гипс+ диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,56	$\pm 0,1$	$\pm 0,02$	720,0	$\pm 288,0$	$\pm 20,01$	2541,0	$\pm 381,2$	$\pm 108,9$	175,0	$\pm 26,3$	$\pm 5,0$
6	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,96	$\pm 0,1$	$\pm 0,01$	620,0	$\pm 248,0$	$\pm 14,24$	3590,0	$\pm 538,5$	$\pm 84,3$	75,0	$\pm 11,3$	$\pm 2,69$
7	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,6	$\pm 0,1$	$\pm 0,22$	502,0	$\pm 200,8$	$\pm 15,01$	3190,0	$\pm 478,5$	$\pm 158,6$	170,0	$\pm 25,0$	$\pm 8,08$

Примечание: Δ – погрешность методик (методов) выполнения измерений; $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

Уровень водородного показателя почвогрунтов с внесением гипса / доломитовой муки / фосфогипса и диатомита варьировался в пределах слабощелочной среды от 7,32 до 8,32 ед. рН. Отмечается, что при внесении доломитовой муки не происходит понижения водородного показателя. Значения нефтепродуктов в полученных почвогрунтах варьировались от 502,0 до 1013,0 мг/кг. Применение гипса и фосфогипса повышало содержание сульфат-ионов до 175 мг/кг, что обусловлено увеличением продуктов обменных реакций (Na_2SO_4).

Водородный показатель водной вытяжки изучаемых образцов почвогрунтов при внесении гипса / доломитовой муки / фосфогипса, диатомита, торфа и гуминового препарата «Росток» составил от 7,32 до 8,32 ед. рН, применение торфа способствовало снижению водородного показателя. Наименьшая концентрация хлорид-ионов наблюдались при внесении фосфогипса, диатомита, торфа и гуминового препарата «Росток» значение составило 2541,0 мг/кг, сульфат-ионов – 76,0 мг/кг при внесении доломитовой муки и диатомита. Концентрация нефтепродуктов в вариантах с внесением торфа и гуминового препарата «Росток» снижалась в среднем в 2,3 раза.

Уровень водородного показателя почвогрунтов при внесении гипса / доломитовой муки / фосфогипса и глауконита находился в пределах от 7,7 до 8,2 ед. рН (слабощелочная среда), концентрация хлорид-ионов и сульфат-ионов в среднем составила 4000,0 и 126,0 мг/кг соответственно. Снижение хлорид-ионов происходило за счет внесения мелиорантов (гипса / доломитовой муки / фосфогипса) с прохождением сопутствующей реакции ионного обмена. Содержание нефтепродуктов было в пределах от 987 до 1100,0 мг/кг.

При внесении мелиоранта (гипса / доломитовой муки / фосфогипса), глауконита, торфа и гуминового препарата «Росток» происходит снижение уровня водородного показателя до 7,2 ед. рН, это связано с воздействием мелиорантов и нейтрализацией, таким образом бурового шлама. Снижение

концентраций хлорид-иона и сульфат-иона происходило до 2,5 и 1,9 раз по отношению к контролю. Остаточное содержание нефтепродуктов в почвогрунтах варьировались от 560,0 до 850,0 мг/кг.

Таким образом, результаты исследований по химическим показателям указывают на возможность использования мелиорантов и природных минеральных сорбентов, а также торфа в качестве компонентов для создания почвогрунтов для биологической рекультивации нарушенных земель.

Таблица 37 – Результаты исследования лабораторных испытаний почвогрунтов (с использованием природного минерального сорбента – глауконит)

№ п/п	Наименование варианта	pH			Остаточное содержание нефтепродуктов			Хлорид-ион			Сульфат-ион		
		ед.pH	Δ	$S_{\bar{x}}$	мг/кг	Δ	$S_{\bar{x}}$	мг/кг	Δ	$S_{\bar{x}}$	мг/кг	Δ	$S_{\bar{x}}$
1	Буровой шлам (контроль)	8,7	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	1700,0	± 680	$\pm 70,4$	6568,0	$\pm 985,0$	$\pm 8,08$	93,0	$\pm 14,0$	$\pm 0,07$
2	Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	7,8	$\pm 0,1$	$\pm 0,05$	987,0	± 395	$\pm 37,3$	3790,0	$\pm 568,5$	$\pm 37,34$	125,0	$\pm 18,8$	$\pm 4,62$
3	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	8,2	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$	1100,0	± 440	$\pm 47,7$	4700,0	$\pm 705,0$	$\pm 218,2$	57,0	$\pm 8,6$	$\pm 1,15$
4	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	7,7	$\pm 0,1$	$\pm 0,14$	1010,0	± 404	$\pm 45,0$	3250,0	$\pm 487,5$	$\pm 77,4$	126,0	$\pm 18,9$	$\pm 5,0$
5	Буровой шлам + гипс+ глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,2	$\pm 0,1$	$\pm 0,08$	560,0	± 224	$\pm 21,9$	2650,0	$\pm 397,5$	$\pm 93,53$	138,0	$\pm 20,7$	$\pm 5,0$
6	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,8	$\pm 0,1$	$\pm 0,10$	850,0	± 340	$\pm 15,0$	3940,0	$\pm 591,0$	$\pm 98,53$	57,0	$\pm 8,6$	$\pm 1,15$
7	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,6	$\pm 0,1$	$\pm 0,03$	650,0	± 260	$\pm 8,1$	2980,0	$\pm 447,0$	$\pm 95,1$	155,0	$\pm 23,3$	$\pm 5,0$

Примечание: Δ – погрешность методик (методов) выполнения измерений; $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

5.2 Результаты вегетационных опытов морфометрических показателей многолетних растений семейства злаковые

С целью изучения влияния почвогрунтов в зависимости от объемных долей внесения мелиорантов и природных минеральных сорбентов на морфометрические показатели растений злаковых культур были заложены вегетационные опыты. Средние значения результатов влияния почвогрунтов на растения злаковых культур при лабораторном исследовании представлены в таблицах 38 и 39 (Приложение 3).

Результаты исследований почвогрунтов с внесением гипса / доломитовой муки / фосфогипса и диатомита, показали всхожесть мятлика лугового от 42 до 52 % с высотой надземных побегов 3,2-3,3 см, внесение торфа и применение гуминового препарата «Росток» способствовало увеличению всхожести побегов до 92 % с высотой надземных побегов 4,3 см.

Лучшие результаты всхожести костреца безостого и овсяницы красной наблюдались при данных вариантах: буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гуминовый препарат «Росток» / буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гуминовый препарат «Росток» и составили до 92 % с высотой надземных побегов 9,8-10,2 см и 8,3-9,6 см, соответственно.

Исследования почвогрунта с внесением доломитовой муки / фосфогипса, глауконита, торфа и гуминового препарата «Росток», показали хорошую всхожесть злаковых культур по отношению к другим вариантам до 96 %. Всхожесть овсяницы красной составила 92 % с высотой надземных побегов 9,8 см, мятлика лугового 92 % с высотой надземных побегов 4,2 см и костреца безостого 96 % с высотой надземных побегов 9,8 см.

Внесение мелиорантов и природных минеральных сорбентов улучшает химические свойства бурового шлама и обеспечивает условия прорастания семян, роста и развития растений злаковых культур. Применение торфа и гуминового препарата «Росток» благоприятно сказывается на развитии растений злаковых культур, при этом происходит формирование

жизнеспособного фитоценоза со всхожестью до 96 % и высотой надземных побегов до 10,2 см.

При оценке значимости между средними значениями по наименьшей существенной разности при 95 % уровне вероятности ($НСР_{05}$) отмечены наибольшие средние отклонения от бурового шлама (контроль) по высоте надземных побегов злаковых культур многолетних растений у почвогрунтов со следующим составом:

– Буровой шлам + гипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%) – 2,3 раза;

– Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%) – 3,4 раза;

– Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%) – 2,24 раза;

– Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%) – 3,05 раза.

Таблица 38 – Средние значения результатов влияния почвогрунтов на морфометрические показатели растений злаковых культур

№ п/п	Наименование варианта	Растения злаковых культур					
		Мятлик луговой		Кострец безостый		Овсяница красная	
		Количество надземных побегов, 50 шт.	Высота надземных побегов, см $\pm S_{\bar{x}}$	Количество надземных побегов, 50 шт.	Высота надземных побегов, см $\pm S_{\bar{x}}$	Количество надземных побегов, 50 шт.	Высота надземных побегов, см $\pm S_{\bar{x}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Буровой шлам (контроль)	19	2,7 \pm 0,05	18	7,6 \pm 0,11	17	6,5 \pm 0,23
2	Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	25	3,2 \pm 0,11	29	8,2 \pm 0,15	31	6,8 \pm 0,19
3	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	21	3,3 \pm 0,08	20	8,1 \pm 0,29	29	6,6 \pm 0,30
4	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	26	3,2 \pm 0,14	25	8,2 \pm 0,19	36	6,8 \pm 0,29
5	Буровой шлам + гипс+ диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	40	3,7 \pm 0,14	44	9,8 \pm 0,42	46	8,3 \pm 0,35
6	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	30	3,2 \pm 0,05	35	8,2 \pm 0,28	44	6,8 \pm 0,07
7	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	42	4,3 \pm 0,11	45	10,2 \pm 0,45	45	9,6 \pm 0,23
НСР ₀₅		-	0,4	-	0,9	-	0,8

Таблица 39 – Средние значения результатов влияния почвогрунтов на морфометрические показатели растений злаковых культур

№ п/п	Наименование варианта	Растения злаковых культур					
		Мятлик луговой		Кострец безостый		Овсяница красная	
		Количество надземных побегов, 50 шт.	Высота надземных побегов, см $\pm S_{\bar{x}}$	Количество надземных побегов, 50 шт.	Высота надземных побегов, см \pm $S_{\bar{x}}$	Количество надземных побегов, 50 шт.	Высота надземных побегов, см \pm $S_{\bar{x}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Буровой шлам (контроль)	19	2,7 \pm 0,05	18	7,6 \pm 0,11	17	6,5 \pm 0,23
2	Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	27	2,9 \pm 0,11	29	8,1 \pm 0,19	32	6,7 \pm 0,23
3	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	25	3,0 \pm 0,08	24	8,0 \pm 0,07	30	6,6 \pm 0,22
4	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	28	3,1 \pm 0,10	29	8,1 \pm 0,11	33	6,6 \pm 0,20
5	Буровой шлам + гипс+ глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	44	3,9 \pm 0,11	45	9,6 \pm 0,36	45	8,4 \pm 0,29
6	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	37	3,9 \pm 0,05	37	8,1 \pm 0,36	40	6,7 \pm 0,31
7	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	46	4,2 \pm 0,20	48	9,8 \pm 0,49	46	9,8 \pm 0,40
НСР ₀₅		-	0,5	-	0,9	-	0,9

ГЛАВА 6 РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ЭТАПА РЕКУЛЬТИВАЦИИ

6.1 Описание проведения опытно-промышленных испытаний получения почвогрунтов

Опытно-промышленные испытания применения почвогрунтов осуществлялась на нефтяном месторождении ХМАО-Югра в период 2018-2020 гг. В течение 2018 года был произведен выезд для отбора проб бурового шлама и проведение опытно-промышленных испытаний почвогрунтов.

Климатическая характеристика района проведения опытно-промышленных испытаний представлена в главе 2, пункте 2.1.

Технология проведения опытно-промышленных испытаний: получение почвогрунтов осуществлялось механизированным способом в контейнере сборно-разборного типа (объемом 1 м³). Отбор проб бурового шлама осуществлялся из-под шнекового конвейера буровой установки, после системы очистки бурового раствора. Смесь компонентов выгружалась непосредственно на поверхность бурового шлама, размещенного в контейнере до необходимого уровня, и перемешивалась лопатами с компонентами до получения визуально однородной массы. Выгрузка полученного почвогрунта осуществлялась на подготовленные площадки – делянки высотой в 0,2 м. Делянки, принятые размером 3×1 м в трехкратной повторности, располагались за пределами обваловки кустовой площадки. Варианты почвогрунтов в опытно-промышленных испытаниях представлены в п.2.5.

Способ получения почвогрунтов пригодных для проведения биологического этапа рекультивации принят как основа для разработки проектной документации для внедрения в промышленные масштабы ООО «Газпромнефть-Заполярье» (Приложение 1).

6.2 Результаты физико-химических и токсикологических исследований образцов почвогрунтов

Для более подробного изучения свойств почвогрунтов с внесением мелиорантов, природных минеральных сорбентов и торфа были рассмотрены физические показатели (влажность, плотность, гранулометрический состав), результаты представлены в таблицах 40 и 41.

Исходя из исследований можно сделать вывод о том, что наибольшей влажностью обладает контрольная проба (буровой шлам) – 49,3 %. Значения влажности в полученных почвогрунтах варьировали от 30,4 до 32,2 %. При внесении компонентов смеси происходит механическое разбавление и оструктурирование почвогрунта, т.е. образование агрегатов смеси из отдельных механических элементов.

Таблица 40 – Результаты исследований физических свойств образцов почвогрунтов в рамках опытно-промышленных испытаний

Наименование варианта	Влажность, %	Плотность, г/см ³
Буровой шлам (контроль)	49,3	1,98
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	32,2	2,14
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	30,4	2,05
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	33,0	2,28
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	31,5	2,04

По результатам исследования истинной плотности изучаемых образцов выявлено, что плотность в контрольном образце составила 1,89 г/см³, в полученных почвогрунтах находилась от 2,04 до 2,28 г/см³, увеличение плотности связано со снижением влажности из-за внесения глауконита и диатомита, имеющих в своем составе илистую фракцию.

Таблица 41 – Результаты гранулометрического состава образцов почвогрунтов в рамках опытно-промышленных испытаний

Наименование варианта	Диаметр частиц, мм							Классификация по механическому составу*
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	< 0,01	
Буровой шлам (контроль)	0,73	2,02	5,16	0	11,37	80,72	92,09	Глина тяжелая
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	2,36	4,13	25,32	33,3	22,26	12,63	68,19	Средняя глина
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	5,4	12,75	39,60	24,60	10,72	6,93	42,25	Суглинок средний
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	1,89	3,45	4,46	13,50	26,8	49,9	90,20	Глина тяжелая
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	4,8	12,9	27,82	10,60	15,28	28,6	54,48	Суглинок тяжелый

Примечание: * – классификация по гранулометрическому составу Н.А.Качинского.

Содержание дисперсных частиц в буровом шламe диаметром менее 0,01 мм составило 92,09 %, буровой шлам относился к глине тяжелой. Следует отметить, что в составе образца содержится значительная доля илистой фракции (частицы <0,001 мм) и составляет 80,72 %, что во многом определяет негативные водно-физические свойства буровых шламoв.

Исследования гранулометрического состава показали, что почвогрунт с внесением доломитовой муки и диатомита относился к глине средней. Из всех изучаемых фракций максимальной по процентному содержанию дисперсных частиц является фракция 0,01-0,005 мм – 33,30 %.

Изучаемый образец почвогрунта (буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)) относился к суглинку среднему, при внесении смеси компонентов протекает процесс дегидратации, в результате глинистые частички агрегатируются и из коллоидно-суспензионного состояния переходят в более уплотненное состояние.

Анализ данных показал, что при внесении гипса и глауконита почвогрунт относился к глине тяжелой, содержание дисперсных частиц диаметром менее 0,01 мм и составило 90,20 %. Исследуемый образец почвогрунта (буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)) относился к суглинку тяжелому, содержание дисперсных частиц диаметром менее 0,01 мм составило 54,48%.

Для определения пригодности почвогрунтов при проведении рекультивационных работ, требуется определить химические и токсикологические показатели.

Уровень водородного показателя в почвогрунтах с диатомитом и доломитовой мукой находился в пределах 8,13 и 8,43 ед. pH, и относился к слабощелочной среде, а в почвогрунтах с использованием гипса и глауконита – 7,69 ед. pH (нейтральная среда) и 8,32 ед. pH (слабощелочная среда). Результаты по определению типа засоления почвогрунтов относились к хлоридному типу засоления.

Таблица 42 – Результаты исследований химического состава образцов почвогрунтов в среднем за 2018-2020 гг. в рамках опытно-промышленных испытаний

Наименование определяемого показателя	Ед. изм.	Буровой шлам (контроль)	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	ПДК (ОДК) / ПДУ
Кадмий (валовое содержание)	мг/кг	<0,1	<0,1	<0,1	0,19	0,21	2,0
	±Δ	-	-	-	±0,06	±0,063	
	±S _х	-	-	-	±0,01	±0,01	
Кобальт (валовое содержание)	мг/кг	5,4	3,6	3,6	3,7	3,7	не нормируется
	±Δ	±1,8	±1,1	±1,08	±1,1	±1,11	
	±S _х	±0,24	±0,14	±0,08	±0,01	±0,08	
Марганец (валовое содержание)	мг/кг	625,0	192	195	152	153	1500
	±Δ	±125	±57	±58,5	±46	±45,9	
	±S _х	±7,31	±2,69	±1,15	±6,16	±4,62	
Медь (валовое содержание)	мг/кг	21,0	12	11	11	10,3	132,0
	±Δ	±6,3	±72	±3	±3	±3,09	
	±S _х	±0,38	±0,38	±0,38	±0,38	±0,37	
Мышьяк	мг/кг	3,06	1,49	1,51	1,77	1,89	10,0
	±Δ	±0,92	±0,45	±0,45	±0,53	±0,57	
	±S _х	±0,07	±0,03	±0,002	±	±0,001	
Никель (валовое содержание)	мг/кг	<50	<50	<50	<50	<50	80,0
	±Δ	-	-	-	-	-	
	±S _х	-	-	-	-	-	
Ртуть	мг/кг	<0,10	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	2,1
	±Δ	-	-	-	-	-	
	±S _х	-	-	-	-	-	

Наименование определяемого показателя	Ед. изм.	Буровой шлам (контроль)	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	ПДК (ОДК) / ПДУ
Свинец (валовое содержание)	мг/кг	33,00	10	11	16	16	130,0
	$\pm\Delta$	$\pm 10,0$	± 3	$\pm 3,3$	± 5	$\pm 4,8$	
	$\pm S_{\bar{x}}$	$\pm 1,15$	$\pm 0,38$	$\pm 0,38$	\pm	$\pm 0,38$	
Цинк (валовое содержание)	мг/кг	41,0	49	51	42	43	220,0
	$\pm\Delta$	$\pm 10,3$	± 15	$\pm 15,3$	± 13	$\pm 12,9$	
	$\pm S_{\bar{x}}$	$\pm 0,38$	$\pm 1,15$	$\pm 1,15$	$\pm 0,38$	$\pm 0,38$	
Водородный показатель	ед.рН	8,7	8,43	8,13	8,32	7,69	5,5-8,4**
	$\pm\Delta$	$\pm 0,10$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	
	$\pm S_{\bar{x}}$	$\pm 0,05$	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	$\pm 0,06$	$\pm 0,09$	
Нефтепродукты	мг/кг	1700	350	185	367	169	500*
	$\pm\Delta$	± 714	± 133	± 71	± 139	± 64	
	$\pm S_{\bar{x}}$	$\pm 70,4$	$\pm 14,24$	$\pm 8,08$	$\pm 16,55$	$\pm 5,0$	
Сульфат-ион	мг/кг	$\pm 93,0$	88	81	159	135	не нормируются
	$\pm\Delta$	$\pm 14,0$	± 13	$\pm 12,15$	± 24	$\pm 20,25$	
	$\pm S_{\bar{x}}$	$\pm 1,54$	$\pm 1,54$	$\pm 1,15$	$\pm 5,0$	$\pm 2,69$	
Хлорид-ион	мг/кг	$\pm 6568,0$	2694	2135	2236	1963	не нормируются
	$\pm\Delta$	± 985	± 189	± 150	± 157	± 137	
	$\pm S_{\bar{x}}$	$\pm 8,08$	$\pm 95,07$	$\pm 14,24$	$\pm 39,64$	$\pm 58,12$	
Плотный остаток водной вытяжки	%	$\pm 2,48$	0,86	0,68	0,56	0,49	$< 2^{**}$
	$\pm\Delta$	$\pm 0,17$	$\pm 0,09$	$\pm 0,07$	$\pm 0,06$	$\pm 0,05$	
	$\pm S_{\bar{x}}$	$\pm 0,05$	$\pm 0,003$	$\pm 0,004$	$\pm 0,005$	$\pm 0,02$	

Примечания: * – в соответствии со шкалой Пиковского; ** – ГОСТ 17.5.1.03-86.

Δ – погрешность методик (методов) выполнения измерений; $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

Остаточное содержание нефтепродуктов в пробах почвогрунтов находилось в среднем 367 г/кг. Содержание тяжелых металлов складывалось из концентраций выбуренной горной породы, а также вносимых компонентов. Наибольшее значение отмечалось по марганцу и составило от 152,0 до 192,0 мг/кг. Содержание тяжелых металлов по степени их убывания отражено в следующем ряду: $Mn > Zn > Ni > Cu > Pb > Co > As > Cd > Hg$. При сравнении концентраций тяжелых металлов в пробах почвогрунтов с ПДК (ОДК) почв с учетом кларков, превышений не выявлено (таблица 42).

Результаты агрохимических исследований в среднем за 2018-2020 гг. опытно-промышленных испытаний исследований почвогрунтов и бурового шлама (контрольный образец) представлены в таблице 43.

Таблица 43 – Результаты агрохимических исследований в среднем за 2018-2020 гг. в рамках опытно-промышленных испытаний

Наименование показателя	Ед. изм	Буровой шлам (контроль)	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)
рН солевой вытяжки	ед. рН	8,4±0,05	8,3±0,05	8,2±0,05	7,9±0,05	7,8±0,05
Содержание обменного натрия	мг-экв /100г	менее 2,0	менее 2,0	менее 2,0	менее 2,0	менее 2,0
Содержание обменного калия	мг-экв /100г	более 1,02	более 1,02	более 1,02	более 1,02	более 1,02
Емкость катионного обмена	мг-экв /100г	12±2	16±2	16±2	10±2	12±2

Водородный показатель солевой вытяжки бурового шлама в исходном состоянии соответствует уровню слабощелочной градации (8,0-9,0 ед. рН).

На вариантах почвогрунтов с внесением гипса степень рН снижается с уровня слабощелочного до нейтрального (7,0-8,0 ед. рН). Слабое снижение

pH обусловлено коротким мелиоративным периодом и пониженными температурным режимом в условиях северных широт. Использование диатомита и доломитовой муки даже в сочетании с торфом очень слабо снижает реакцию среды.

Содержание обменного натрия в исходной пробе бурового шлама составляет менее 2,0 мг-экв/100 г. Отрицательное действие обменного натрия усиливается повышенным содержанием в буровом шламе и почвогрунтах обменного калия. При их сочетании проявляется действие синергизма, это отражается на повышении дисперсности и гидрофильности бурового шлама.

Низкая ёмкость катионного обмена 12 мг-экв/ 100 г в исходном образце бурового шлама обусловлена качеством геологических отложений. Здесь отсутствуют отложения глинистого минерала – монтмориллонита и преобладают калиевые полевые шпаты и плагиоклаз, небольшое участие каолинита (см. п. 3.1).

Для определения токсикологического воздействия проб почвогрунтов использовались в качестве тест-объектов различные гидробионты: *Chlorella vulgaris* Beijer, *Paramecium caudatum* Ehrenberg, *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, *Chlorella vulgaris* Beijer.

При определении острой токсичности проб бурового шлама и почвогрунтов на тест объекте *Paramecium caudatum* Ehrenberg допустимая степень токсичности ($\leq 0,40$) достигалась при разбавлении вытяжек до 10 раз. Индекс токсичности в пробах почвогрунтов с применением диатомита, доломитовой муки (80%:10%:10%) и диатомита, доломитовой муки, торфа, гуминового препарата «Росток» (40%:10%:10%:40%) находился на уровне 0,24 у.е., что свидетельствовало о наличии положительного хемотаксиса (табл. 44).

Таблица 44 – Результаты определения острой токсичности на тест-объекте *Paramecium caudatum* Ehrenberg в среднем за 2018-2020 гг. в рамках опытно-промышленных испытаний

Наименование варианта	Кратность разбавления, раз	
	1	10
	Индекс токсичности, у.е.	
Буровой шлам (контроль)	0,69	0,37
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	0,52	0,24
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,44	0,24
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	0,46	0
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,60	0

Используя *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg в качестве тест-объекта для определения острой токсичности, оказываемой пробами почвогрунтов, наблюдалось отсутствие гибели цериодафний при десятикратном разбавлении. Вариантами почвогрунтов, оказывающими наименьшее токсическое действие в сравнении с пробой бурового шлама, являются: буровой шлам + диатомит + доломит и буровой шлам + гипс + глауконит + торф (40%:10%:10%:40%), со значением летальной кратности разбавления вытяжки, вызывающей гибель 50 % тест-объектов за 48-часовую экспозицию, на уровне 1,5 раз (табл. 45).

Таблица 45 – Результаты определения острой токсичности на тест-объекте *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg в среднем за 2018-2020 гг. опытно-промышленных испытаний

Наименование варианта	Кратность разведения, раз			ЛКР 50-48, раз	БКР 10- 48, раз
	1	10	100		
	Гибель цериодафний, % / шт.				
Буровой шлам (контроль)	100/20	5/1	0/0	3,9	10
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	70/14	0/0	0/0	1,5	10
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-	100/20	0/0	0/0	3,2	10

Наименование варианта	Кратность разведения, раз			ЛКР 50-48, раз	БКР 10- 48, раз
	1	10	100		
	Гибель цериодафний, % / шт.				
т «Росток» (40%:10%:10%:40%)					
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	80/16	0/0	0/0	1,8	10
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	70/14	0/0	0/0	1,5	10

При исследовании токсикологического воздействия проб на *Daphnia magna* Straus наименьшие значения летальной кратности разбавления вытяжек и образцов почвогрунтов, вызывающих гибель 50 % тест-объектов за 48-часовую экспозицию, наблюдалось у вариантов почвогрунтов в состав которых не был включен торф. При исследовании этих же вариантов почвогрунтов с внесением торфа летальная кратность разбавления возрастала в 6-8 раз (табл. 46).

Таблица 46 – Результаты определения острой токсичности на тест-объекте *Daphnia magna* Straus в среднем за 2018-2020 гг. опытно-промышленных испытаний

Наименование варианта	Кратность разведения, раз					ЛКР 50-48, раз	БКР 10- 48, раз
	1	10	100	1000	10000		
	Гибель дафний, % / шт.						
Буровой шлам (контроль)	100/10	0	0	0	0	3,2	10
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	10/1	0	0	0	0	0,2	10
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	70/7	0	0	0	0	1,6	10
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	10/1	0	0	0	0	0,2	10
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	50/5	0	0	0	0	1,2	10

Аналогичная ситуация наблюдалась и при использовании в качестве тест-объекта *Chlorella vulgaris* Beijer – наименьшее токсическое действие оказывали пробы почвогрунтов без внесения торфа, что подтверждается отсутствием подавления или стимуляции роста зеленой водоросли (показатели оптической плотности не снижались на 20 % и не увеличивались на 30 %). Вытяжки из проб почвогрунтов с внесением торфа и гуминового препарата «Росток» оказывали стимулирующие воздействие до плюс 24,7 % от верхнего порога критерия токсичности (менее 30) (табл. 47).

Таблица 47 – Результаты определения острой токсичности на тест-объекте *Chlorella vulgaris* Beijer в среднем за 2018-2020 гг. опытно-промышленных испытаний

Наименование варианта	Кратность разведения, раз				
	1	10	100	1000	10000
	Снижение/увеличение величины оптической плотности культуры, %				
Буровой шлам (контроль)	-56,72	-34,24	8,07	10,14	11,6
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	8,32	5,21	4,01	6,21	3,25
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	55,7	14,8	8,7	-5,4	-8,2
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	29,84	15,36	14,87	8,64	9,03
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	57,4	6,7	5,1	1,8	-2,8

По оценке корреляционной зависимости плотного остатка водной вытяжки и тест-функций гидробионтов, при однократном разведении водной вытяжки образцов почвогрунтов наблюдалась следующая статистическая взаимосвязь: сильная обратная на тест-объекте *Chlorella vulgaris* Beijer ($r = -0,88$), сильная прямая – *Paramecium caudatum* Ehrenberg ($r = 0,75$), умеренная прямая на тест-объектах *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg ($r = 0,58$) и *Daphnia magna* Straus ($r = 0,69$).

6.3 Результаты биологической активности образцов почвогрунтов

Основным показателем плодородия почв является их биологическая активность в комплексе с химическими и токсикологическими свойствами. Плодородие почв можно оценить по критериям: биомасса микроорганизмов (МО) и ферментативная активность (Григорьян, 2011).

Ферменты играют важную роль в процессах, протекающих в почвах, выступая катализаторами химических, физических и биологических реакций. Ферменты почв обладают высокой чувствительностью к изменениям, которые вызваны природными или антропогенными воздействиями (Труфанов и др., 2007; Сенчакова и др., 2010; Пикушова и др., 2012).

Исследования в данной области показали, что ферментативная активность почв может быть использована в качестве индикаторного показателя загрязнения почв и её плодородия (Сакаева и др., 2020).

Оценка биологической активности также может быть использована и для характеристики почвогрунтов полученных на основе бурового шлама.

Напряженность микробиологических процессов в почве коррелятивно связана с размножением и активностью всей совокупности почвенных сапрофитных микроорганизмов.

Определение общей численности позволяет оценить состояние почвы. В плодородных почвах с высоким содержанием органического вещества численность может достигать до миллиардов.

Распад и минерализацию свежего органического вещества осуществляет в первую очередь группа аммонифицирующей микрофлоры, так называемая гнилостная которую учитывают на мясопептонном агаре (МПА). Эта микрофлора использует азотсодержащее органическое вещество – белки.

Следующий этап минерализации опада осуществляет группа, учитываемая на крахмало-аммиачном агаре (КАА). Это разнородная по составу группа бактерий, микромицетов и актиномицетов, использующая для

питания органическое вещество без азота (углеводы и полисахариды), а азот в минеральной форме.

Одним из показателей интенсификации минерализационных процессов в почве может быть соотношение бактерий, усваивающих органический и минеральный азот (КАА/МПА). В почвах с более энергичным процессом минерализации микроорганизмы, усваивающие минеральный азот, обычно превышают по численности микрофлору, развивающуюся за счет органического азота.

Почвенные *грибы* и *актиномицеты* играют большую роль в превращении широкого круга органических и минеральных веществ в почве, продуцируют многие физиологически активные вещества – аминокислоты, витамины, ферменты, антибиотики. За счет последних проявляют антагонистические свойства и оказывают большое влияние на формирование почвенных микробоценозов.

УОБ – это группа неродственных бактерий, способных к использованию углеводов в качестве единственного источника углерода и энергии. Выявляются на плотных или жидких минеральных средах (Раймонда и Мюнца) с углеводородами или нефтью в качестве источника питания. Окисление углеводов – это не единственный способ их питания, в благоприятных условиях они используют более доступные субстраты, а при наличии углеводов способны получать энергию из них, получая конкурентное преимущество перед другими видами.

Общая численность микрофлоры в образцах варьировалась в пределах от 60 до 271 млн. КОЕ/г почвогрунтов (табл. 43).

Численность сапрофитов составляла в контрольном образце (буровой шлам) 0,01 млн. КОЕ/г в остальных образцах от 34,0 до 62,0 млн. КОЕ/г, максимальное значение наблюдалось при внесении торфа и составило 45,2-62,0 млн. КОЕ/г.

Доля микроорганизмов, растущих на среде с минеральным азотом, определялась до 37 %, их количество также было минимальным (0,05 млн.

КОЕ/г) в контрольном образце, в остальных пробах варьируя в пределах от 31,9 до 57,8 млн. КОЕ/г. Количество сапрофитов растущих на КАА было сопоставимо во всех образцах.

Численность УОБ во всех образцах имела порядок 13,5-22 млн. КОЕ/г.

Численность актиномицетов в контрольном образце (буровой шлам) не обнаружено, максимальное значение было в пробах с внесением торфа (4,9-7,3 млн. КОЕ/г), в остальных образцах – 0,2-0,6 млн. КОЕ/г.

Увеличение разнообразия микробоценоза почвогрунтов указывает на снижение концентраций водорастворимых солей и нефтепродуктов при сравнении с буровым шламом (контроль), а также о наличии дополнительных источников питания в виде торфа и гуминового препарата «Росток».

Результаты определения влажности и микробиологические исследования бурового шлама и почвогрунтов представлены в таблице 48. На рисунке 9 – вариант графического представления данных таблицы 48 – логарифмической шкалой. Логарифмическая шкала позволяет сравнить величины разного порядка.

Таблица 48 – Результаты определения влажности и микробиологические анализы бурового шлама и почвогрунтов

Наименование варианта	Численность, млн. КОЕ/г							КАА/ МПА
	Влажность, %	Общая	Сапрофитов	Общая на КАА	УОБ на Мюнца	Грибов на КАА	Актиномицетов на КАА	
Буровой шлам (контроль)	0,3	60	0,07	0,05	22,0	не обнаружены	не обнаружены	0,7
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	2,1	204	34,0	31,9	13,6	0,2	0,2	0,9
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	4,1	250	62,0	66,0	16,5	10,4	7,3	1,1
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	2,2	251	35,0	33,7	13,5	0,03	0,6	1,0
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр- т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	5,5	210	45,2	57,8	17,8	10,4	4,9	1,3

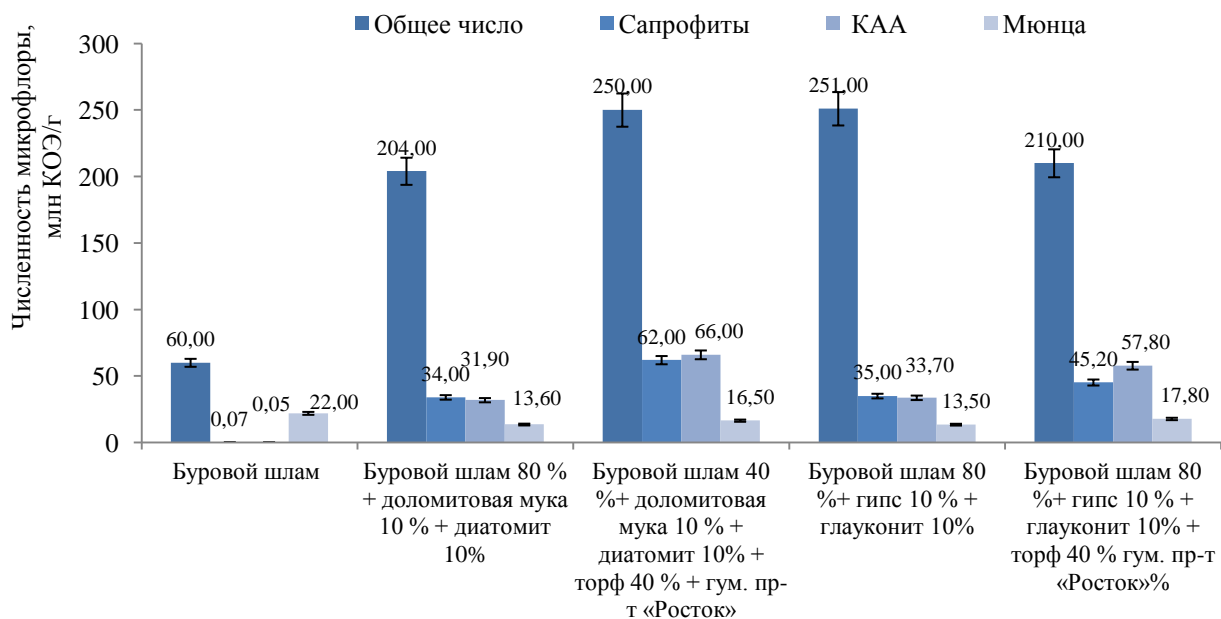


Рис. 9 – Численность микрофлоры разных физиологических групп (шкала логарифмическая)

Из рисунка 9 и таблицы 46 наглядно видно, что контрольный образец значительно отличается по численности всех исследуемых групп микрофлоры: он содержит минимальное количество сапрофитов, бактерий, растущих на КАА.

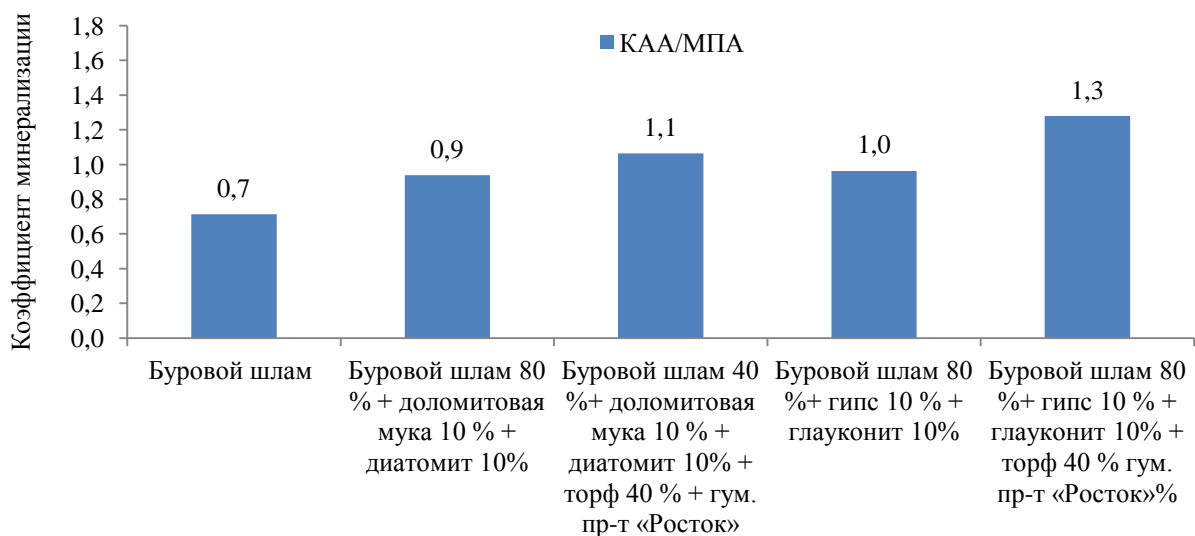


Рис. 10 – Коэффициент минерализации (отношение численности микрофлоры, растущей на КАА, к микрофлоре, растущей на МПА)

Коэффициент минерализации, рассчитываемый как соотношение численностей микрофлоры на КАА к МПА, был выше единицы в образцах почвогрунтов: буровой шлам, доломитовая мука, диатомит, торф, гуминовый препарат «Росток» (40%:10%:10%:40%); буровой шлам, гипс, глауконит (80%:10%:10%) и буровой шлам, гипс, глауконит, торф, гуминовый препарат «Росток» (40%:10%:10%:40%), около единицы в почвогрунте с внесением доломитовой муки и диатомита, минимальным – 0,7 – в буровом шламе, это указывает о самом низком темпе минерализационных процессов (рисунок 10).

Одними из основных компонентов биоты, имеющих непосредственное отношение к процессам почвообразования и круговорота веществ в северных экосистемах, являются почвенные микромицеты (Хабибуллина и др. 2014).

Изучение разнообразия грибной флоры, несомненно, важно еще и с точки зрения способности почвы к самовосстановлению после антропогенного воздействия (Назарько, 2007; Якимеци др. 2007; Колесникова и др. 2010; Воронин и др. 2012; Куркина, 2014).

Содержание микромицетов во всех образцах было намного ниже, чем бактерий, что нормально для почвогрунтов. Высокое содержание почвенных грибов может свидетельствовать о кислой реакции почвенного раствора, нарушениях водо-воздушного режима почвы или других проблемах.

Численность микромицетов, определяемая на средах Чапека и КАА, была сходной во всех образцах. Абсолютная численность актиномицетов была низкой (0,2-1,6 млн КОЕ/г) в образцах бурового шлама, почвогрунта с внесением доломитовой муки / гипса, диатомита / глауконита и высокой (4,9-7,3 млн КОЕ/г) в образцах почвогрунтов: буровой шлам, доломитовая мука, диатомит, торф, гуминовый препарат «Росток» (40%:10%:10%:40%) и буровой шлам, гипс, глауконит, торф, гуминовый препарат «Росток» (40%:10%:10%:40%) (рис. 11).

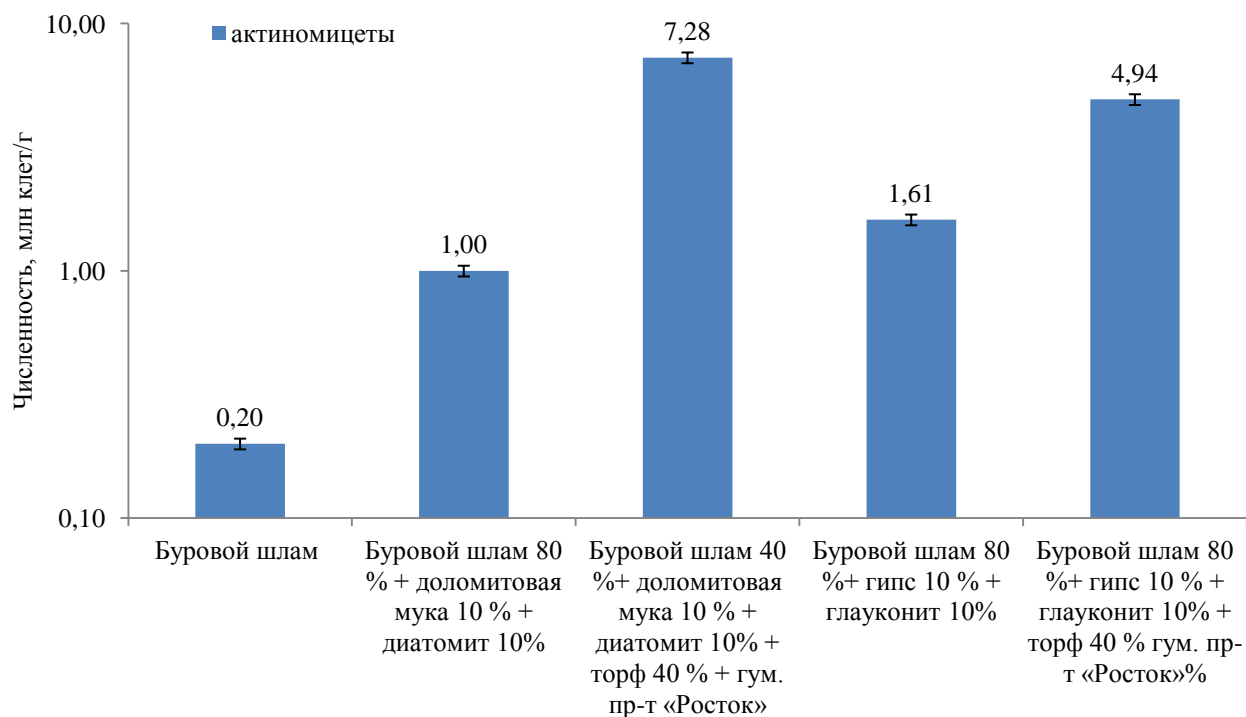


Рис. 11 – Численность микромицетов на среде КАА

При этом их доля в общей численности микрофлоры на КАА была минимальной в контрольном образце и составила 0,6 %, выше в образцах почвогрунта с внесением доломитовой муки, диатомита и почвогрунта с гипсом, глауконитом – 6,7 и 8,4 %, максимальной в образцах почвогрунтов: буровой шлам, доломитовая мука, диатомит, торф, гуминовый препарат «Росток» (40%:10%:10%:40%) и буровой шлам, гипс, глауконит, торф, гуминовый препарат «Росток» (40%:10%:10%:40%) – 14 и 16 %, соответственно.

Результаты исследований показали, что высокое содержание водорастворимых солей, нефтепродуктов и щелочная реакция среды бурового шлама оказывает ингибирующее действие микробиоценоз, при этом в почвогрунтах наблюдается развитие общей численности микрофлоры.

6.4 Результаты морфометрических показателей растений злаковых культур

Проективное покрытие является одним из ключевых параметров растительного покрова и характеризует степень покрытия почвы фитомассой растений. Математически проективное покрытие определяется как отношение проекции побегов и листьев к общей площади участка и выражается в долях или процентах.

С учетом того, что особенности развития растительного покрова во многом определяются зеленой фитомассой и ее динамикой, научный интерес представляет анализ проективного покрытия зелеными частями растений, т.е. анализ проективного покрытия зеленой фитомассой.

По причине того, что проективное покрытие является одним из ключевых биометрических параметров, характеризующих состояние растительности, на основе анализа его сезонного изменения можно делать выводы об особенностях развития растительного покрова тех или иных посевных площадей. По величине проективного покрытия зеленой фитомассой можно судить о продуктивности растительных сообществ (Бакурова и др., 2009; Бузук, 2014).

Результаты морфометрических показателей растений злаковых культур при опытно-промышленных испытаниях за 2018-2020гг., представлены в таблице 49.

Определяющим критерием эффективности применения вариантов почвогрунтов для биологической рекультивации нарушенных земель является показатель проективного покрытия растений злаковых культур, значения которого должны превышать 50% от площади учетной делянки наблюдений.

Таблица 49 – Результаты морфометрических показателей растений злаковых культур при опытно-промышленных испытаниях за 2018-2020 гг.

№ п/п	Наименование варианта	Травосмесь (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), норма внесения 120 кг/га (10%:70%:40%)				
		Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)	S _х	Высота надземных побегов, см	S _х	Проективное покрытие почв растительностью, %
1-й год опытно-промышленных испытаний						
1	Буровой шлам (контроль)	328,7	±7,09	13	±0,29	10
2	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	897,4	±22,4	25	±0,99	50
3	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1162,8	±36,7	28	±0,95	55
4	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	972,6	±31,9	25	±1,15	45
5	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1100,2	±32,4	28	±0,35	50
НСР ₀₅ за 1-й год опытно-промышленных испытаний (2018 г.)		4,8		1,6		-
2-й год опытно-промышленных испытаний						
6	Буровой шлам (контроль)	388,2	±15,2	13	±0,29	15
7	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	950,7	±27,1	34	±1,15	65
8	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1526,8	±37,4	36	±0,20	75
9	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	1034,5	±23,5	30	±0,08	70

№ п/п	Наименование варианта	Травосмесь (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), норма внесения 120 кг/га (10%:70%:40%)				
		Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)	S _х	Высота надземных побегов, см	S _х	Проективное покрытие почв растительностью, %
10	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1350,4	±36,4	35	±0,29	75
НСР ₀₅ за 2-й год опытно-промышленных испытаний (2019 г.)		9,2		1,2		-
3-й год опытно-промышленных испытаний						
11	Буровой шлам (контроль)	390,5	±19,5	15	±0,29	30
12	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	1070,6	±29,7	50	±0,35	80
13	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1896,3	±24,6	51	±0,19	90
14	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	1103,3	±35,2	50	±0,23	80
15	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1569,6	±44,5	50	±1,59	85
НСР ₀₅ за 3-й год опытно-промышленных испытаний (2020 г.)		9,7		1,2		-
НСР ₀₅ за 3 года опытно-промышленных испытаний (2018-2020 гг.)		9,7		0,8		-

Примечание: $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней.

1-й год опытно-промышленных испытаний: проективное покрытие на буровом шламе (контроль) сеяным фитоценозом составило 10 %, высота надземных побегов – 13 см с фитомассой 328,7 г/м² (сырая масса).

Внесение мелиорантов обеспечивает условия прорастания семян, роста и развития растений. Проективное покрытие на почвогрунтах составляло более 50 % от площади учетной делянки наблюдений. Наряду с этим отмечается активная всхожесть посевов с высотой надземных побегов 25-28 см.

Применение гуматов при посеве многолетних трав способствует повышению их всхожести в первый год, а в последующие годы заметно влияет на величину надземной фитомассы. Дополнительное внесение гуминового препарата «Росток» в виде 0,001 % раствора благоприятно сказывается на развитии растений, при этом происходит формирование жизнеспособного фитоценоза с высокими значениями фитомассы вегетативных надземных побегов 1100,2-1162,8 г/м² (сырая масса).

2-й год опытно-промышленных испытаний: на буровом шламе (контроль) отмечена слабая всхожесть злаков и соответственно низкие значения показателя проективного покрытия – 15 %, высота надземных побегов составила 13 см с фитомассой 388,2 г/м² (сырая масса).

Проективное покрытие на почвогрунтах с внесением мелиорантов и природных минеральных сорбентов составляло 65-70 %. Наиболее активно растения злаковых культур произрастали при внесении торфа и гуминового препарата «Росток» в виде 0,001% раствора, при этом значения проективного покрытия достигали 75 % с фитомассой 1350,4-1526,8 г/м² (сырая масса).

3-й год опытно-промышленных испытаний: проективное покрытие на буровом шламе (контроль) сеяным фитоценозом составило 30 %, проростки растений злаковых культур высотой до – 15 см с фитомассой 390,5 г/м² (сырая масса). Входящие в состав бурового шлама загрязняющие вещества (хлорид-ион, сульфат-ион, нефтепродукты) влияют на развитие сеяного ценоза.

В почвогрунтах с внесением мелиорантов, природных минеральных сорбентов, торфа и гуминового препарата «Росток» в виде 0,001% раствора отмечается формирование жизнеспособного ценоза злаковых культур во всех вариантах. Проективное покрытие надземных побегов составило 80-90 % при высоте проростков от 50 до 51 см с фитомассой 1070,6-1896,3 г/м² (сырая масса).

Наименьшая существенная разность при оценке результатов опытно-промышленных испытаний в среднем за три года исследований показала прирост массы злаковых культур многолетних растений в 92-119 раз ($НСП_{05} = 9,7 \text{ г/м}^2$) и увеличение высоты надземных побегов до 190 % по отношению к буровому шламу (контролю) ($НСП_{05} = 0,8 \text{ см}$).

Полученные данные зависимости массы вегетативных надземных побегов (сырая масса) от проективного покрытия представлены на рисунках 12-16 (средние значения за 2018-2020гг.).

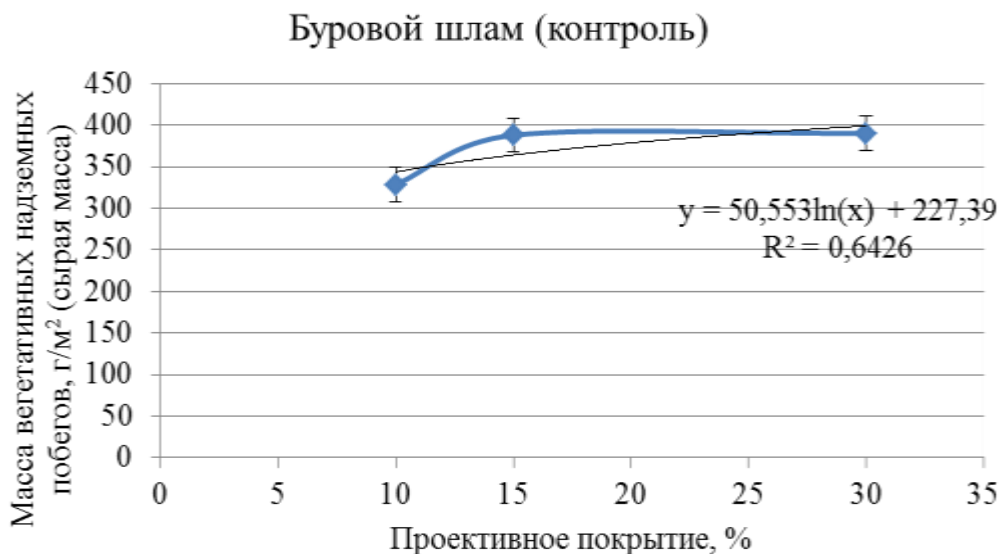


Рис. 12 – Зависимость массы вегетативных надземных побегов (сырая масса) от проективного покрытия

Значение коэффициента корреляции ($r = 0,72$) в контрольном образце (буровой шлам) свидетельствует о прямой умеренной связи проективного покрытия с массой вегетативных надземных побегов (сырая масса).

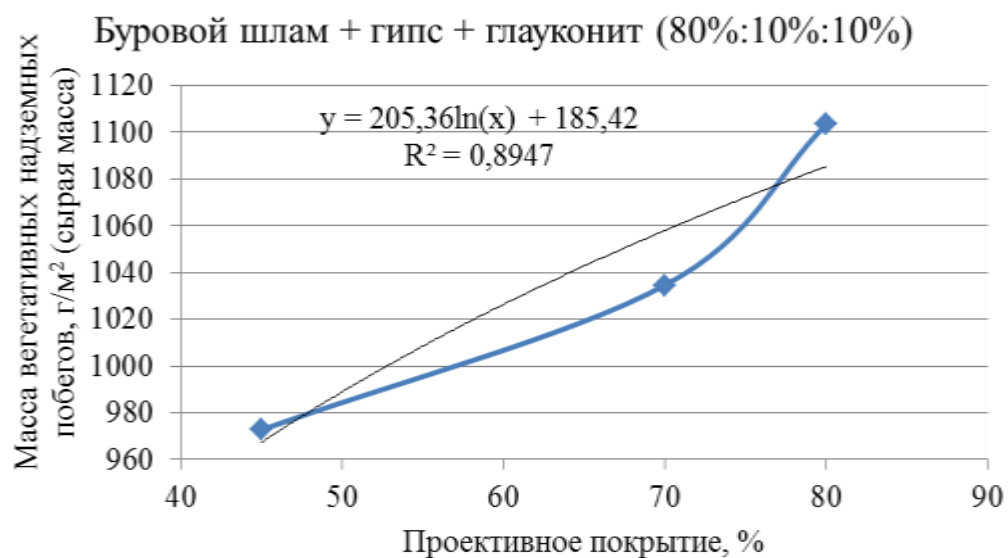


Рис. 13 – Зависимость массы вегетативных надземных побегов (сырая масса) от проективного покрытия

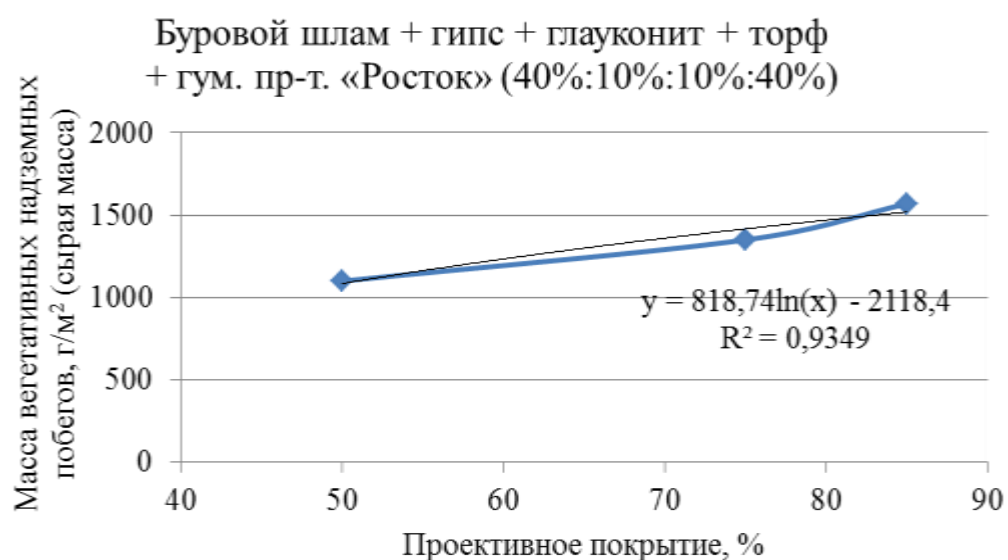


Рис. 14 – Зависимость массы вегетативных надземных побегов (сырая масса) от проективного покрытия

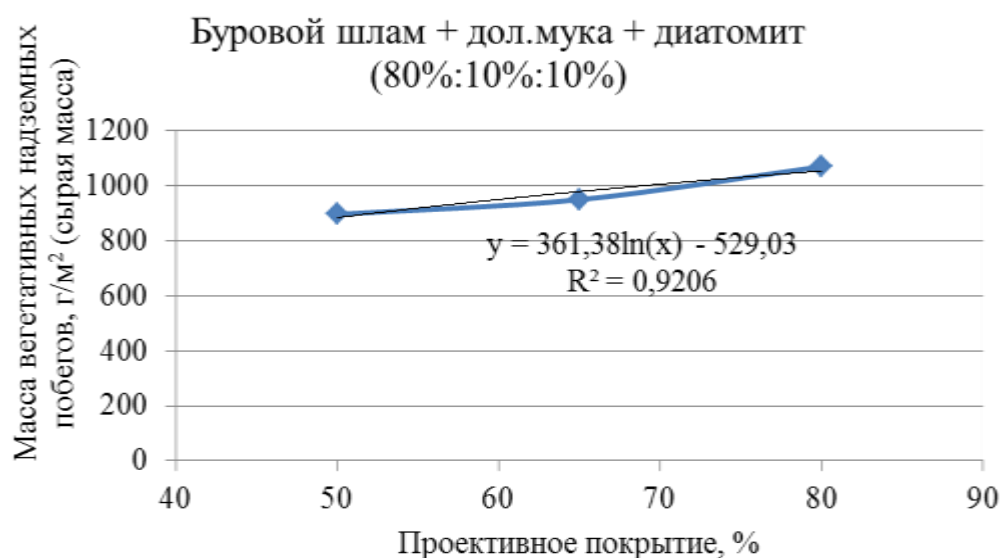


Рис. 15 – Зависимость массы вегетативных надземных побегов (сырая масса) от проективного покрытия

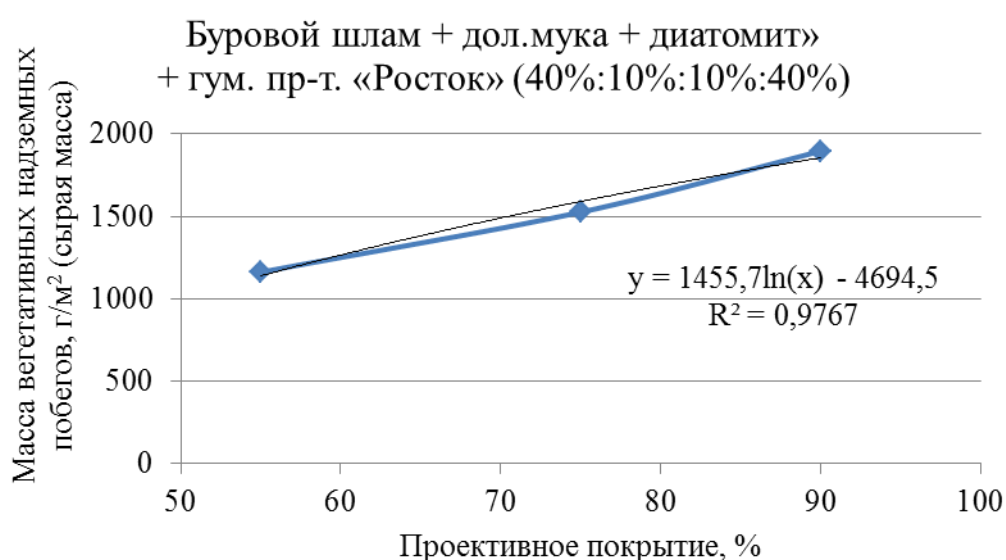


Рис. 16 – Зависимость массы вегетативных надземных побегов (сырая масса) от проективного покрытия

Значение коэффициентов корреляции ($r = 0,963-0,996$) свидетельствует о достаточно тесной связи проективного покрытия с массой вегетативных надземных побегов (сырая масса) во всех изучаемых образцах почвогрунтов.

6.5. Применение почвогрунтов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель

Биологический этап рекультивации нарушенных земель и земельных участков включает комплекс биологических и фитомелиоративных мероприятий по восстановлению утраченного качественного состояния земель с учетом выбранного направления рекультивации для определенного целевого назначения и разрешенного использования.

Технический этап. В соответствии с ГОСТ 17.5.1.01-83 технический этап рекультивации предусматривает комплекс технических мероприятий по подготовке нарушенных земель для их последующего целевого использования. Цель технического этапа – создание рекультивационного слоя почвы, с благоприятными для биологической рекультивации условиями.

На техническом этапе рекультивации осуществляется создание почвогрунтов. Весь полученный объем почвогрунтов является рекультивационным слоем.

Биологический этап.

Выбор направлений рекультивации определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.1.02-85, который устанавливает классификацию нарушенных земель по их пригодности для рекультивации и различных видов дальнейшего использования. Приоритетным направлением рекультивации при обращении с буровыми шламами с получением почвогрунтов – природоохранное направление (ГОСТ 17.5.1.03-86).

Почвогрунт рассматривается как потенциально плодородный грунт в соответствии с ГОСТ 17.5.1.03-86. Для стимулирования роста и развития растений, а также их адаптации к условиям произрастания используется гуминовый препарат «Росток».

Потенциально плодородный слой создается на спланированной поверхности шламового амбара, заполненного почвогрунтом. При

необходимости производится предварительное рыхление участка мотокультиватором для создания оптимальных условий прорастания семян.

Посев семян многолетних трав осуществляется на территории шламового амбара. Для посева рекомендуются костреч безостый (70 кг/га), овсяница красная (40 кг/га), мятлик луговой (10 кг/га). Нормы высева даны для посева культур в чистом виде и составляют 120 кг/га для территории ХМАО-Югры. При расчёте норм высева семян корректируют в зависимости от хозяйственной годности каждой конкретной партии семян.

Предложения по производству и принципиальная технологическая схема:

Оптимальная производительность создания почвогрунтов – 6 м³/час (максимальная – 12 м³/ч). Расход компонентов рассчитан на одну скважину со средним объемом образования 500 м³ бурового шлама представлено в таблице 50.

Таблица 50 – Расход компонентов рассчитан на одну скважину со средним объемом образования 500 м³ бурового шлама

Наименование варианта Ед.изм.	Буровой шлам + диатомит/глауконит + доломитовая мука/гипс (80:10:10)	Буровой шлам + диатомит/глауконит + доломитовая мука/гипс + торф + гум. пр-т «Росток» (40:10:10:40)
Расход реагентов, кг на 1 м ³ бурового шлама	гипс – 100 кг на 1 м ³ бурового шлама; глауконит – 87,5 кг на 1 м ³ бурового шлама	гипс – 200 кг на 1 м ³ бурового шлама; глауконит – 1750 кг на 1 м ³ бурового шлама; торф – 800 кг на 1 м ³ бурового шлама
	доломитовая мука – 46,5 кг на 1 м ³ бурового шлама; диатомит – 44 кг на 1 м ³ бурового шлама	доломитовая мука – 92,5 кг на 1 м ³ бурового шлама; диатомит – 87,5 кг на 1 м ³ бурового шлама; торф – 800 кг на 1 м ³ бурового шлама

Обращение с буровыми шламами осуществлялось по амбарной технологии: очистка буровых отходов происходила за счет использования 4-х ступенчатой системы очистки, обеспечивающей остаточную влажность отходов 70-80 %, отработанный буровой раствор (ОБР) поступает в

коллектор бурового раствора (КБР) с последующим возвратом в рециркуляционную систему.

Строительство шламового амбара с разрезными полосами осуществляется вдоль движения бурового станка на расстоянии 1-30 метров от линии скважин. Дно и борта имеют гидроизоляцию, которая выполняется слоистым противofильтрационным материалом «Нетма-Теплонит».

Буровые шламы по шнековому конвейеру поступают в шламовый амбар, на поверхность которых вносится смесь компонентов. Создание почвогрунтов осуществляется путем смешения буровых шламов с мелиорантом, природным минеральным сорбентом, торфом. Перемешивание полученной смеси производится ковшом экскаватора, с вовлечением в процесс всей массы смеси по глубине, до получения однородной (гомогенной) массы.

В результате выполнения опытно-промышленных испытаний рекомендованы оптимальные сроки проведения биологического этапа рекультивации, представлены в таблице 51.

Таблица 51 – Сроки проведения биологического этапа рекультивации

Этап выполнения работ по рекультивации	Наименование работ	Оптимальные сроки проведения	Критерий для выбора срока
Подготовительный этап	доставка материалов, рабочих бригад, подготовка участка к работам	март-апрель	переход температуры воздуха через 0 °С и начало схода снежного покрова
Технический этап	получение почвогрунта	апрель-май	переход температуры воздуха и начало схода снежного покрова
Биологический этап	внесение гуминового препарата и посев растений злаковых культур	с 3 декады июня по 2 декаду июля	установление оптимальной температуры воздуха, необходимой для нормального роста и развития растений (выше +5 °С)

Принципиальная технологическая схема получения почвогрунтов представлена на рисунке 17.

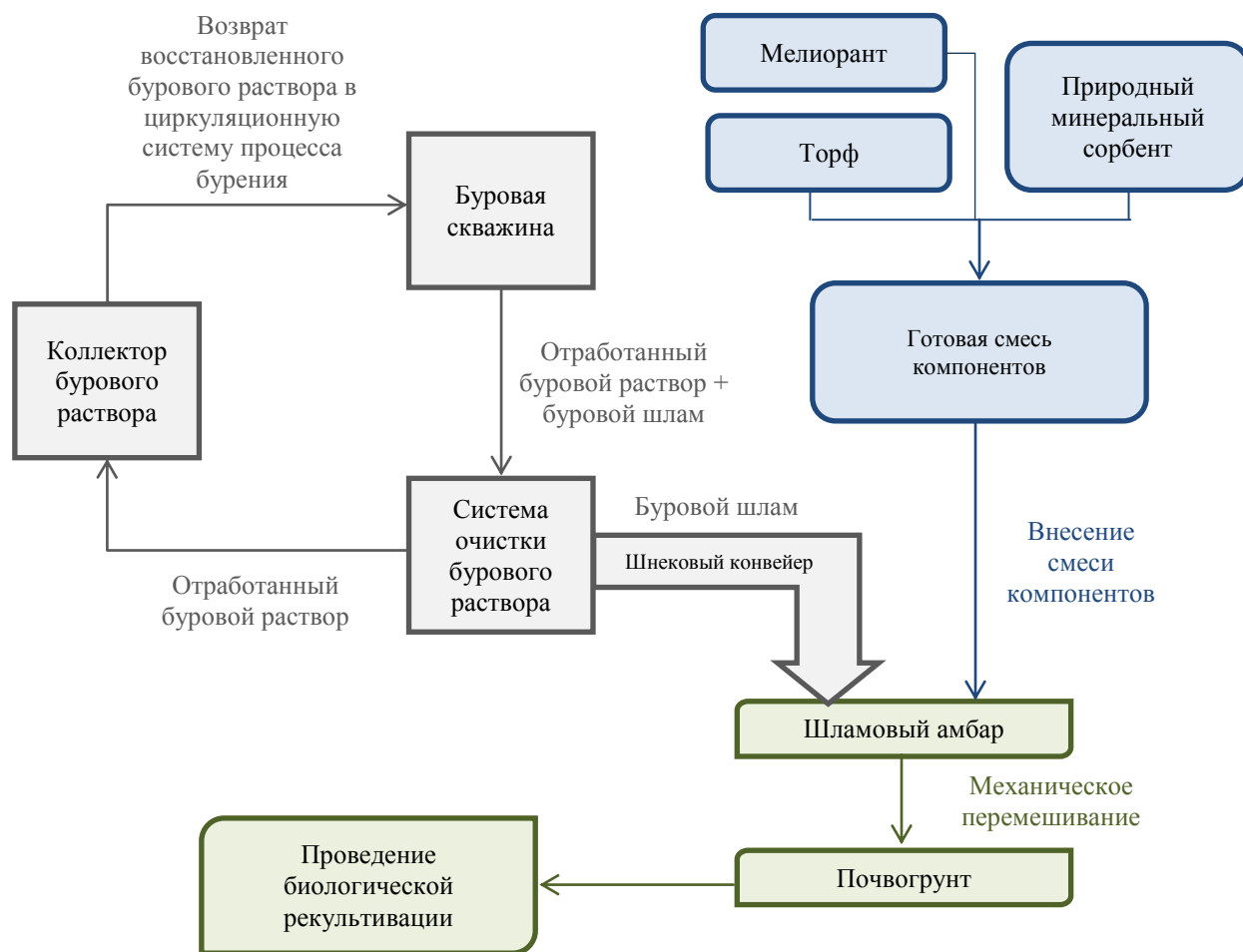


Рис. 17 – Принципиальная технологическая схема получения почвогрунтов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по экологической оценке почвогрунтов на основе буровых шламов для биологического этапа рекультивации нарушенных земель в условиях Западной Сибири можно сделать следующие выводы:

1. Все изученные образцы буровых шламов относились к IV классу опасности для окружающей природной среды в соответствии с кратностью разведения водной вытяжки свыше 10 раз. Исследования валовых содержаний тяжелых металлов (Mn, Zn, Pb, Cu, Co, As) показали превышение во всех образцах по мышьяку до 23,6 раз и свинцу до 2,2 раза. Отмечено высокое содержание хлорид-ионов – 6568 мг/кг и нефтепродуктов – 9600 мг/кг.

2. При проведении элюатного фитотестирования бурового шлама с внесением мелиорантов (доломитовой муки / гипса / фосфогипса) от 10 до 20 % объемных долей наблюдалось снижение фитотоксического действия на растения семейства злаковые (*Festuca rubra* L., *Poa pratensis* L., *Bromus inermis* Leyss.), всхожесть которых составила от 80 до 90 %.

3. Внесение в буровой шлам природных минеральных сорбентов от 3 до 25 % объемных долей способствовало снижению концентрации нефтепродуктов на 28-й и 56-й день исследований (252 и 244 мг/кг).

4. Почвогрунты с внесением мелиорантов, природных минеральных сорбентов, торфа и гуминового препарата «Росток» благоприятно влияли на формирование морфометрических показателей растений семейства злаковые (*Festuca rubra* L., *Poa pratensis* L., *Bromus inermis* Leyss.) в лабораторных условиях, со всхожестью до 96 % и высотой надземных побегов до 10,2 см.

5. Уровень водородного показателя pH в почвогрунтах с диатомитом и доломитовой мукой варьировал от 8,13 до 8,43, с гипсом и глауконитом – 7,69-8,32. Валовое содержание тяжелых металлов не превышало ПДК (ОДК) почв. Концентрация нефтепродуктов варьировала в пределах значений

повышенного фона (менее 500 мг/кг). Плотный остаток водной вытяжки почвогрунтов был ниже установленного уровня (менее 2%).

6. Летальная кратность разбавления водных вытяжек почвогрунтов, вызывающая гибель 50 % *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, была ниже по отношению к буровому шламу в среднем в 1,8 раза, *Daphnia magna* Straus – 9,4 раза. Положительный хемотаксис *Paramecium caudatum* Ehrenberg наблюдался при разбавлении водных вытяжек до 10 раз с индексом токсичности менее 0,24 у.е. Образцы почвогрунтов не оказывали подавления или стимуляции на величину оптической плотности культуры *Chlorella vulgaris* Beijer (8,32-29,84%).

7. Создание почвогрунтов способствовало увеличению разнообразия микробоценоза. Общая численность микрофлоры в образцах была в пределах 60,0-271,0 млн. КОЕ/г. Численность сапрофитов составляла 34,0-62,0 млн. КОЕ/г. Максимальное значение актиномицетов отмечалось в почвогрунтах с внесением торфа (4,9-7,3 млн. КОЕ/г).

8. Опытно-промышленные испытания подтверждают пригодность почвогрунтов для применения на биологическом этапе рекультивации нарушенных земель. Проектное покрытие составляло 80-90 % при высоте надземных побегов растений семейства злаковые 50-51 см и фитомассе 1003,3-1896,3 г/м² (сырая масса).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании проведенных опытно-промышленных испытаний рекомендованы следующие составы почвогрунтов: буровой шлам + диатомит / глауконит + доломитовая мука / гипс (80%:10%:10%); буровой шлам + диатомит / глауконит + доломитовая мука / гипс + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%).

При проведении биологического этапа рекультивации рекомендуется посев семян многолетних трав – кострец безостый (70 кг/га), овсяница красная (40 кг/га), мятлик луговой (10 кг/га). Нормы высева даны для посева культур в чистом виде и составляют 120 кг/га для территории ХМАО-Югры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкологическая оценка минералогического состава почв / В. И. Савич, С. Л. Белопухов, М. Е. Котенко, [и др.] // Сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыбное хозяйство. – 2016, № 3. – С. 30-39.
2. Азарова, С. В. Отходы горнодобывающих предприятий и комплексная оценка их опасности для окружающей среды (на примере объектов Республики Хакасия) : 25.00.36 «Геоэкология» : дисс. ... канд. геол.-минер.наук / С. В. Азарова ; Томский государственный университет. – Томск, 2005. – 235 с.
3. Ахметшин, М. А. Состояние и перспективы развития работ на Самотлорском месторождении по уменьшению отрицательного влияния отходов бурения на природную среду / М. А. Ахметшин, Н. Н. Андреева, Ю. П. Пинягин // Пути и средства достижения сбалансированного эколого-экономического развития в нефтяных регионах Западной Сибири. – Нижневартовск : Уральский рабочий, 1995. – С. 62-63.
4. Бадовский, Н. А. Система сбора и хранения отходов при бурении/ Н. А. Бадовский // Защита от коррозии и охрана окружающей среды. – 1994. – № 6. – С. 33-39.
5. Бакурова, К. Б. Эколого-экономическая оценка деградации агроландшафтов на основе дистанционного мониторинга / К. Б. Бакурова, В. Г. Юферев // Вестник Воронежского государственного университета. – 2009. – № 1. – С. 79-83.
6. Балаба, В. И. Обеспечение экологической безопасности строительства скважин на море / В. И. Балаба // Бурение и нефть. – 2004. – № 1. – С. 18-21.
7. Балаба, В. И. Проблемы экологической безопасности использования веществ и материалов бурения / В. И. Балаба, А. И. Колесов, Е. А. Коновалов // Сер. Охрана человека и окружающей среды в газовой промышленности. – М.: ИРЦ «Газпром», 2001. – 32 с.

8. Барахнина, В. Б. Основы технологии очистки отходов нефтегазового комплекса и оценка ущерба окружающей среде / В. Б. Барахнина, И. Р. Киреев, В. В. Свинарев. – Уфа : РИО РУНМЦ МО РБ, 2009. – 242 с.
9. Беляков, А. Ю. Оценка токсичности буровых шламов и эколого-функциональные особенности выделенных из них микроорганизмов : 03.02.08 «Экология» : 03.02.03 «Микробиология» : дисс.... канд. биол. наук / А. О. Беляков; Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского. – Саратов, 2014. – 170 с.
10. Биоремедиация бурового шлама в процессе химической фиксации / Л. Э. Гасымлы, Н. А. Ибадов, Ф. К. Касомов, [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 4. – С. 86-90.
11. Бузук, Г. Н. Определение проективного покрытия и урожайности при использовании фото точек (Photo point method) / Г. Н. Бузук // Вестник фармации. – 2013. – № 3 (61). – С. 74-80.
12. Булатов, А. И. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин/ А. И. Булатов, Е. Ю. Волощенко, Г. В. Кусов, О.В. Савенок. – Краснодар. Изд-во «Просвещение-Юг», 2011. – 603 с.
13. Булатов, А. И. Буровые промывочные и тампонажные растворы. Учеб. пособие для вузов / А. И. Булатов, П. П. Макаренко, Ю. М. Проселков. – М.: Изд-во Недр, 1999. – 424 с.
14. Булатов, А. И. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности / А. И. Булатов, П. П. Макаренко, В. Ю. Шеметов. – М.: Недр, 1997. – 483 с.
15. Буровой шлам [Электронный ресурс] // Википедия. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%88%D0%BB%D0%B0%D0%BC (дата обращения: 20.07.2020).

16. Буровые и тампонажные растворы [Электронный ресурс] // Учебные материалы. – Режим доступа : <http://works.doklad.ru/view/L5exKRaqbOc/3.html> (дата обращения 20.07.2020).

17. Буровые отходы. Исследование буровых растворов, используемых на морских месторождениях нефти, и технологий их удаления, снижающих воздействие на морскую среду сбросов в море [Электронный ресурс] // Бесплатная библиотека России. Конференции, книги, пособия, научные издания. – Режим доступа : <http://libed.ru/knigi-nauka/439315-1-burovie-othodi-issledovanie-burovih-rastvorov-ispolzuemih-morskih-mestorozhdeniyah-nefti-tehnologiy-udaleniya-s.php> (дата обращения: 16.07.2020).

18. Быков, И. Ю. Буровой шлам / И. Ю. Быков, А. С. Гуменюк, Р. П. Цивилиев. – М. : ВНИИОЭНГ. – 1993. – С. 10.

19. Васильев, А. В. Анализ особенностей и практические результаты экологического мониторинга загрязнения почвы нефтесодержащими отходами / А. В. Васильев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т.16, №1(6), 2014 – С. 1705-1708.

20. Васильев, А. В., Тупицына, О. В. Экологическое воздействие буровых шламов и подходы к их переработке / А. В. Васильев, О. В. Тупицына // Проблемы прикладной геологии. – 2014. – С. 308-312.

21. Влияние отработанных буровых растворов на загрязнение почв/ М. Ю. Ежов, В. И. Терпелец, В.Ю. Шеметов [и др.]. – М.: ВНИИКРнефть., 1986. – 10 с.

22. Влияние шламовых амбаров на геохимическое состояние болотных экосистем в бассейне реки Васюган / В. А. Базанов, О. Г. Савичев, Д. В. Волостнов, [и др.] // Известия Томского политехнического университета, 2004. – Т. 307. № 2. – С. 72-75.

23. Возможности утилизации отходов бурения при формировании почвоподобной среды/ Е. В. Гаевая, Я. Э. Богайчук, С.С. Тарасова, [и др.] // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – № 2. – С. 82-89.

24. Воробьева, С. У. Переработка нефтешламов, буровых шламов, нефтезагрязненных грунтов методом реагентного капсулирования / С. У. Воробьева, М. С. Шпинькова, И. А. Мерициди // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2011. – № 2. – С. 68-70.

25. Гайрабеков, У. Т. Экологическая оценка буровых работ на территории Чеченской и Ингушской республик : 11.00.11 «Охрана окружающей среды и хозяйственное использование природных ресурсов» : дис.... канд. биол. наук / У. Т. Гайрабеков. – Махачкала, 1998. – 185 с.

26. Гасымлы, Л. Э. Биоремедиация бурового шлама в процессе химической фиксации / Л. Э. Гасымлы // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 4. – С. 86-90.

27. Гвоздецкая, М. В. Комплексный аналитический метод мониторинга состояния отходов бурения : 25.00.36 «Геоэкология» дис. ... канд. тех. наук. / М. В. Гвоздецкая; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – Санкт-Петербург. – 2010. – 167 с.

28. Геохимические условия размещения и утилизации отходов бурения в торфяно-болотных геосистемах Сибири / О. Г. Савичев, П. В. Бернатонис, В. К. Бернатонис // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 375. – С. 183-186.

29. Глазовская, М. А. Скорость самоочищения почв от нефти в различных природных зонах / М. А. Глазовская, Ю. И. Пиковский // Природа. – 1980. – № 5. – С. 118-119.

30. Годовой отчет ПАО «Сургутнефтегаз» за 2017 год [Электронный ресурс] // ПАО «Сургутнефтегаз» : официальный сайт. – Режим доступа: <https://www.surgutneftegas.ru/investors/reporting/> (дата обращения 10.04.2019).

31. Горленко, Н. В. Загрязнение почв как основной фактор воздействия на окружающую среду при нефтедобыче / Н. В. Горленко, С. С. Тимофеева // Техносферная безопасность в XXI веке : материалы VII всерос. научн.-практ. конф. – Иркутск, 2017. – С. 286-291.

32. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: Стандартинформ, 2011. – 31 с.
33. ГОСТ 12071-2014. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.
34. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 5 с.
35. ГОСТ 17.4.3.01-83. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартинформ, 2008. – 5 с.
36. ГОСТ 17.4.4.02-84. Почвы. Методы отбора проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2008. – 8 с.
37. ГОСТ 17.5.1.01-83. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 8 с.
38. ГОСТ 17.5.1.02-85. Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 9 с.
39. ГОСТ 17.5.1.03-86. Охрана природы (ССОП). Земли. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 6 с.
40. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор пробы. – М.: Стандартинформ, 2008. – 5 с.
41. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы определения физических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2005. – 19 с.
42. Григорьян, Г. Р. Николаева Т. Г., Сунгатуллина Л. М. Изменение биологических параметров почвенной экосистемы в агробиоценозах в условиях различных систем земледелия // Георесурсы. – 2011. – № 2 (38). – С. 9-13.
43. Гусейнов, Т. И. Влияние химических реагентов и бурового шлама на гидробионты и пути снижения их токсичности/ Т. И. Гусейнов, Р. Ю.

Касимов, З. А. Литвин и др. // Обзор информ. ВНИИЭГазпром. Сер. Бурение морских нефтяных и газовых скважин – М., 1986. – Вып. 4. – 48 с.

44. Гусейнова, С. А. Содержание токсических веществ в тканях и органах гидробионтов на участке «Центрально-Каспийский» / С. А. Гусейнова // Юг России: экология, развитие. – Махачкала, 2013. – С. 158-166.

45. Детоксикация отработанных буровых растворов и буровых шламов и их утилизация в качестве мелиорантов при рекультивации нарушенных почв / Ф. М. Узбеков, Л. В. Молотилова, А. Е. Мохов, [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2003. – № 5. – С. 15-19.

46. Доклад «Буровые отходы. Исследование буровых растворов, используемых на морских месторождениях нефти, и технологий их удаления, снижающих воздействие на морскую среду сбросов в море» [Электронный ресурс] // РОО «Экологическая вахта Сахалина» : официальный сайт. – Режим доступа : <https://ecosakh.ru/2000/05/01/doklad-burovye-othody-issledovanie-burovyh-rastvorov-ispolzuemyh-na-morskih-mestorozhdeniyah-nefti-i-tehnologij-ih-udaleniya-snizhajushhih-vozddejstvie-na-morskuju-sredu-sbrosov-v-more-dzhonatan-uills/> (дата обращения: 20.07.2020).

47. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2018 году [Электронный ресурс] // Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений : официальный сайт. – Режим доступа : <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-iotchety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okrugeyugre/2876367/2018-god> (дата обращения 20.02.2020).

48. Дьяченко, Г. П. Внедрение технологии переработки буровых шламов / Г. П. Дьяченко // Экология производства. –2009. – № 8. – С. 64–68.

49. Жабриков, С. Ю. Строительный материал как результат переработки отходов бурения по ИММ-технологии / С. Ю. Жабриков //

Теоретические и прикладные аспекты современной науки. –2014. – № 2-2. – С. 190-199.

50. Захаров, А. И. Виды и масштабы воздействия нефтедобывающей промышленности на лесной фонд Ханты-Мансийского автономного округа / А. И. Захаров, Г. А. Гаркунов, Б. Е. Чижов // Леса и лесное хозяйство Западной Сибири. – Тюмень, 1998. – № 6. – С. 149-160.

51. Идрисов, Р. Х. Анализ физических методов обезвреживания отходов бурения / Р. Х. Идрисов, Р. Ф. Масагутов // Технические науки – от теории к практике. – Новосибирск, 2015. – С. 159-165.

52. Изменение водно-физических свойств бурового шлама в процессе его утилизации в техногенный грунт / С. С. Тарасова, Е. В. Гаевая, Я. Э. Богайчук, А. Е. Турнаева // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке : материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2017. – Т. 1. – С. 270-274.

53. Исидоров, В. А. Введение в химическую экотоксикологию / В. А. Исидоров. – С-Пб.: Химиздат, 1999. – С. 127-129.

54. Капелькина, Л. П. Биотестирование буровых шламов нефтяных месторождений / Л. П. Капелькина, М. В. Чугунова, Т. В. Бардина, Л. А. Малышкина // Экологический вестник России. –2013. – № 8. – С. 32-37.

55. Касимов, Р. Ю. Влияние химических реагентов на молодь рыб и кормовые организмы/ Р. Ю. Касимов // ЭИ ИНИТЕРХ. – 1974. – Т.8. – С. 29-34.

56. Климова, А. А. Комплексная эколого-геохимическая оценка бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений томской и иркутской областей : 25.00.36 «Геоэкология» автореф.... канд. г.-м.н. / А. А. Климова. – ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». – Томск, 2021. – 22 с.

57. Климова, А. А. Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтяных месторождений на примере объектов Томской области / А.

А. Климова, Е. Г. Языков, И. Р. Шайхиев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2020. – Т. 331. – №2. – С. 102-114.

58. Климова, А. А. Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтегазоконденсатных месторождений на примере объектов Иркутской области / А. А. Климова, Е. Г. Языков // Вестник Забайкальского государственного университета, 2020. – Т. 26. – №2. – С. 32-39.

59. Король, В. В. Утилизация отходов бурения скважин / В. В. Король // Экология и промышленность России. – 2005. – № 1. – С. 40-42.

60. Косаревиц, И. В. Экология бурения / И. В. Косаревиц, В. Ю. Шеметов, А. П. Гончаренко. – Минск : Наука и техника, 1994. – 119 с.

61. Крыса, В. В., Малышкин, М. М. Методика определения класса опасности соленых буровых шламов / В. В. Крыса, М. М. Малышкин // Записки Горного института. – Т.3. – 2013. – С. 50-54.

62. Крючков, В. Н. Оценка влияния отходов бурения на гидробионты / В. Н. Крючков, А. А. Курпанов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2012. – №1. – С. 60-65.

63. Литвинова, Т. А. Современные способы обезвреживания и утилизации нефтесодержащих отходов для ликвидации загрязнения окружающей среды / Т. А. Литвинова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 123. – С. 902-916.

64. Лихачев, С. Г. Воздействие нефтяных разливов на природные экосистемы / С. Г. Лихачев // Экология. – 1986. № 4. – С. 24-26.

65. Мазлова Е. А. Шламовые отходы нефтегазовых компаний / Е. А. Мазлова, И. А. Меньшикова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – № 1. – С. 22-21.

66. Макаренко, И. Ю. Экологическая оценка воздействия нефтегазодобывающей деятельности на водные объекты среднего Приобья :

25.00.36 «Геоэкология» автореф. дис.... канд. геогр. наук. / И. Ю. Макаренко; Южный федеральный университет. – Ростовна-Дону, 2007. – 26 с.

67. Малышкин, М. М. Геоэкологическое обоснование размещения буровых шламов в насыпи площадок скважин : 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)» : дис. ... канд. техн. наук: / М. М. Малышкин; СПГГИ имени Г.А. Плеханова. – Санкт-Петербург, 2010. – 181 с.

68. Мартыненко, Е. Г. Геоинженерная защита территорий с использованием материалов на основе отходов бурения : 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)» : дис....канд. тех. наук: / Е. Г. Мартыненко ; ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». – Самара, 2017. – 135с.

69. Матвиенко, В. В. К вопросу о современных методах переработки и утилизации отходов бурения / В. В. Матвиенко, В. А. Кузнецов, М. В. Цеханский // Нефть и Газ Сибири. – 2017. – № 3(28). – С. 94-99.

70. Минигазимов, Н. С., Минигазимов, Р. Ш. Новая информация о токсичности нефтесодержащих отходов / Н. С. Минигазимов, Р. Ш. Минигазимов // Уральский экологический вестник. – 2014. – №2. – С. 336.

71. Михайлова, Л. В. Экологическая опасность отходов бурения в нефтедобывающих районах Тюменской области / Л. В. Михайлова, Г. Е. Рыбина, Т. Г. Акатьева // Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах РФ. – Москва, 2000. – С. 133-140.

72. Михалкина, О. Г. Применение метода рентгеновской дифракции для исследования керна и техногенных продуктов / О. Г. Михалкина // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2016. – № 4 (28). – С. 96-107.

73. Мойсейченко, Г. В. Резистентность молоди лососёвых и их кормовой базы к воздействию буровых компонентов / Г. В. Мойсейченко, В. Д. Абрамов // Мат. V Всерос. совещания по систематике, биологии и разведению лососевых рыб. – С.: Изд-во Мир, 1994. – С. 126-127.

74. Московченко, Д. В., Дожорукова, С. Л. Последствия буровых работ на Севере Тюменской области / Д. В. Московченко, С. Л. Дожорукова // Экология и промышленность России. – 2002. – № 9. – С. 27-30.

75. Некрасова, И. Л. Эколого-геохимическая характеристика отходов строительства нефтяных скважин (на примере Пермского Прикамья) : 25.00.36 «Геоэкология» дис.... канд. техн. наук / И. Л. Некрасова; Пермский государственный университет. – Пермь, 2003. – 186 с.

76. Нехорошева, А. В. Оценка цитотоксичности образцов бурового шлама, собранных на территории амбара, в природных условиях ХМАО-Югры / И. Ф. Киржаков, И. И. Авдеева, Р. Р. Ахмеджанов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 17. – №5. – 2015. – С. 690-694.

77. Обезвреживание отходов бурения с получением строительного материала : технологический регламент [Электронный ресурс] // ООО «Сервисный Центр СБМ» : официальный сайт. – Режим доступа : <http://www.scsbm.ru/ecology/eco2.php> (дата обращения : 10.10.2020).

78. Оборудования для утилизации и переработки буровых отходов [Электронный ресурс] // Hebei GN Solids Control Co., Ltd. : официальный сайт. – Режим доступа : <http://www.gnsolidscontrol.ru/products/sistema-utilizatsii-burovich-shlamov?yclid=6172964654976893958> (дата обращения : 10.10.2020).

79. Определение токсичности буровых шламов с территории Томской области методами биотестирования для оценки возможности его дальнейшего использования / А. А. Климова, А. С. Мишунина, С. В. Азарова, Д. Е. Фоминых, [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2018. – №.4. – С. 108-111.

80. Особенности кинетики роста культуры *Paramecium caudatum* в модели окислительного стресса / О. В. Карпухина, К. З. Гумаргалиева, А. Н. Иноземцев, [и др.] // Вестник технологического университета. – Казань, 2015. – Том 18 (10). – С. 9-11.

81. Остах, О. С. Эколого-экономический потенциал технологий утилизации буровых шламов : 03.02.08 «Экология» дисс.... канд. техн. наук / О. С. Остах ; ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа НИУ имени И. М. Губкина». – Москва, 2021 г. – 184 с.

82. Отчет в области устойчивого развития ПАО «НК «Роснефть» за 2018 год [Электронный ресурс] // ПАО «НК «Роснефть» : официальный сайт. – Режим доступа: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/Rosneft_CSR18_RU_Book.pdf (дата обращения 03.11.2020).

83. Отчет о деятельности в области устойчивого развития Группы «ЛУКОЙЛ» за 2018 год [Электронный ресурс] // ГК «ЛУКОЙЛ» : официальный сайт. – Режим доступа: <https://lukoil.ru/InvestorAndShareholderCenter/ReportsAndPresentations/SustainabilityReport> (дата обращения 03.11.2020).

84. Отчеты в области устойчивого развития «Сургутнефтегаз» за 2018 год [Электронный ресурс] // ПАО «Сургутнефтегаз» : официальный сайт. – Режим доступа: <https://www.surgutneftegas.ru/investors/reporting/godovye-otchety/> (дата обращения 03.11.2020).

85. Охрана окружающей среды / Н. Ф. Джавадов, Р. С. Аскеров, Н. Э. Зейналов // Азербайджанское нефтяное хозяйство. – 2003. – № 5. – С. 53-58.

86. Оценка воздействия на компоненты окружающей среды буровых шламов, накопленных на нефтегазовых месторождениях, и прогноз изменения качества окружающей среды при их утилизации : отчет о НИР / ФГБУ УралНИИ «Экология»; Б. Е. Шенфельд, В. Е. Шапкин, Н. В. Костылева, М. В. Черепанов, Е. А. Пичугин [и др.]. – Пермь, 2014. – 282 с.

87. Оценка токсичности отходов нефтедобычи методами биотестирования / Р. Б. Сипулинов, Ю. В. Карагайчева, Н. А. Шилова, С. М. Рогачева // Промышленная экология. – 2015. – С. 696-699.

88. Оценка экологической опасности бурового шлама на территории амбара в природных условиях ХМАО-Югры / И. И. Авдеева, А. В.

Нехорошева, И. Ф. Киржаков, [и др.] // XXI век. Техносферная безопасность. – 2016. – Т. 1. – № 4. – С. 39-47.

89. Павлова, Е. Ю. Оценка экологической безопасности размещения бурового шлама на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / Е. Ю. Павлова // Международный студенческий вестник. – 2015. – С. 676–679.

90. Патент на изобретение RU 100926, 10.01.2011. МПК В09В3/00 (2006.01). Технологическая линия утилизации буровых шламов : № 2010101177/21 : заявл. 15.01.2010 : опубл. 10.01.2011 / Косулина Т. П., Гамарский Д. М., Лисютина И. В., Лобян А. Г., Горбунова О. В.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный технологический университет» (ГОУ ВПО «КубГТУ»). – 9 с. : ил.

91. Патент на изобретение RU 2539470 С1, 06.09.2013. МПК В09С1/00. Способ рекультивации бурового шламового амбара : 2013142199/03 : заявл. 16.09.2013: опубл. 20.01.2015 Бюл. № 2/ Маенов Г.К., Лебедева Е.Б.; патентообладатель ООО «Самотлорнефтегаз». – 11 с.

92. Патент на изобретение RU 2656379 С1, 05.06.2018. МПК В09С1/08. Способ переработки бурового шлама : 2017141056 : заявл. 26.11.2017 : опубл. 05.06.2018 Бюл. № 16 / Бахтизин Р. Н., Докичев В. А.; патентообладатель ООО МИП «НефтеХимПром УГНТУ». – 3 с.

93. Патент на изобретение RU 2702184 С1, 04.10.2019. МПК E21С 41/32(2006.01), В09В 1/00(2006.01), В09С 1/00(2006.01). Способ рекультивации бурового шламового амбара : 2018139874 : заявл. 12.11.2018 : опубл. 04.10.2019 Бюл / Мажайский Ю. А., Голубенко М. И., Стенина О. Е., [и др.]; патентообладатель ООО «МЕЩЕРСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР». – 10 с.

94. Патент на изобретение RU 2145580 С1 Российская Федерация, 20.02.2000. МПК C02F11/14 (2006.01), B01F7/08 (2006.01). Установка для обезвреживания и утилизации бурового шлама : № 98120761/12 : заявл.

10.11.1998 : опубл. 20.02.2000 / Басарыгин Ю. М., Будников В. Ф., Гераськин В. Г., Мандель А. Я., Шабров С. Н.; патентообладатель «Кубаньгазпром». – 6 с. : ил.

95. Патент на изобретение RU 2179621 C1, 20.02.2002. МПК E21B21/06 (2006.01). Установка для обработки бурового раствора и бурового шлама : № 99118583/03 : заявл. 27.11.1998 : опубл. 20.02.2002 / Енсен О. Д., Кальвенес Э.; патентообладатель МЕРКУР САБСИ ПРОДАКТС АСА. – 6 с. : ил.

96. Патент на изобретение RU 2198142 C1, 10.02.2003. МПК C02F11/00 (2006.01), C02F11/12 (2006.01), C02F11/14 (2006.01). Смесь обезвреживания бурового шлама, содержащегося в отработанном буровом растворе : № 2001136050/12 : заявл. 28.12.2001 : опубл. 10.02.2003 / Кнатько В. М., Кнатько М. В., Гончаров А. В. ; патентообладатели Кнатько В. М., Кнатько М. В., Гончаров А. В. – 9 с. : ил.

97. Патент на изобретение RU 2242493 C1, 20.12.2004. МПК C09K7/02 (2000.01), C04B33/00 (2000.01). Способ утилизации отходов бурения : № 2003118012/03 : заявл. 16.06.2003 : опубл. 20.12.2004 / Денисов А. В., Прасс Л. В.; патентообладатель ОАО «Томский научноисследовательский и проектный институт нефти и газа Восточной нефтяной компании» (ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК»). – 8 с.

98. Патент на изобретение RU 2293103 C1, 10.02.2007. МПК C09K17/00 (2006.01), A01B79/02 (2006.01). Композиция для рекультивации карьеров и нарушенных земель : № 2004132410/12 : заявл. 05.11.2004 : опубл. 10.02.2007 / Митрофанов Н. Г., Санников С. Н., Русинов М. В.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Тюменская государственная архитектурно-строительная академия (ГОУ ВПО ТюмГАСА. – 4 с.

99. Патент на изобретение RU 2298567 C1, 10.05.2007. МПК C08O11/00 (2006.01), C04B18/04 (2006.01), B09B3/00 (2006.01). Способ переработки бурового шлама : № 2005124786/04 : заявл. 03.08.2005 : опубл.

10.05.2007 / Сивков В. П., Рядинский В. Ю.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет». – 3 с.

100. Патент на изобретение RU 2323293 C1, 27.04.2008. МПК E01C3/04 (2006.01). Способ утилизации буровых шламов : № 2006135005/03 : заявл. 03.10.2006 : опубл. 27.04.2008 / Рядинский В. Ю.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет». – 5 с.

101. Патент на изобретение RU 2347629 C1, 27.02.2009. МПК B09B3/00 (2006.01), E21C41/32 (2006.01). Способ утилизации бурового шлама : № 2007127968/03 : заявл. 20.07.2007 : опубл. 27.02.2009 / Рядинский В. Ю., Антропов А. А.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет». – 4 с. : ил.

102. Патент на изобретение RU 2352630 C1, 20.04.2009. МПК C12N 1/20 (2006.01), C12N 1/26 (2006.01). Способ выделения и активации консорциума аборигенных микроорганизмов-деструкторов нефти и нефтепродуктов : 2007135592/13 : заявл. 20.04.2009 : опубл. 25.09.2007 Бюл. № 11 / Ягафарова Г. Г., Головцов М.В., Леонтьева С. В., [и др] ; патентообладатель ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». – 3 с.

103. Патент на изобретение RU 2379137 C1, 20.01.2010. МПК, B09C1/10 (2006.01). Способ обезвреживания отработанных буровых шламов : № 2008125905/12 : заявл. 25.06.2008 : опубл. 20.01.2010 / Бурлака В. А., Бурлака И. В., Бурлака Н. В.; патентообладатель Бурлака В. А., Бурлака И. В., Бурлака Н. В. – 5 с.

104. Патент на изобретение RU 2389564 C1, 20.05.2010. МПК B09B3/00 (2006.01), C04B33/132 (2006.01), C04B33/32 (2006.01). Способ обезвреживания бурового шлама с получением из него строительного

материала : № 2009122101/03 : заявл. 10.06.2009 : опубл. 20.05.2010 / Горин В. М., Кабанова М. К., Казмалы И. К., Карташов А. А., Токарева С. А., Уксюзов В. Л.; патентообладатель ЗАО «НИИКерамзит». – 6 с.

105. Патент на изобретение RU 2392256 C1, 20.06.2010. МПК C05F1/00 (2006.01). Способ обезвреживания отходов бурения нефтяных и газовых скважин : № 2008147085/12 : заявл. 01.12.2008 : опубл. 20.06.2010 / Загидуллин А. Ш., Бородай А. В.; патентообладатель Загидуллин А.Ш., Бородай А.В. – 8 с.

106. Патент на изобретение RU 2486166 C1, 27.06.2013. МПК C05F11/02 (2006.01), A01B79/00 (2006.01), B09C1/00 (2006.01). Способ обезвреживания нефтезагрязненных грунтов, способ обезвреживания отработанных буровых шламов : № 2011134673/13 : заявл. 18.08.2011; опубл. 27.06.2013 / Куми В. В.; патентообладатель ООО «ЭМУЛЬСИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ». – 13 с.

107. Патент на изобретение RU 2491135 C1, 27.08.2013. МПК B09B1/00 (2006.01). Смесь почвенная шламовогрунтовая (варианты) для рекультивации нарушенных земель и способ рекультивации карьеров и нарушенных земель : № 2011152564/13 : заявл. 23.12.2011 : опубл. 27.08.2013 / Кольцов И. Н., Митрофанов Н. Г., Петухова В. С., Скипин Л. Н.; патентообладатель Салым Петролеум Девелопмент Н. В. – 9 с.

108. Патент на изобретение RU 2492943 C1, 20.09.2013. МПК B09B3/00 (2006.01), B09C1/00 (2006.01). Способ восстановления земель с использованием буровых шламов, образованных в результате нефтегазодобычи : № 2012123636/13; заявл. 08.06.2012; опубл. 20.09.2013 / Габасов Т. Х.; патентообладатель ООО «Аристей». – 6 с.

109. Патент на изобретение RU 2524708 C1, 19.02.2013. МПК E21B 21/06 (2006.01). Способ переработки бурового шлама : № 2013107022/03 : заявл. 19.02.2013 : опубл. 19.02.2013 / Эль Ю. Я. ; патентообладатель Эль Юрий Яковлевич. – 7 с.

110. Патент на изобретение RU 2617632 C2, 10.01.2017. МПК E21C41/32 E02D17/20. Способ рекультивации шламовых амбаров без их засыпки на территории лесного фонда российской федерации в среднетаёжной подзоне Западной Сибири : 2015123483 : заявл. 17.06.2015 : опубл. 10.01.2017 Бюл. № 1 / Седых В. Н., Малышкина Л. А., Даниленко Л. А. патентообладатель Открытое акционерное общество «Сургутнефтегаз». – 11 с.

111. Патент на изобретение RU 2646882 C1, 10.01.2017. МПК B09C 1/10 (2006.01). Способ получения грунта при обезвреживании шламов с последующей рекультивацией : 2015123834 : заявл. 19.06.2015 : опубл. 10.01.2017 Бюл. № 1 / Томрачева И. В. ; патентообладатель ООО «Экология Югры». – 6 с.

112. Патин, С. А. Нефть и экология континентального шельфа / С. А. Патин // Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. – М.: Изд-во ВНИРО. – 2017. – Т. 1. – 326 с.

113. Патин, С. А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа / С. А. Патин. – Москва : ВНИРО, 1997. – 350 с.

114. Пашкевич, М. А. Экологический мониторинг: учебное пособие / М. А. Пашкевич, М. А. Куликова. – Санкт-Петербург: Нац. минерально-сырьевой ун-т Горный. – 2013. – 100 с.

115. Пашкевич, М. А. Разработка методологии мониторинга экологической опасности отходов бурения / М. А. Пашкевич, М. В. Гвоздецкая // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал. – 2013. – С. 314-317.

116. Петухова, В. С. Формирование оптимальных условий для культурфитомелиорантов на буровых шламах : 03.02.08 «Экология (по отраслям)» : дис. ... канд. биол. наук / В. С. Петухова; Гос. аграр. ун-т Сев. Зауралья. – Тюмень, 2015. – 124 с.

117. Пиковский, Ю. И. Основы нефтегазовой геоэкологии: Учеб. пособие / Под ред. Д-ра геогр. Наук, проф. А.Н. Геннадиева / Ю. И. Пиковский, Н. М. Исмаилов, М. Ф. Дорохова. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 400 с.
118. Пикушова, Э. А. Букреев, Н.А., Москалева, С.К. Пшидаток Изменение численности микромицетов в черноземе, выщелоченном в зависимости от технологий возделывания озимой пшеницы сорта Фортуна // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 81. – С. 459-475.
119. Пичугин, Е. А. Закономерности получения стабилизированных геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов : 25.00.36 «Геоэкология» дисс... канд. тех. наук / Е. А. Пичугин; Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – Пермь, 2019. – 183 с.
120. Пичугин, Е. А. К вопросу различия буровых и нефтяных шламов / Е. А. Пичугин, Б. Е. Шенфельд // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. – №7. – С. 14-19.
121. Пичугин, Е. А. Оценка влияния компонентов, входящих в состав буровых шламов на почву ХМАО-Югры / Е. А. Пичугин // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2015. – №2. – С. 75-83.
122. Пичугин, Е. А. Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду / Е. А. Пичугин // Молодой ученый. – 2013. – № 9. – С. 122-123.
123. ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3:3.2-03. Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления. – М., 2014. – 15 с.
124. ПНД Ф 14.1:2:4.128-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат – 02». – М.: 1998. – 25 с.

125. ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3:3.64-10. Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, отходов производства и потребления гравиметрическим методом. – М.:2010. – 16 с.

126. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. – М.: 1998. – 21 с.

127. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.58-08. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли влаги в твердых и жидких отходах производства и потребления, почвах, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях гравиметрическим методом. – М.: 2017 г. – 7 с.

128. ПНД Ф 16.1:2.21-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости Флюорат-02». – М.: 1998. – 26 с.

129. ПНД Ф Т 14.1:2:3.4.10-04 16.1:2.3.7-04. Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по измерению оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла (*Chlorella Vulgaris* Beiger). – М.: 2007. – 29 с.

130. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 декабря 2014 года N 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс : официальный сайт. – Режим доступа : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_192145/d48f279b52be9a69f28ba6a553415901a6f2ba29/ (дата обращения: 10.10.2020).

131. Прохаев, В. Н. Антропогенные изменения в ландшафтах нефтедобывающих районов Среднего Приобья / В. Н. Прохаев, С. А.

Машаев, И. И. Шилова. – Свердловск : Уральское книжное издательство, 1979. – 180 с.

132. Разведка и добыча [Электронный ресурс] // ОАО «НК «РОСНЕФТЬ» : официальный сайт. – Режим доступа : <https://www.rosneft.ru/business/Upstream/ProductionAndDevelopment/> (дата обращения: 10.10.2020).

133. Рахимов, Б. Б. Источники образования нефтесодержащих отходов / Б. Б. Рахимов, М. Н. Цуканов // Молодой ученый. – 2014. – № 21. – С. 222-224.

134. Рыбина, Г.Е. Токсичность буровых шламов разного состава нефтепромыслов Западной Сибири для пресноводных гидробионтов : 03.00.18 «Гидробиология» автореф.... , канд.биол.наук / Г. Е. Рыбина ; Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук. – Борок, 2004. – 204 с.

135. Рязанов, А. Я. Энциклопедия по буровым растворам / А. Я. Рязанов. – Оренбург : Летопись, 2005. – 664 с.

136. Сафонова, Н. А. Комплексная система обращения с буровыми шламами с использованием геоконтейнерной обработки / Н. А. Сафонова // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 4. – С. 274-285.

137. Сафонова, Н. А. Обработка осадков буровых сточных вод с использованием фильтрующих текстильных оболочек : 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» : дисс. ... канд. техн. наук / Н. А. Сафонова; Пензинский государственный университет архитектуры и строительства. – Пенза, 2013. – 135 с.

138. Светличная, Т. В. Оценка экологической опасности тонкодисперсных фракций бурового шлама и разработка методов обращения с отходами бурения при освоении месторождений нефти и газа Дагестанского участка Каспийского моря : 25.00.36 «Геоэкология» : дисс.... канд. геол.-минерал. наук / Т. В. Светличная; ФГАОУ ВО «Российский

государственный университет нефти и газа НИУ имени И. М. Губкина». – Москва, 2004. – 182 с.

139. Сегида, В. М. К вопросу обеспечения экологически безопасного бурения нефтяных и газовых скважин на Кубани // Вестник ассоциации буровых подрядчиков. – 2001. – № 3. – С. 14-16.

140. Сенчакова, Т. Ю. Микромицеты черноземных почв как объект биоиндикации в антропогенно-трансформированных экосистемах // Наука и современность. – 2010. – № 6-1. – С. 55-59.

141. Скипин, Л. Н. Влияние мелиорантов на гранулометрический состав бурового шлама / Л. Н. Скипин, В. С. Петухова, Д. И. Ерёмин // Водосбережение, мелиорация и гидротехнические сооружения как основа формирования агрокультурных кластеров России в XXI веке : материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2016. – С. 154-160.

142. Солнцева, Н. П. Особенности загрязнения почв при нефтедобыче / Н. П. Солнцева, Ю. Н. Пиковский. – Москва : Наука, 1989. – 76 с.

143. Солодовников, А. Ю., Соромотин, А. В. Опыт утилизации отходов бурения в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – №12. – 2015. – С. 44-48.

144. Соромотин, А. В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири: монография. Тюмень: Изд-во тюменского государственного университета. – 2010. – 320 с.

145. Соромотин, А. В., Пислегин, Д. В. Тяжелые металлы в донных отложениях шламовых амбаров геологоразведочных скважин Западной Сибири // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – №6 – 2015. – С. 514-520.

146. Состав и свойства буровых отходов западной Сибири / Е. В. Голубев, А. В. Соромотин, Н. А. Вепренцева, Н. Б. Микушина // Мир науки, культуры, образования. – 2010. – № 6-2 (25). – С. 319-320.

147. Стыгар, Н. Е. Действие бурового раствора и некоторых его компонентов на ранние стадии развития осетровых/ Н. Е. Стыгар, В. С.

Гапонов, Е. А. Дризо // Рациональные основные сведения осетрового хозяйства. – Волгоград, 1984. – С. 224-225.

148. Тарасова, С. С. Экологическое воздействие буровых шламов на углеводородной основе и способы их утилизации // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2019. – № 3 (73). – С. 48-55.

149. Терехова, В. А. Биотестирование как метод определения класса опасности отходов / В. А. Терехова // Экология и промышленность России, 2003. – С. 27-29.

150. Тетельмин, В. В. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе / В. В. Тетельмин, В. А. Язев. – Долгопрудный. Издательский дом «Интеллект», 2009. – 352 с.

151. Фоминых, Д. Е. Определение токсичности бурового шлама нефтегазовых месторождений Томской области методом биотестирования / Д. Е. Фоминых, А. В. Голещихин, Т. С. Постернак // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ». – 2014. – Вып. 3. – С. 66-70.

152. ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний (тест-объект – низшие ракообразные дафнии *Daphnia magna* Straus). – М. : Акварос, 2007. – 51 с.

153. ФР.1.39.2007.03223. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей (тест-объект – зеленые протококковые водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bred.). – М. : Акварос, 2007. – 47 с.

154. Хабибуллина, Ф.М. Характеристика почвенной микобиоты во вторичных лиственных лесах подзоны средней тайги (Республика Коми) // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014 – № 1-3. – С. 891-895.

155. Хамидуллина, Г. А. Применение технологии инъекции при утилизации буровых отходов с учетом геомеханической модели пласта //

Вестник молодого ученого УГНТУ. Нефтегазовое дело. – 2016. – №1. – С. 10-14.

156. Хаустов, А. П. Охрана окружающей среды при добыче нефти / А. П. Хаустов, М. М. Редина. – М.: Дело, 2006. – 552 с.

157. Чеботаев, А. Н. Возможность утилизации бурового шлама Бованенковского месторождения в производстве строительных материалов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 9. – С. 26-29.

158. Чеботаев, А. Н. Геоэкологическая оценка утилизации бурового шлама в производстве строительных материалов (на примере Бованенковского месторождения) : 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)» : дис.... канд. техн. наук: / А. Н. Чеботаев; НИМГСУ. – Москва, 2015. – 149 с.

159. Чепрасов, А. В. Структурная анизотропия нефтегазовых месторождений и утилизация бурового шлама // Банк рефератов «Bestreferat» : официальный сайт. – 2011. – Режим доступа : <http://www.bestreferat.ru/referat-219747.html> (дата обращения: 10.10.2020).

160. Шамина, В. А. Образование отходов бурения при строительстве скважины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. – № 12. – С. 43-45.

161. Экологические аспекты биологической рекультивации почв техногенных экосистем Кузбасса / В. П. Середина и др. // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2008. – № 2. – С. 61-72.

162. Экологический отчет ПАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ» [Электронный ресурс] // ПАО «Сургутнефтегаз» : официальный сайт. – Режим доступа : <https://www.surgutneftgas.ru/responsibility/ecology/ekologicheskie-otchety/> (дата обращения 03.12.2020).

163. Экология бурения / Ю. И. Пиковский, И. В. Косаревич, В. Ю. Шеметов, А. П. Гончаренко. – Мн.: Наука и техника, 1994. – 119 с.

164. Эффективность влияния коагулянтов на физические свойства буровых шламов / Л. Н. Скипин, Д. Л. Скипин, В. С. Петухова, И. Н.

Кустышева // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2015. – № 4-3 (64). – С. 88-92.

165. Ягафарова, Г. Г. Биотехнологический способ утилизации нефтешламов и буровых отходов / Г. Г. Ягафарова, М. Р. Мавлютов, В. Б. Барахнина // Горный вестник. – 1998. – № 4. – С. 43-46.

166. Ягафарова, Г. Г. Современные методы утилизации буровых отходов / Г. Г. Ягафарова, Д. В. Рахматуллин, А. Н. Инсапов, Г. М. Кузнецова, Н. Р. Мирсаитов // Нефтегазовое дело. – 2018. – Т. 2. – №2. – 2018 – С. 123–129.

167. Ягафарова, Г. Г. Утилизация экологически опасных буровых отходов / Г. Г. Ягафарова, В. Б. Барахнина // Нефтегазовое дело. – 2006. №2. – С. 48-61.

168. Якимец, М. В. Биоразнообразие микроскопических грибов почв Нижнего Поволжья / М. В. Якимец, С. В. Еремеева // Вестник АГТУ. – 2007 – № 4 – С. 125-127.

169. An effective treatment method for shale gas drilling cuttings solidified body / D. S. Liu, C. Q. Wang, X. D. Mei [et all.] // Environmental science and pollution research. – 2019. – № 17. – P. 17853-17857.

170. Babken, M. B. Environmental justification of the use of drill cuttings in the soil / M. B. Babken, T. A. Chudnova, D. A. Shapovalov // International agricultural journal. – 2019. – №1. – P. 50-55.

171. Bakhtyar, S. Toxicity assessment of individual ingredients of syntheticbased drilling muds (SBMs)/ Bakhtyar S., Gagnon MM. // Environmental monitoring and assessment. – 2012. – № 9 (184). – pp. 5311-5325.

172. Ball, A. S., Stewart, R. J., Schliephake, K. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings // Waste Management & Research. – 2012. – Vol. 30. – Is. 5. – P. 457.

173. Baussant, T. Effects of suspended drill cuttings on the coral *Lophelia pertusa* using pulsed and continuous exposure scenarios /Baussant T., Nilsen M.,

Ravagnan E., Westerlund S., Ramanand S. // Journal of toxicology and environmental health-part a-current issues. – 2018. – № 10 (81). – pp. 361-382.

174. Characterization of drilling waste from shale gas exploration in Central and Eastern Poland / M. Mikos-Szymańska, P. Rusek, K. Borowik, [et all] // Environmental Science and Pollution Research. – 2018. – Vol. 25. – Is.36. – P. 35990-36001.

175. Drill cutting accumulations in the Northern and Central North Sea: a review of environmental interactions and chemical fate / E. Breuer, A. G. Stevenson, J. A. Howe // Marine Pollution Bulletin. – 2004. – Vol. 48. – P. 12-25.

176. Effects of drill cuttings on biogeochemical fluxes and macrobenthos of marine sediments / M. T. Schaanning, H. C. Trannum, S. Oxnevad, [et all] // Marine Ecology Progress Series. – 2008. – Vol. 361. – P. 49–57.

177. Effects of sedimentation from water-based drill cuttings and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem processes / H. C. Trannum, H. C. Nilsson, M. T. Schaanning, [et all] // Marine Ecology Progress Series. – 2010. – Vol. 383. – P. 111–121.

178. Frost, T K., Neff, J. Toxicity of drilling discharges // Report Environmental Risk Management System. – 2006. – Vol. 4-214 p.

179. Gaevaya, E. The environmental impact of drilling sludge and ways of their utilization / E. Gaevaya, S. Tarasova, A. Bytsko // Journal of Ecological Engineering. – 2019. – № 7. – P. 26-30.

180. Geochemical solid characterization of drill cuttings, core and drilling mud from Marcellus Shale Energy development / M. Y. Stuckman, C. L. Lopano, S. M. Berry, [et all] // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2019. – Vol. 68. – 14 p.

181. Hudgins, C. Jr C M. Chemical use in North Sea oil and gas E&P / C. Jr C M Hudgins // Journal of Petroleum Technology. – 1994. – P. 67-75.

182. Ifeadi Chris, N. The treatment of drill cuttings using dispersion by chemical reaction (DCR) / N. Ifeadi Chris // Health, Safety & Environment (HSE) International Conference on Oil and Gas Industry. – 2004. – 12 p.

183. Kujawska, J. Earthworms as bio-indicators of chemical pollution in soils with drilling waste / J. Kujawska, M. Pawlowska // 9th conference on interdisciplinary problems in environmental protection and engineering. – Poland : Boguszow Gorce. – 2017. – 23-25.
184. Kujawska, J., Cel, W. Mobility of metals from drill cuttings / J. Kujawska, W. Cel // International Journal of Waste Resources. – 2017. – Vol. 7. – 3 p.
185. Leonard, S. A. Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings / S. A. Leonard, J. A. Stegemann // Journal of hazardous materials. – 2010. – № 1-3 (174). – P. 463-472.
186. Nabhani, N., Khaje, E. Environmental aspect of oil and water-based offshore drilling muds and cuttings / N. Nabhani, E. Khaje // International Journal of Mechanical And Production Engineering. – 2015. – Vol. 3. – Is.4. – P. 14-19.
187. Neff, J. M. Composition, environmental fates and biological effects of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment: A Synthesis and Annotated Bibliography / J. M. Neff // Battelle report to Petroleum Environmental Research Forum (PERF) and American Petroleum Institute. – 2005. – 73 p.
188. Neff, J. M., McKelvie, S. Environmental impacts of synthetic based drilling fluids / J. M. Neff, S. McKelvie // Report prepared for MMS by Robert Ayers & Associates. – 2000. – Vol. 64. – 118 p.
189. Nguyen, T. T. Perturbation of seafloor bacterial community structure by drilling waste discharge / T.T. Nguyen, SKJ. Cochrane, B. Landfald // Marine pollution bulletin. – 2018. – № 2(129). – pp. 615-622.
190. Onwukwe, S. I., Nwakaudu, M. S. Drilling Wastes Generation and Management Approach / S. I. Onwukwe, M. S. Nwakaudu // International Journal of Environmental Science and Development. – 2012. – Vol. 3. – №3. – P. 252-257.
191. Patin, S. Environmental Impact of the Offshore Oil and Gas Industry / S. Patin // EcoMonitor Publishing. –New York. – 1999. – 425 p.

192. Reichenauer, T. G., Germida, J. J., Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwater / T. G. Reichenauer, J. J. Germida // ChemSusChem. – 2008. – P. 708-717.
193. Saint-Fort, R., Ashtani, S. Effect of a water-based drilling waste on receiving soil properties and plants growth / R. Saint-Fort, S. Ashtani // Journal of environmental science and health part a-toxic/hazardous substances & environmental engineering. – 2014. – № 1 (49). – pp. 10-17.
194. Savichev, O. G. Changes in chemical composition of drilling waste water in taiga zone of Western Siberia (the Russian Federation) on the basis of thermodynamic approach / O. G. Savichev, I. A. Matveenko, D. V. Savchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science/ – 2016. – Vol. 43. – № 012027.
195. Schaanning, M. Biodegradation of Anco Green and Novaplug drilling muds on cuttings deposited in benthic chambers / M. Schaanning, K. Hylland, R. Lichtenthaler, [et al] // Report no. OR-3475, Norwegian Institute for Water Research (NIVA). – Oslo. – 1996. – 90 p.
196. Soegianto, A. Prawn Toxicity of Drilling Waste and Its Impact on Gill Structure of Post Larvae of Tiger Prawn (*Penaeus monodon*) / A. Soegianto, B. Irawan, M. Affandi // Global Journal of Environmental Research. – 2008. – Vol. 2 – P. 36-41.
197. Stuckman, M. Trace metal distribution and mobility in drill cuttings from Marcellus shale gas extraction / M. Stuckman, C. L. Lopano, J. A. Hakala // Office of Scientific and Technical Information [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа : <https://www.osti.gov/servlets/purl/1344480> (дата обращения 15.10.2020).
198. Wang, X. Effects of bioremediation on residues, activity and toxicity in soil contaminated by fuel spills / X. Wang, R. Bartha // Soil Biol and Biochem. – 1990. – Vol. 22, № 4. – P. 501-505.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящим актом подтверждается факт внедрения результатов научных исследований, отраженных в диссертационной работе Тарасовой Светланы Сергеевны, в ООО «Газпромнефть-Заполярье».

Разработанный Тарасовой Светланой Сергеевной способ утилизации отходов бурения, основанный на комбинированных способах обращения с отходами, с получением техногенного грунта, пригодного к использованию при проведении биологической рекультивации шламовых амбаров, позволяющий снизить уровень техногенной нагрузки на компоненты окружающей природной среды.

Вид внедрения: технические решения, полученные в ходе выполнения кандидатской диссертации, приняты как исходные данные для последующей разработки проектной документации для внедрения в промышленные масштабы.

Настоящий акт не является финансовым документом и не предполагает взаимных расчетов.

Руководитель направления
по обращению с буровыми отходами



Ольховский А.В.

Результаты исследования содержания органического вещества при внесении
торфа в разных объемных долях

Наименование варианта	Массовая доля органического вещества, %*
Буровой шлам + торф (90%:10%)	0,96±0,19
Буровой шлам + торф (90%:20%)	1,67±0,33
Буровой шлам + торф (90%:30%)	2,88±0,43
Буровой шлам + торф (90%:40%)	3,53±0,53
Буровой шлам + торф (90%:50%)	4,10±0,62

* - ГОСТ 26213-91

Приложение 3

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов химического состава образцов буровых шламов

Наименование показателя	Наименование пробы	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка выборочной средней ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
Сульфат-ион (водорастворимая форма), мг/кг	БШ _{с1}	92	94	92	93	1,54	1,33	2,7	1,66	0,94	1,02
	БШ _{с2}	58	55	57	57	2,69	2,33	4,7	4,75	1,25	2,20
	БШ _{с3}	1080	1087	1085	1084	15,01	13,00	26,0	1,38	2,94	0,27
	БШ _{п1}	74	74	76	75	1,54	1,33	2,7	2,06	0,94	1,26
	БШ _{п2}	126	127	123	125	5,00	4,33	8,7	3,99	1,70	1,36
	БШ _{п3}	103	107	104	105	5,00	4,33	8,7	4,78	1,70	1,62
	БШ _{пп1}	91	91	89	90	1,54	1,33	2,7	1,70	0,94	1,04
	БШ _{пп2}	82	80	79	80	2,69	2,33	4,7	3,35	1,25	1,55
	БШ _{рУО1}	139	142	140	140	2,69	2,33	4,7	1,92	1,25	0,89
	БШ _{рУО2}	142	139	139	140	3,46	3,00	6,0	2,47	1,41	1,01
Хлорид-ион (водорастворимая форма), мг/кг	БШ _{с1}	6570	6569	6565	6568	8,08	7,00	14,0	0,12	2,16	0,03
	БШ _{с2}	4776	4780	4778	4778	4,62	4,00	8,0	0,10	1,63	0,03
	БШ _{с3}	496	493	493	494	3,46	3,00	6,0	0,70	1,41	0,29
	БШ _{п1}	748	750	751	750	2,69	2,33	4,7	0,36	1,25	0,17
	БШ _{п2}	232	233	236	234	5,00	4,33	8,7	2,14	1,70	0,73
	БШ _{п3}	199	196	197	197	2,69	2,33	4,7	1,37	1,25	0,63
	БШ _{пп1}	395	392	394	394	2,69	2,33	4,7	0,68	1,25	0,32
	БШ _{пп2}	355	351	354	353	5,00	4,33	8,7	1,42	1,70	0,48
	БШ _{рУО1}	4046	4051	4049	4049	7,31	6,33	12,7	0,18	2,05	0,05
	БШ _{рУО2}	2687	2691	2692	2690	8,08	7,00	14,0	0,30	2,16	0,08

Наименование показателя	Наименование пробы	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка выборочной средней ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
Плотный остаток водной вытяжки, %	БШ _{с1}	2,30	2,45	2,70	2,48	0,05	0,04	0,1	1,90	0,16	6,64
	БШ _{с2}	2,01	2,20	2,55	2,25	0,09	0,08	0,2	3,85	0,22	9,93
	БШ _{с3}	1,50	1,80	1,72	1,67	0,03	0,02	0,05	1,67	0,13	7,58
	БШ _{пр1}	0,27	0,31	0,31	0,30	0,001	0,001	0,001	0,21	0,02	6,36
	БШ _{пр2}	0,18	0,23	0,21	0,21	0,001	0,001	0,001	0,35	0,02	9,94
	БШ _{пр3}	0,21	0,24	0,20	0,22	0,001	0,0004	0,001	0,23	0,02	7,84
	БШ _{инг1}	0,22	0,18	0,22	0,21	0,001	0,001	0,00	0,30	0,02	9,12
	БШ _{инг2}	0,24	0,19	0,22	0,22	0,001	0,00	0,00	0,34	0,02	9,48
	БШ _{рУО1}	0,94	0,76	0,79	0,83	0,01	0,01	0,0	1,29	0,08	9,49
	БШ _{рУО2}	1,12	0,95	0,98	1,02	0,01	0,01	0,0	0,94	0,07	7,29
рН, ед.рН	БШ _{с1}	7,70	8,20	7,20	7,70	0,29	0,25	0,5	3,75	0,41	5,30
	БШ _{с2}	6,87	7,12	7,78	7,26	0,26	0,22	0,4	3,52	0,38	5,29
	БШ _{с3}	8,62	7,85	8,60	8,36	0,22	0,19	0,4	2,66	0,36	4,29
	БШ _{пр1}	8,40	7,40	7,90	7,90	0,29	0,25	0,5	3,65	0,41	5,17
	БШ _{пр2}	8,10	8,90	7,94	8,31	0,31	0,26	0,5	3,67	0,42	5,05
	БШ _{пр3}	8,70	8,20	7,70	8,20	0,29	0,25	0,5	3,52	0,41	4,98
	БШ _{инг1}	8,26	8,12	8,56	8,31	0,06	0,05	0,1	0,70	0,18	2,21
	БШ _{инг2}	8,21	8,81	7,90	8,31	0,25	0,21	0,4	2,98	0,38	4,55
	БШ _{рУО1}	6,89	7,34	7,69	7,31	0,19	0,16	0,3	2,54	0,33	4,48
	БШ _{рУО2}	6,75	7,45	7,74	7,31	0,30	0,26	0,5	4,09	0,42	5,68

Название пробы	Варианты лабораторных исследований	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
БШ _{c1}	Марганец (валовое содержание)	623	628	625	625	7,31	6,33	12,7	1,17	2,05	0,33
	Медь (валовое содержание)	21	21	22	21	0,38	0,33	0,7	1,80	0,47	2,21
	Свинец (валовое содержание)	32	33	34	33	1,15	1,00	2,0	3,50	0,82	2,47
	Цинк (валовое содержание)	42	41	41	41	0,38	0,33	0,7	0,93	0,47	1,14
	Кобальт (валовое содержание)	5,9	5,0	5,3	5,4	0,24	0,21	0,4	4,49	0,37	6,93
	Мышьяк	3,08	2,80	3,30	3,06	0,07	0,06	0,1	2,37	0,20	6,69
	Нефтепродукты	1696,00	1709,00	1695,00	1700	70,44	61,00	122,0	4,14	6,38	0,38
БШ _{c2}	Марганец (валовое содержание)	296,00	301,00	298,00	298	7,31	6,33	12,7	2,45	2,05	0,69
	Медь (валовое содержание)	40,00	41,00	39,00	40	1,15	1,00	2,0	2,89	0,82	2,04
	Свинец (валовое содержание)	45	43	43	44	1,54	1,33	2,7	3,53	0,94	2,16
	Цинк (валовое содержание)	66	67	67	67	0,38	0,33	0,7	0,58	0,47	0,71
	Кобальт (валовое содержание)	6,2	6,9	7,1	6,7	0,26	0,22	0,4	3,83	0,39	5,73
	Мышьяк	3,8	3,6	4,2	3,9	0,11	0,09	0,2	2,79	0,25	6,45
	Нефтепродукты	7013	7005	6982	7000	299,07	259,00	518,00	4,27	13,14	0,19
БШ _{c3}	Марганец (валовое содержание)	598	602	602	601	6,16	5,33	10,67	1,03	1,89	0,31
	Медь (валовое содержание)	23	23	24	23	0,38	0,33	0,67	1,65	0,47	2,02
	Цинк (валовое содержание)	145	148	148	147	3,46	3,00	6,00	2,36	1,41	0,96
	Кобальт (валовое содержание)	9	8	8	8	0,38	0,33	0,67	4,62	0,47	5,66
	Мышьяк	2,98	3,12	3,22	3,11	0,02	0,01	0,03	0,54	0,10	3,17
	Нефтепродукты	9622	9585	9593	9600	437,63	379,00	758,00	4,56	15,90	0,17
БШ _{пг1}	Марганец (валовое содержание)	528	530	533	530	7,31	6,33	12,67	1,38	2,05	0,39
	Свинец (валовое содержание)	20	20	21	20	0,38	0,33	0,67	1,89	0,47	2,32
	Цинк (валовое содержание)	41	41	39	40	1,54	1,33	2,67	3,82	0,94	2,34
	Мышьяк	1,98	2,17	2,49	2,21	0,08	0,07	0,13	3,47	0,21	9,51
	Нефтепродукты	1094	1103	1104	1100	35,03	30,33	60,67	3,18	4,50	0,41
БШ _{пг2}	Марганец (валовое содержание)	618	620	620	619	1,54	1,33	2,67	0,25	0,94	0,15
	Свинец (валовое содержание)	19	20	20	20	0,38	0,33	0,67	1,96	0,47	2,40
	Цинк (валовое содержание)	38	39	40	39	1,15	1,00	2,00	2,96	0,82	2,09
	Мышьяк	2,35	2,98	2,69	2,67	0,11	0,10	0,20	4,29	0,26	9,63
	Нефтепродукты	1292	1302	1306	1300	60,04	52,00	104,00	4,62	5,89	0,45
БШ _{пг3}	Марганец (валовое содержание)	425	419	417	420	20,01	17,33	34,67	4,76	3,40	0,81
	Свинец (валовое содержание)	14	13	14	14	0,38	0,33	0,67	2,82	0,47	3,45
	Цинк (валовое содержание)	31	30	29	30	1,15	1,00	2,00	3,85	0,82	2,72
	Мышьяк	1,73	1,82	2,1	1,88	0,04	0,04	0,07	2,28	0,16	8,37
	Нефтепродукты	1395	1405	1401	1400	29,25	25,33	50,67	2,09	4,11	0,29

Название пробы	Варианты лабораторных исследований	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
БШ _{инг1}	Марганец (валовое содержание)	123	125	126	125	2,69	2,33	4,67	2,16	1,25	1,00
	Медь (валовое содержание)	17	17	18	17	0,38	0,33	0,67	2,22	0,47	2,72
	Свинец (валовое содержание)	19,1	19,8	21,1	20	1,19	1,03	2,06	5,95	0,83	4,14
	Цинк (валовое содержание)	12	13	12	12	0,38	0,33	0,67	3,12	0,47	3,82
	Мышьяк	0,14	0,18	0,31	0,21	0,01	0,01	0,02	4,34	0,07	34,56
	Нефтепродукты	3110	3093	3098	3100	88,14	76,33	152,67	2,84	7,13	0,23
БШ _{инг2}	Марганец (валовое содержание)	318	322	322	321	6,16	5,33	10,67	1,92	1,89	0,59
	Медь (валовое содержание)	20,4	18,9	20,6	20,0	1,00	0,86	1,73	4,99	0,76	3,80
	Свинец (валовое содержание)	19,5	19,5	21,1	20,0	0,99	0,85	1,71	4,92	0,75	3,76
	Цинк (валовое содержание)	31,6	32,5	30,9	31,7	0,74	0,64	1,29	2,35	0,65	2,07
	Мышьяк	1,95	2,22	1,89	2,0	0,04	0,03	0,06	1,77	0,14	7,11
	Нефтепродукты	2589	2601	2610	2600	128,17	111,00	222,00	4,93	8,60	0,33
БШ _{ру01}	Марганец (валовое содержание)	405	403	410	406	15,01	13,00	26,00	3,70	2,94	0,73
	Медь (валовое содержание)	15,8	16,5	15,7	16,0	0,22	0,19	0,38	1,37	0,36	2,22
	Цинк (валовое содержание)	39	40	38	39	1,15	1,00	2,00	2,96	0,82	2,09
	Мышьяк	1,98	2,23	1,86	2,02	0,04	0,04	0,07	2,03	0,15	7,62
	Нефтепродукты	4507	4492	4501	4500	65,82	57,00	114,00	1,46	6,16	0,14
БШ _{ру02}	Марганец (валовое содержание)	333	331	333	332	1,54	1,33	2,67	0,46	0,94	0,28
	Медь (валовое содержание)	23	22	23	23	0,38	0,33	0,67	1,70	0,47	2,08
	Цинк (валовое содержание)	28	30	29	29	1,15	1,00	2,00	3,98	0,82	2,82
	Мышьяк	2,62	3,22	2,76	2,87	0,11	0,10	0,20	3,97	0,26	8,94
	Ртуть	0,26	0,21	0,25	0,24	0,001	0,00	0,00	0,34	0,02	9,00
	Нефтепродукты	1808	1792	1800	1800	73,90	64,00	128,00	4,11	6,53	0,36

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов исследований плотного остатка в водной вытяжке контрольного образца и мелиорированных буровых шламов

Наименование мелиоранта	Объемная доля внесения мелиорирующей добавки, %	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
	KB (буровой шлам)	2,363	2,710	2,362	2,478	0,046	0,040	0,081	1,875	0,16	6,61
доломитовая мука	3	1,703	1,903	2,079	1,895	0,041	0,035	0,071	2,157	0,15	8,11
	5	1,752	1,806	1,770	1,776	0,001	0,001	0,002	0,049	0,02	1,26
	7	1,643	1,700	1,682	1,675	0,001	0,001	0,002	0,059	0,02	1,42
	10	1,123	1,156	1,173	1,151	0,001	0,001	0,001	0,065	0,02	1,80
	15	0,983	1,010	1,031	1,008	0,001	0,001	0,001	0,066	0,02	1,95
	20	0,884	0,951	0,993	0,943	0,003	0,003	0,006	0,370	0,04	4,76
гипс	3	1,009	0,986	1,021	1,005	0,000	0,000	0,001	0,036	0,01	1,44
	5	0,905	0,952	0,914	0,924	0,001	0,001	0,001	0,078	0,02	2,21
	7	0,823	0,903	0,840	0,855	0,002	0,002	0,004	0,240	0,03	4,02
	10	0,687	0,765	0,703	0,718	0,002	0,002	0,003	0,273	0,03	4,68
	15	0,621	0,725	0,689	0,678	0,003	0,003	0,006	0,475	0,04	6,36
	20	0,521	0,563	0,510	0,531	0,001	0,001	0,002	0,170	0,02	4,30
фосфогипс	3	1,089	1,212	1,195	1,165	0,005	0,004	0,009	0,440	0,05	4,67
	5	0,932	1,109	1,032	1,024	0,009	0,008	0,016	0,888	0,07	7,07
	7	0,829	1,040	0,980	0,950	0,014	0,012	0,024	1,437	0,09	9,35
	10	0,764	0,902	0,779	0,815	0,007	0,006	0,011	0,812	0,06	7,59
	15	0,675	0,789	0,711	0,725	0,004	0,003	0,007	0,541	0,05	6,56
	20	0,725	0,775	0,893	0,798	0,009	0,007	0,015	1,077	0,07	8,83
известь негашеная	3	2,109	1,893	1,963	1,988	0,01	0,01	0,0	0,71	0,09	4,53
	5	1,865	2,001	1,836	1,901	0,01	0,01	0,0	0,47	0,07	3,78
	7	1,856	1,965	1,882	1,901	0,00	0,00	0,0	0,20	0,05	2,45
	10	0,950	0,875	1,048	0,958	0,01	0,01	0,0	0,91	0,07	7,40
	15	0,853	0,775	0,969	0,866	0,01	0,01	0,0	1,27	0,08	9,21
	20	0,725	0,903	0,787	0,805	0,01	0,01	0,0	1,17	0,07	9,16
карналит	3	2,431	2,529	2,515	2,492	0,00	0,00	0,0	0,13	0,04	1,74
	5	2,431	2,563	2,480	2,491	0,01	0,00	0,0	0,21	0,05	2,19
	7	2,310	2,560	2,600	2,490	0,03	0,02	0,0	1,15	0,13	5,15
	10	2,565	2,378	2,523	2,489	0,01	0,01	0,0	0,45	0,08	3,22
	15	2,416	2,536	2,515	2,489	0,00	0,00	0,0	0,19	0,05	2,10
	20	2,620	2,480	2,340	2,480	0,02	0,02	0,0	0,91	0,11	4,61

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов определения остаточного содержания нефтепродуктов при внесении глауконита (круп)

День	Объемная доля внесения глауконита (круп), %	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
7 день	КВ (буровой шлам)	1692,0	1699,0	1709,0	1700	84,29	73,00	146,00	4,96	6,98	0,41
	3	1075,40	1082,10	1080,50	1079,3	14,14	12,24	24,49	1,31	2,86	0,26
	5	1067,00	1075,30	1072,20	1071,5	20,31	17,59	35,18	1,90	3,42	0,32
	7	1056,30	1065,80	1061,60	1061,2	26,17	22,66	45,33	2,47	3,89	0,37
	10	965,30	974,00	968,10	969,1	22,77	19,72	39,45	2,35	3,63	0,37
	15	1002,00	1012,00	1013,00	1009,0	42,72	37,00	74,00	4,23	4,97	0,49
	20	975,40	981,60	974,90	977,3	16,08	13,93	27,86	1,65	3,05	0,31
	25	1063,60	1072,80	1060,30	1065,6	48,46	41,96	83,93	4,55	5,29	0,50
14 день	КВ (буровой шлам)	1702	1698	1703	1701,0	8,08	7,00	14,00	0,48	2,16	0,13
	3	665	673	663	667,0	32,33	28,00	56,00	4,85	4,32	0,65
	5	652	649	658	653,0	24,25	21,00	42,00	3,71	3,74	0,57
	7	554,2	558,6	550,8	554,5	17,66	15,29	30,59	3,18	3,19	0,58
	10	550	557	549	552,0	21,94	19,00	38,00	3,97	3,56	0,64
	15	546	553	554	551,0	21,94	19,00	38,00	3,98	3,56	0,65
	20	445,2	452,0	448,2	448,5	13,41	11,61	23,23	2,99	2,78	0,62
	25	443,3	450,2	448,1	447,2	14,45	12,51	25,02	3,23	2,89	0,65
21 день	КВ (буровой шлам)	1693,0	1699,0	1708,0	1700,0	65,82	57,00	114,0	3,87	6,16	0,36
	3	467,9	461,9	469,8	466,5	19,63	17,00	34,01	4,21	3,37	0,72
	5	450,0	456,1	453,0	453,0	10,74	9,30	18,61	2,37	2,49	0,55
	7	354,0	359,0	352,0	355,0	15,01	13,00	26,00	4,23	2,94	0,83
	10	354,0	348,0	351,0	351,0	10,39	9,00	18,00	2,96	2,45	0,70
	15	347,9	351,4	352,3	350,5	6,24	5,40	10,81	1,78	1,90	0,54
	20	344,9	351,6	348,3	348,3	12,96	11,22	22,45	3,72	2,74	0,79
	25	243,6	248,7	249,6	247,3	12,09	10,47	20,94	4,89	2,64	1,07

День	Объемная доля внесения глауконита (крупн), %	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
28 день	КВ (буровой шлам)	1695,0	1702,0	1700,0	1699,0	15,01	13,00	26,00	0,88	2,94	0,17
	3	266,0	263,0	269,0	266,0	10,39	9,00	18,00	3,91	2,45	0,92
	5	250,1	255,2	252,3	252,5	7,56	6,54	13,09	2,99	2,09	0,83
	7	250,9	255,8	256,9	254,5	11,78	10,20	20,41	4,63	2,61	1,02
	10	253,0	249,0	251,0	251,0	4,62	4,00	8,00	1,84	1,63	0,65
	15	247,0	253,0	250,0	250,0	10,39	9,00	18,00	4,16	2,45	0,98
	20	249,0	244,4	250,2	247,9	10,82	9,37	18,75	4,37	2,50	1,01
56 день	КВ (буровой шлам)	1695,0	1703,0	1699,0	1699,0	18,48	16,00	32,00	1,09	3,27	0,19
	3	241,0	247,0	244,0	244,0	10,39	9,00	18,00	4,26	2,45	1,00
	5	245,3	251,3	249,0	248,5	10,58	9,16	18,33	4,26	2,47	0,99
	7	248,1	252,3	251,0	250,5	5,34	4,62	9,25	2,13	1,76	0,70
	10	241,0	245,0	240,0	242,0	8,08	7,00	14,00	3,34	2,16	0,89
	15	259,0	264,0	260,0	261,0	8,08	7,00	14,00	3,10	2,16	0,83
	20	247,4	252,5	248,6	249,5	8,21	7,11	14,22	3,29	2,18	0,87
	25	239,0	242,0	242,0	241,0	3,5	3,00	6,00	1,44	1,41	0,59

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов определения остаточного содержания нефтепродуктов при внесении глауконита (мука)

День	Объемная доля внесения глауконита (круп), %	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
7 день	КВ (буровой шлам)	1692,0	1699,0	1709,0	1700,0	84,29	73,00	146,00	4,96	6,98	0,41
	3	1193,1	1200,4	1201,3	1198,3	23,35	20,22	40,45	1,95	3,67	0,31
	5	1233,4	1236,7	1241,3	1237,1	18,18	15,74	31,49	1,47	3,24	0,26
	7	1112,7	1120,7	1116,9	1116,8	18,49	16,01	32,03	1,66	3,27	0,29
	10	1073,3	1081,3	1081,0	1078,5	23,74	20,56	41,13	2,20	3,70	0,34
	15	1002,2	1007,5	1001,6	1003,8	12,17	10,54	21,09	1,21	2,65	0,26
	20	1061,5	1059,7	1069,7	1063,6	32,81	28,41	56,83	3,08	4,35	0,41
	25	1049,8	1058,3	1060,1	1056,1	34,95	30,26	60,53	3,31	4,49	0,43
14 день	КВ (буровой шлам)	1702,0	1698,0	1703,0	1701,0	8,08	7,00	14,00	0,48	2,16	0,13
	3	650,0	658,0	651,0	653,0	21,94	19,00	38,00	3,36	3,56	0,55
	5	659,0	652,0	660,0	657,0	21,94	19,00	38,00	3,34	3,56	0,54
	7	645,0	655,0	653,0	651,0	32,33	28,00	56,00	4,97	4,32	0,66
	10	547,0	552,0	551,0	550,0	8,08	7,00	14,00	1,47	2,16	0,39
	15	554,0	559,0	552,0	555,0	15,01	13,00	26,00	2,70	2,94	0,53
	20	546,1	552,4	549,2	549,2	11,46	9,92	19,85	2,09	2,57	0,47
	25	444,5	449,6	452,3	448,8	18,12	15,69	31,38	4,04	3,23	0,72
21 день	КВ (буровой шлам)	1693,0	1699,0	1708,0	1700,0	65,82	57,00	114,00	3,87	6,16	0,36
	3	351,1	356,7	349,5	352,4	16,50	14,29	28,59	4,68	3,09	0,88
	5	355,0	359,0	354,0	356,0	8,08	7,00	14,00	2,27	2,16	0,61
	7	352,9	347,1	351,6	350,5	10,70	9,26	18,53	3,05	2,49	0,71
	10	352,1	345,9	352,0	350,0	14,56	12,61	25,22	4,16	2,90	0,83
	15	347,0	352,0	351,0	350,0	8,08	7,00	14,00	2,31	2,16	0,62
	20	345,4	350,6	351,4	349,1	12,26	10,61	21,23	3,51	2,66	0,76
	25	246,9	250,2	249,5	248,9	3,49	3,02	6,05	1,40	1,42	0,57

День	Объемная доля внесения глауконита (крупн), %	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
28 день	КВ (буровой шлам)	1695,0	1702,0	1700,0	1699,0	15,01	13,00	26,0	0,88	2,94	0,17
	3	253,5	251,3	255,7	253,5	5,59	4,84	9,7	2,20	1,80	0,71
	5	254,0	259,0	255,0	256,0	8,08	7,00	14,0	3,16	2,16	0,84
	7	251,9	248,6	251,1	250,5	3,42	2,96	5,9	1,37	1,41	0,56
	10	250,6	249,5	248,0	249,4	1,97	1,70	3,4	0,79	1,07	0,43
	15	251,5	248,6	248,9	249,7	2,94	2,54	5,1	1,18	1,30	0,52
	20	245,6	249,6	251,3	248,8	9,89	8,56	17,1	3,97	2,39	0,96
56 день	КВ (буровой шлам)	1695,0	1703,0	1699,0	1699,0	18,48	16,00	32,00	1,09	3,27	0,19
	3	225,0	221,4	220,9	222,4	5,78	5,00	10,01	2,60	1,83	0,82
	5	235,6	231,1	237,1	234,6	11,26	9,75	19,50	4,80	2,55	1,09
	7	211,0	214,0	211,0	212,0	3,46	3,00	6,00	1,63	1,41	0,67
	10	280,0	276,0	278,0	278,0	4,62	4,00	8,00	1,66	1,63	0,59
	15	275,0	281,0	278,0	278,0	10,39	9,00	18,00	3,74	2,45	0,88
	20	262,1	265,4	268,3	265,3	11,11	9,62	19,25	4,19	2,53	0,95
	25	240,0	245,0	241,0	242,0	8,08	7,00	14,00	3,34	2,16	0,89

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов определения остаточного содержания нефтепродуктов при внесении диатомита

День	Объемная доля внесения диатомит, %	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
7 день	КВ (буровой шлам)	1692,0	1699,0	1709,0	1700,0	84,29	73,00	146,00	4,96	6,98	0,41
	3	1184,3	1181,6	1189,9	1185,3	20,70	17,92	35,85	1,75	3,46	0,29
	5	1150,0	1156,0	1162,0	1156,0	41,57	36,00	72,00	3,60	4,90	0,42
	7	998,9	1004,3	1003,7	1002,3	10,12	8,76	17,52	1,01	2,42	0,24
	10	1068,3	1079,2	1075,1	1074,2	35,00	30,31	60,62	3,26	4,50	0,42
	15	999,5	991,5	986,6	992,5	48,96	42,40	84,81	4,93	5,32	0,54
	20	980,1	986,5	989,6	985,4	27,10	23,47	46,94	2,75	3,96	0,40
	25	843,9	851,2	848,4	847,8	15,66	13,56	27,13	1,85	3,01	0,35
14 день	КВ (буровой шлам)	1702,0	1698,0	1703,0	1701,0	8,08	7,00	14,00	0,48	2,16	0,13
	3	750,0	758,0	760,0	756,0	32,33	28,00	56,00	4,28	4,32	0,57
	5	700,4	695,9	704,3	700,2	20,40	17,67	35,34	2,91	3,43	0,49
	7	654,2	661,4	660,1	658,6	17,00	14,72	29,45	2,58	3,13	0,48
	10	665,0	672,0	673,0	670,0	21,94	19,00	38,00	3,27	3,56	0,53
	15	530,0	537,0	529,0	532,0	21,94	19,00	38,00	4,12	3,56	0,67
	20	535,0	541,0	544,0	540,0	24,25	21,00	42,00	4,49	3,74	0,69
	25	501,0	498,0	507,0	502,0	24,25	21,00	42,00	4,83	3,74	0,75
21 день	КВ (буровой шлам)	1693,0	1699,0	1708,0	1700,0	65,82	57,00	114,00	3,87	6,16	0,36
	3	327,11	325,09	331,87	328,02	13,99	12,12	24,24	4,27	2,84	0,87
	5	318,0	323,0	322,0	321,0	8,08	7,00	14,00	2,52	2,16	0,67
	7	323,0	318,0	322,0	321,0	8,08	7,00	14,00	2,52	2,16	0,67
	10	287,0	293,0	290,0	290,0	10,39	9,00	18,00	3,58	2,45	0,84
	15	272,0	276,0	277,0	275,0	8,08	7,00	14,00	2,94	2,16	0,79
	20	273,0	270,0	267,0	270,0	10,39	9,00	18,00	3,85	2,45	0,91
	25	228,0	233,0	229,0	230,0	8,08	7,00	14,00	3,51	2,16	0,94

День	Объемная доля внесения диатомит, %	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
28 день	КВ (буровой шлам)	1695,0	1702,0	1700,0	1699,0	15,01	13,00	26,00	0,88	2,94	0,17
	3	263,0	260,0	257,0	260,0	10,39	9,00	18,00	4,00	2,45	0,94
	5	258,0	261,0	264,0	261,0	10,39	9,00	18,00	3,98	2,45	0,94
	7	257,0	262,0	258,0	259,0	8,08	7,00	14,00	3,12	2,16	0,83
	10	247,0	251,0	252,0	250,0	8,08	7,00	14,00	3,23	2,16	0,86
	15	245,3	248,3	243,3	245,6	7,31	6,33	12,67	2,98	2,05	0,84
	20	242,0	246,0	247,0	245,0	8,08	7,00	14,00	3,30	2,16	0,88
	25	226,3	229,1	231,3	228,9	7,25	6,28	12,56	3,17	2,05	0,89
56 день	КВ (буровой шлам)	1695,0	1703,0	1699,0	1699,0	18,48	16,00	32,00	1,09	3,27	0,19
	3	211,0	215,0	216,0	214,0	8,08	7,00	14,00	3,78	2,16	1,01
	5	244,1	247,2	248,6	246,6	6,12	5,30	10,61	2,48	1,88	0,76
	7	231,0	235,0	236,0	234,0	8,08	7,00	14,00	3,45	2,16	0,92
	10	197,0	199,0	201,0	199,0	4,62	4,00	8,00	2,32	1,63	0,82
	15	221,0	218,0	221,0	220,0	3,46	3,00	6,00	1,57	1,41	0,64
	20	217,4	212,9	215,5	215,3	5,89	5,10	10,21	2,74	1,84	0,86
	25	210,0	209,0	214,0	211,0	8,08	7,00	14,00	3,83	2,16	1,02

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов лабораторных исследований получения почвогрунтов (с использованием природного минерального сорбента – диатомит)

Наименование показателя	Наименование пробы	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка выборочной средней ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
Сульфат-ион (водорастворимая форма), мг/кг	Буровой шлам (контроль)	92,6	93,1	92,9	93	0,07	0,06	0,1	0,08	0,21	0,22
	Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10 %)	157	158	161	159	5,00	4,33	8,7	3,15	1,70	1,07
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	75	76	78	76	2,69	2,33	4,7	3,53	1,25	1,63
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	140	144	143	142	5,00	4,33	8,7	3,52	1,70	1,19
	Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	173	176	177	175	5,00	4,33	8,7	2,85	1,70	0,97
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	75	74	77	75	2,69	2,33	4,7	3,58	1,25	1,66
	Буровой шлам +фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	171	172	167	170	8,08	7,00	14,0	4,75	2,16	1,27
Хлорид-ион (водорастворимая форма), мг/кг	Буровой шлам (контроль)	6570	6569	6565	6568	8,08	7,00	14,0	0,12	2,16	0,03
	Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10 %)	4122	4141	4142	4135	146,6	127,00	254,0	3,55	9,20	0,22
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	4559	4579	4556	4565	180,5	156,33	312,7	3,95	10,21	0,22
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	3305,1	3286,4	3308,6	3300,0	164,5	142,46	284,9	4,98	9,75	0,30
	Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	2530	2549	2543	2541	108,9	94,33	188,7	4,29	7,93	0,31
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3598	3581	3591	3590	84,3	73,00	146,0	2,35	6,98	0,19
	Буровой шлам +фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3195	3199	3177	3190	158,6	137,33	274,7	4,97	9,57	0,30

Наименование показателя	Наименование пробы	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка выборочной средней (S_x)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
Остаточное содержание нефтепродуктов, мг/кг	Буровой шлам (контроль)	1696	1709	1695	1700	70,44	61,00	122,0	4,14	6,38	0,38
	Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10 %)	1010	1008	1020	1013	47,73	41,33	82,7	4,71	5,25	0,52
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	926	927	918	924	28,10	24,33	48,67	3,04	4,03	0,44
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	963	974	973	970	42,72	37,000	74,000	4,40	4,97	0,51
	Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	721	723	715	720	20,01	17,333	34,667	2,78	3,40	0,47
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	623	616	620	620	14,24	12,3333	24,667	2,30	2,87	0,46
	Буровой шлам +фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	501	506	499	502	15,01	13,000	26,00	2,99	2,94	0,59
рН, ед.рН	Буровой шлам (контроль)	8,70	8,50	8,90	8,70	0,05	0,04	0,1	0,53	0,16	1,88
	Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10 %)	7,19	7,36	7,42	7,32	0,02	0,01	0,0	0,22	0,10	1,33
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	8,32	7,96	8,69	8,32	0,15	0,13	0,3	1,85	0,30	3,58
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	7,80	7,40	8,20	7,80	0,18	0,16	0,3	2,37	0,33	4,19
	Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,42	7,62	7,65	7,56	0,02	0,02	0,03	0,24	0,10	1,35
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,85	7,98	8,06	7,96	0,01	0,01	0,0	0,16	0,09	1,09
	Буровой шлам +фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,40	8,10	7,30	7,60	0,22	0,19	0,4	2,89	0,36	4,68

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов лабораторных исследований получения почвогрунтов (с использованием природного минерального сорбента – глауконит)

Наименование показателя	Наименование пробы	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка выборочной средней (S_x)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
Сульфат-ион (водорастворимая форма), мг/кг	Буровой шлам (контроль)	92,6	93,1	92,9	93	0,07	0,06	0,1	0,08	0,21	0,22
	Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	123	125	127	125	4,62	4,00	8,0	3,70	1,63	1,31
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	56	58	57	57	1,15	1,00	2,0	2,03	0,82	1,43
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	125	128	124	126	5,00	4,33	8,7	3,98	1,70	1,35
	Буровой шлам + гипс+ глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	139	136	140	138	5,00	4,33	8,7	3,62	1,70	1,23
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	57	58	56	57	1,15	1,00	2,0	2,03	0,82	1,43
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	157	154	153	155	5,00	4,33	8,7	3,24	1,70	1,10
Хлорид-ион (водорастворимая форма), мг/кг	Буровой шлам (контроль)	6570	6569	6565	6568	8,08	7,00	14,0	0,12	2,16	0,03
	Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	3784	3795	3792	3790	37,34	32,33	64,7	0,99	4,64	0,12
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	4712	4685	4703	4700	218,24	189,00	378,0	4,64	11,22	0,24
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	3248	3259	3243	3250	77,36	67,00	134,0	2,38	6,68	0,21
	Буровой шлам + гипс+ глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	2641	2650	2659	2650	93,53	81,00	162,0	3,53	7,35	0,28
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3951	3935	3935	3940	98,53	85,33	170,7	2,50	7,54	0,19
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	2976	2990	2973	2980	95,07	82,33	164,7	3,19	7,41	0,25

Наименование показателя	Наименование пробы	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка выборочной средней (S_x)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
Остаточное содержание нефтепродуктов, мг/кг	Буровой шлам (контроль)	1696	1709	1695	1700	70,44	61,00	122,0	4,14	6,38	0,38
	Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	985	993	982	987	37,3	32,33	64,7	3,78	4,64	0,47
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	1105	1093	1103	1100	47,7	41,33	82,67	4,34	5,25	0,48
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	1003	1012	1015	1010	45,0	39,00	78,00	4,46	5,10	0,50
	Буровой шлам + гипс+ глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	555	563	562	560	21,9	19,00	38,00	3,92	3,56	0,64
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	849	854	847	850	15,0	13,00	26,00	1,77	2,94	0,35
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	652	647	651	650	8,1	7,00	14,00	1,24	2,16	0,33
рН, ед.рН	Буровой шлам (контроль)	8,70	8,50	8,90	8,70	0,05	0,04	0,1	0,53	0,16	1,88
	Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	7,80	7,60	8,01	7,80	0,05	0,04	0,1	0,62	0,17	2,15
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	8,30	8,50	7,80	8,20	0,15	0,13	0,3	1,83	0,29	3,59
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	7,90	7,30	7,90	7,70	0,14	0,12	0,2	1,80	0,28	3,67
	Буровой шлам + гипс+ глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,10	7,50	7,00	7,20	0,08	0,07	0,1	1,12	0,22	3,00
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,50	8,10	7,80	7,80	0,10	0,09	0,2	1,33	0,24	3,14
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	7,40	7,70	7,70	7,60	0,03	0,03	0,1	0,46	0,14	1,86

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов лабораторных исследований получения почвогрунтов с применением сорбента диатомит на высоту надземных побегов растений злаковых культур

Наименование растений злаковых культур	Варианты опыта	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
мятлик	Буровой шлам (контроль)	2,5	2,9	2,8	2,7	0,05	0,04	0,1	1,83	0,17	6,22
	Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	3,1	3,5	2,9	3,2	0,11	0,09	0,2	3,40	0,25	7,88
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	3,2	3,6	3,1	3,3	0,08	0,07	0,1	2,45	0,22	6,55
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	2,8	3,5	3,2	3,2	0,14	0,12	0,2	4,50	0,29	9,06
	Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,4	4,1	3,7	3,7	0,14	0,12	0,2	3,81	0,29	7,68
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,4	3,1	3,0	3,2	0,05	0,04	0,1	1,58	0,17	5,37
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	4,2	4,0	4,6	4,3	0,11	0,09	0,2	2,53	0,25	5,85
коострец	Буровой шлам (контроль)	7,5	7,3	7,9	7,6	0,11	0,09	0,2	1,42	0,25	3,30
	Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	7,9	8,6	8,1	8,2	0,15	0,13	0,3	1,83	0,29	3,59
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	8,0	8,6	7,6	8,1	0,29	0,25	0,5	3,63	0,41	5,09
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	8,1	7,8	8,6	8,2	0,19	0,16	0,3	2,31	0,33	4,04
	Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	9,8	9,2	10,4	9,8	0,42	0,36	0,7	4,24	0,49	5,00
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	8,4	7,6	8,5	8,2	0,28	0,24	0,5	3,44	0,40	4,93
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	10,0	10,9	9,7	10,2	0,45	0,39	0,8	4,42	0,51	5,00
овсяница	Буровой шлам (контроль)	6,1	7,0	6,5	6,5	0,23	0,20	0,4	3,59	0,37	5,64
	Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	6,4	6,9	7,2	6,8	0,19	0,16	0,3	2,76	0,33	4,83
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	6,5	6,2	7,2	6,6	0,30	0,26	0,5	4,58	0,42	6,32
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	6,9	6,3	7,3	6,8	0,29	0,25	0,5	4,28	0,41	6,01
	Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	8,3	8,9	7,8	8,3	0,35	0,30	0,6	4,20	0,45	5,40
	Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	6,5	6,8	7,0	6,8	0,07	0,06	0,1	1,08	0,21	3,04
	Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	10,1	9,2	9,6	9,6	0,23	0,20	0,4	2,44	0,37	3,82

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов лабораторных исследований получения почвогрунтов с применением сорбента глауконит на высоту надземных побегов растений злаковых культур

Наименование растений злаковых культур	Варианты опыта	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
мятлик	Буровой шлам (контроль)	2,5	2,9	2,8	2,7	0,05	0,04	0,1	1,83	0,17	6,22
	Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	2,6	3,2	2,8	2,9	0,11	0,09	0,2	3,76	0,25	8,70
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	3,2	2,7	3,1	3,0	0,08	0,07	0,1	2,69	0,22	7,20
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	3,4	2,8	3,1	3,1	0,10	0,09	0,2	3,35	0,24	7,90
	Буровой шлам + гипс+ глауконит +торф + гум. пр-т. «Ростою» (40%:10%:10%:40%)	3,6	4,2	4,0	3,9	0,11	0,09	0,2	2,74	0,25	6,34
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Ростою» (40%:10%:10%:40%)	3,7	4,0	4,1	3,9	0,05	0,04	0,1	1,27	0,17	4,32
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Ростою» (40%:10%:10%:40%)	4,1	3,9	4,7	4,2	0,20	0,17	0,3	4,73	0,34	8,03
кострец	Буровой шлам (контроль)	7,5	7,3	7,9	7,6	0,11	0,09	0,2	1,42	0,25	3,30
	Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	8,0	8,5	7,7	8,1	0,19	0,16	0,3	2,34	0,33	4,09
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	8,0	8,2	7,7	8,0	0,07	0,06	0,1	0,92	0,21	2,58
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	8,2	7,8	8,4	8,1	0,11	0,09	0,2	1,33	0,25	3,07
	Буровой шлам + гипс+ глауконит +торф + гум. пр-т. «Ростою» (40%:10%:10%:40%)	9,5	9,1	10,2	9,6	0,36	0,31	0,6	3,73	0,45	4,74
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Ростою» (40%:10%:10%:40%)	8,7	8,0	7,6	8,1	0,36	0,31	0,6	4,42	0,45	5,61
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Ростою» (40%:10%:10%:40%)	9,8	10,5	9,2	9,8	0,49	0,42	0,8	4,97	0,53	5,40
овсяница	Буровой шлам (контроль)	6,1	7,0	6,5	6,5	0,23	0,20	0,4	3,59	0,37	5,64
	Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	6,7	6,2	7,1	6,7	0,23	0,20	0,4	3,52	0,37	5,52
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	6,8	6,9	6,1	6,6	0,22	0,19	0,4	3,32	0,36	5,39
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	7,1	6,5	6,3	6,6	0,20	0,17	0,3	3,02	0,34	5,12
	Буровой шлам + гипс+ глауконит +торф + гум. пр-т. «Ростою» (40%:10%:10%:40%)	7,9	8,5	8,9	8,4	0,29	0,25	0,5	3,47	0,41	4,87
	Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Ростою» (40%:10%:10%:40%)	6,4	7,3	6,4	6,7	0,31	0,27	0,5	4,65	0,42	6,33
	Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Ростою» (40%:10%:10%:40%)	10,5	9,6	9,4	9,8	0,40	0,34	0,7	4,03	0,48	4,87

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов химического состава образцов почвогрунтов в среднем за 2018-2020 гг. в рамках опытно-промышленных испытаний

Название пробы	Наименование показателя	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
Буровой шлам	Марганец (валовое содержание)	297	296	301	298	8,08	7,00	14,0	2,71	2,16	0,72
	Медь (валовое содержание)	39	41	40	40	1,15	1,00	2,0	2,89	0,82	2,04
	Свинец (валовое содержание)	45	43	44	44	1,15	1,00	2,0	2,62	0,82	1,86
	Цинк (валовое содержание)	37	36	38	37	1,15	1,00	2,0	3,12	0,82	2,21
	Кобальт (валовое содержание)	6,3	7,1	6,8	6,7	0,19	0,16	0,3	2,80	0,33	4,90
	Мышьяк	3,7	4,1	3,8	3,9	0,05	0,04	0,1	1,29	0,17	4,40
	Нефтепродукты	1696	1709	1695	1700	70,44	61,00	122,0	4,14	6,38	0,38
	Водородный показатель	7,21	7,29	7,27	7,26	0,002	0,00	0,0	0,03	0,00	0,47
	Сульфат-ион	56	56	58	57	1,54	1,33	2,7	2,72	0,94	1,66
	Хлорид-ион	4770	4789	4776	4778	108,93	94,33	188,7	2,28	7,93	0,17
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	Плотный остаток водной вытяжки	2,01	2,31	2,35	2,22	0,04	0,03	0,1	1,79	0,15	6,82
	Марганец (валовое содержание)	190	193	192	192	2,69	2,33	4,7	1,41	1,25	0,65
	Медь (валовое содержание)	11,00	12,00	12,00	12	0,38	0,33	0,7	3,30	0,47	4,04
	Свинец (валовое содержание)	10	10	9	10	0,38	0,33	0,7	3,98	0,47	4,88
	Цинк (валовое содержание)	48	49	50	49	1,15	1,00	2,0	2,36	0,82	1,67
	Кобальт (валовое содержание)	3,5	4,1	3,5	3,7	0,14	0,12	0,2	3,74	0,28	7,64
	Мышьяк	1,31	1,57	1,58	1,49	0,03	0,02	0,0	1,82	0,12	8,41
	Нефтепродукты	353	350	346	350	14,24	12,33	24,7	4,07	2,87	0,82
	Водородный показатель	8,40	8,51	8,38	8,43	0,01	0,00	0,0	0,07	0,06	0,68
	Сульфат-ион	87	87	89	88	1,54	1,33	2,7	1,76	0,94	1,08
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	Хлорид-ион	2684	2698	2701	2694	95,07	82,33	164,7	3,53	7,41	0,27
	Плотный остаток водной вытяжки	0,81	0,91	0,86	0,86	0,003	0,00	0,0	0,34	0,04	4,75
	Марганец (валовое содержание)	194	196	195	195	1,15	1,00	2,0	0,59	0,82	0,42
	Медь (валовое содержание)	10	11	11	11	0,38	0,33	0,7	3,61	0,47	4,42
	Свинец (валовое содержание)	11	10	11	11	0,38	0,33	0,7	3,61	0,47	4,42
	Цинк (валовое содержание)	50	51	52	51	1,15	1,00	2,0	2,26	0,82	1,60
	Кобальт (валовое содержание)	3,4	3,5	3,9	3,6	0,08	0,07	0,1	2,25	0,22	6,00
	Мышьяк	1,52	1,47	1,56	1,52	0,002	0,00	0,0	0,15	0,04	2,43
	Нефтепродукты	182	187	186	185	8,08	7,00	14,0	4,37	2,16	1,17
	Водородный показатель	8,11	8,26	8,03	8,13	0,02	0,01	0,0	0,19	0,10	1,17
	Сульфат-ион	80	81	82	81	1,15	1,00	2,0	1,43	0,82	1,01
	Хлорид-ион	2135	2138	2131	2135	14,24	12,33	24,7	0,67	2,87	0,13
	Плотный остаток водной вытяжки	0,62	0,69	0,73	0,68	0,004	0,003	0,006	0,53	0,05	6,69

Название пробы	Наименование показателя	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое	Относительная ошибка выборочной	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	Марганец (валовое содержание)	151	155	151	152	6,16	5,33	10,7	4,04	1,89	1,24
	Медь (валовое содержание)	10	11	11	11	0,38	0,33	0,7	3,61	0,47	4,42
	Свинец (валовое содержание)	17	16	16	16	0,38	0,33	0,7	2,36	0,47	2,89
	Цинк (валовое содержание)	41	42	42	42	0,38	0,33	0,7	0,92	0,47	1,13
	Кадмий (валовое содержание)	0,12	0,18	0,28	0,19	0,01	0,01	0,0	3,90	0,07	34,14
	Кобальт (валовое содержание)	3,6	3,8	3,7	3,7	0,01	0,01	0,0	0,31	0,08	2,21
	Мышьяк	1,63	1,73	1,96	1,77	0,03	0,03	0,1	1,86	0,14	7,79
	Нефтепродукты	365	371	364	367	16,55	14,33	28,7	4,51	3,09	0,84
	Водородный показатель	8,12	8,26	8,57	8,32	0,06	0,05	0,1	0,74	0,19	2,26
	Сульфат-ион	157	161	160	159	5,00	4,33	8,7	3,14	1,70	1,07
	Хлорид-ион	2229	2238	2240	2236	39,64	34,33	68,7	1,77	4,78	0,21
	Плотный остаток водной вытяжки	0,49	0,61	0,59	0,56	0,005	0,00	0,0	0,85	0,05	9,32
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	Марганец (валовое содержание)	151	155	153	153	4,62	4,00	8,0	3,02	1,63	1,07
	Медь (валовое содержание)	10,1	9,8	10,9	10,3	0,37	0,32	0,6	3,64	0,46	4,52
	Свинец (валовое содержание)	15	16	16	16	0,38	0,33	0,7	2,46	0,47	3,01
	Цинк (валовое содержание)	43	43	44	43	0,38	0,33	0,7	0,89	0,47	1,09
	Кадмий (валовое содержание)	0,29	0,24	0,11	0,21	0,01	0,01	0,0	4,67	0,08	35,56
	Кобальт (валовое содержание)	3,4	3,8	3,9	3,70	0,08	0,07	0,1	2,18	0,22	5,84
	Мышьяк	1,87	1,92	1,87	1,89	0,001	0,00	0,0	0,05	0,02	1,25
	Нефтепродукты	168	171	167	169	5,00	4,33	8,7	2,97	1,70	1,01
	Водородный показатель	7,41	7,96	7,71	7,69	0,09	0,08	0,2	1,14	0,22	2,92
	Сульфат-ион	135	137	134	135	2,69	2,33	4,7	1,99	1,25	0,92
	Хлорид-ион	1962	1957	1971	1963	58,12	50,33	100,7	2,96	5,79	0,30
	Плотный остаток водной вытяжки	0,39	0,42	0,65	0,49	0,02	0,02	0,0	4,80	0,12	23,86

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов исследований химического состава почвогрунтов в среднем за 2018-2020 гг. в рамках опытно-промышленных испытаний (высота надземных побегов травосмеси (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная))

Год проведения полевых исследований	Варианты опыта	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{x})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
2018	Буровой шлам (контроль)	12,5	13,0	13,5	13,0	0,29	0,25	0,5	2,22	0,41	3,14
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	26,1	24,5	24,5	25,0	0,99	0,85	1,7	3,94	0,75	3,01
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	27,6	29,0	27,3	28,0	0,95	0,82	1,6	3,40	0,74	2,65
	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	25,0	24,0	26,0	25,0	1,15	1,00	2,0	4,62	0,82	3,27
	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	28,6	27,5	28,0	28,0	0,35	0,30	0,6	1,25	0,45	1,60
2019	Буровой шлам (контроль)	12,5	13,0	13,5	13,0	0,29	0,25	0,5	2,22	0,41	3,14
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	35,0	34,0	33,0	34,0	1,15	1,00	2,0	3,40	0,82	2,40
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	36,5	35,7	35,9	36,0	0,20	0,17	0,3	0,56	0,34	0,94
	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	29,7	30,1	30,2	30,0	0,08	0,07	0,1	0,27	0,22	0,72
	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	34,9	34,5	35,5	35,0	0,29	0,25	0,5	0,84	0,41	1,18
2020	Буровой шлам (контроль)	12,5	13,0	13,5	13,0	0,29	0,25	0,5	2,22	0,41	3,14
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	49,5	50,0	50,6	50,0	0,35	0,30	0,6	0,70	0,45	0,90
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	51,2	50,5	51,2	51,0	0,19	0,16	0,3	0,37	0,33	0,65
	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	50,5	50,0	49,6	50,0	0,23	0,20	0,4	0,47	0,37	0,74
	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	49,5	49,1	51,3	50,0	1,59	1,37	2,7	3,17	0,96	1,91

Статистические характеристики количественной и качественной изменчивости результатов химического состава почвогрунтов в среднем за 2018-2020 гг. в рамках опытно-промышленных испытаний (масса вегетативных надземных побегов (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная))

Год проведения полевых исследований	Варианты опыта	Повторения, X			Средняя арифметическая (\bar{X})	Ошибка средней выборки ($S_{\bar{x}}$)	Дисперсия (S^2)	Среднее квадратическое отклонение (S)	Относительная ошибка выборочной средней (P)	Стандартное отклонение генеральной совокупности (σ)	Коэффициент вариации (V)
		I	II	III							
2018	Буровой шлам (контроль)	326,9	331,5	327,6	328,7	7,09	6,14	12,3	2,16	2,02	0,62
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	893,1	901,9	897,2	897,4	22,4	19,39	38,8	2,49	3,60	0,40
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1156,3	1166,3	1165,8	1162,8	36,7	31,75	63,5	3,15	4,60	0,40
	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	967,3	972,8	977,8	972,6	31,9	27,58	55,2	3,27	4,29	0,44
	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1096,3	1106,5	1103,9	1102,2	32,4	28,09	56,2	2,94	4,33	0,39
2019	Буровой шлам (контроль)	388,7	384,3	391,5	388,2	15,2	13,17	26,3	3,92	2,96	0,76
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	952,3	954,6	945,3	950,7	27,1	23,46	46,9	2,85	3,96	0,42
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1525,9	1532,7	1521,4	1526,7	37,4	32,36	64,7	2,45	4,64	0,30
	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	1030,6	1039,5	1036,3	1035,5	23,5	20,32	40,6	2,27	3,68	0,36
	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1344,1	1352,4	1354,8	1350,4	36,4	31,52	63,0	2,70	4,58	0,34
2020	Буровой шлам (контроль)	386,3	390,8	394,5	390,5	19,5	16,86	33,7	4,99	3,35	0,86
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	1065,8	1070,1	1075,9	1070,6	29,7	25,69	51,4	2,77	4,14	0,39
	Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1900,2	1891,2	1897,5	1896,3	24,6	21,33	42,7	1,30	3,77	0,20
	Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	1102,3	1109,3	1098,4	1103,3	35,2	30,50	61,0	3,19	4,51	0,41
	Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1562,6	1574,5	1571,6	1569,6	44,5	38,50	77,0	2,83	5,07	0,32

Приложение 4

Однофакторный дисперсионный анализ лабораторного опыта (природный минеральный сорбент – диатомит)

Варианты опыта	Высота надземных побегов мятлика лугового, см			Σ V	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-0,5	-0,1	-0,2	-0,80	
Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	0,1	0,5	-0,1	0,50	
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	0,2	0,6	0,1	0,90	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	-0,2	0,5	0,2	0,50	
Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,4	1,1	0,7	2,20	
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,4	0,1	0	0,50	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,4	1,1	0,7	2,20	
ΣР	0,8	3,8	1,4	6,00	
Общее число отклонений (N)	21				
Корректирующий фактор (C)	1,7				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	3,5				
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	0,7				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	2,2				
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	0,5				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _φ	F ₀₅
Общая	3,5	20,0	-	-	-
Повторений (S _v ²)	1,7	2,0	-	-	-
Вариантов (S ²)	2,2	6,0	0,4	8,64	3
Остаток	0,5	12,0	0,0	-	-
Обобщенная ошибка средней (S _{х̄})	0,1				
Ошибка разности средних (S _d)	0,2				

$F_{факт} > F_{теор}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

НСР05	0,4
НСР01	0,6

Варианты опыта	Высота надземных побегов мятлика лугового, см	Сравнение с контролем		
		см	%	НСР ₀₅
Буровой шлам (контроль)	2,7	-	-	-
Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	3,2	0,4	16	0,4
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	3,3	0,6	21	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	3,2	0,4	16	
Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,7	1,0	37	
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,2	0,4	16	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	4,3	1,5	56	

Варианты опыта	Высота надземных побегов костреца безостого, см			ΣV
	I	II	III	
Буровой шлам (контроль)	-1,5	-1,7	-1,1	-4,30
Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	-1,1	-0,4	-0,9	-2,40
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	-1,0	-0,4	-1,4	-2,80
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	-0,9	-1,2	-0,4	-2,50
Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,8	0,2	1,4	2,40
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	-0,6	-1,4	-0,5	-2,50
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1,0	1,9	0,7	3,60
ΣP	-3,3	-3,0	-2,2	-8,50

Общее число отклонений (N)	21
Корректирующий фактор (C)	3,4
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (S_y)	20,9
Сумма квадратов отклонений для повторений (S_p)	0,1
Сумма квадратов отклонений для вариантов (S_v)	17,7
Случайное варьирование определяют по соотношению (C_z)	3,2
Дисперсия	Сумма квадратов
Общая	20,9
Повторений (S_v^2)	1,5
Вариантов (S^2)	17,7
Остаток	3,2
Обобщенная ошибка средней ($S_{\bar{x}}$)	0,3
Ошибка разности средних (S_d)	0,4

Степени свободы	Средний квадрат	F_{ϕ}	F_{05}
20,0	-	-	-
2,0	-	-	-
6,0	2,9	11,13	3
12,0	0,3	-	-

$F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

НСР05	0,9
НСР01	1,4

Варианты опыта	Высота надземных побегов костреца безостого, см	Сравнение с контролем		
		см	%	НСР ₀₅
Буровой шлам (контроль)	7,6	-	-	-
Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	8,2	0,6	8	0,9
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	8,1	0,5	7	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	8,2	0,6	8	
Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	9,8	2,2	30	
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	8,2	0,6	8	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	10,2	2,6	35	

Варианты опыта	Высота надземных побегов овсяницы красной, см			Σ V	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-0,9	0,0	-0,5	-1,40	
Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	-0,6	-0,1	0,2	-0,50	
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	-0,5	-0,8	0,2	-1,10	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	-0,1	-0,7	0,3	-0,50	
Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1,3	1,9	0,8	4,00	
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	-0,5	-0,2	0,0	-0,70	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,1	2,2	2,6	7,90	
ΣP	1,8	2,3	3,6	7,70	
Общее число отклонений (N)	21				
Корректирующий фактор (C)	2,8				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	27,6				
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	0,2				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	24,7				
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	2,7				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	27,6	20,0	-	-	-
Повторений (S _v ²)	1,5	2,0	-	-	-
Вариантов (S ²)	24,7	6,0	4,1	18,57	3
Остаток	2,7	12,0	0,2	-	-
Обобщенная ошибка средней (S _x)	0,3				
Ошибка разности средних (S _d)	0,4				

$F_{факт} > F_{теор}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

HCP05	0,8
HCP01	1,3

Варианты опыта	Высота надземных побегов овсяницы красной, см	Сравнение с контролем		
		см	%	HCP ₀₅
Буровой шлам (контроль)	6,5	-	-	-
Буровой шлам + гипс+ диатомит (80%:10%:10%)	6,8	0,3	5	0,8
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит (80%:10%:10%)	6,6	0,1	2	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит (80%:10%:10%)	6,8	0,3	5	
Буровой шлам + гипс+ диатомит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	8,3	1,8	28	
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	6,8	0,2	4	
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	9,6	3,1	47	

Однофакторный дисперсионный анализ лабораторного опыта (природный минеральный сорбент – глауконит)

Варианты опыта	Высота надземных побегов мятлика лугового, см			Σ V	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-0,5	-0,1	-0,2	-0,80	
Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	-0,4	0,2	-0,2	-0,40	
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	0,2	-0,3	0,1	0,00	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	0,4	-0,2	0,1	0,30	
Буровой шлам + гипс+ глауконит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,6	1,2	1,0	2,80	
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,7	1,0	1,1	2,80	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1,1	0,9	1,7	3,70	
ΣР	2,1	2,7	3,6	8,40	
Общее число отклонений (N)	21				
Корректирующий фактор (C)	3,4				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	7,9				
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	0,2				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	6,7				
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	1,1				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _φ	F ₀₅
Общая	7,9	20,0	-	-	-
Повторений (S _v ²)	1,6	2,0	-	-	-
Вариантов (S ²)	6,7	6,0	1,1	12,81	3
Остаток	1,1	12,0	0,1	-	-
Обобщенная ошибка средней (S _{х̄})	0,2				
Ошибки разности средних (S _d)	0,2				

$F_{факт} > F_{теор}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

НСР ₀₅	0,5
НСР ₀₁	0,8

Варианты опыта	Высота надземных побегов мятлика лугового, см	Сравнение с контролем		
		см	%	НСР ₀₅
Буровой шлам (контроль)	2,7	-	-	-
Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	2,9	0,1	5	0,5
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	3,0	0,3	10	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	3,1	0,4	13	
Буровой шлам + гипс+ глауконит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,9	1,2	44	
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,9	1,2	44	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	4,2	1,5	55	

Варианты опыта	Высота надземных побегов костреца беззостого, см			Σ V	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-0,5	-0,7	-0,1	-1,30	
Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	0,0	0,5	-0,3	0,20	
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	0,0	0,2	-0,3	-0,10	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	0,2	-0,2	0,4	0,40	
Буровой шлам + гипс+ глауконит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1,5	1,1	2,2	4,80	
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,7	0,0	-0,4	0,30	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1,8	2,5	1,2	5,50	
ΣP	3,7	3,4	2,7	9,80	
Общее число отклонений (N)	21				
Корректирующий фактор (C)	4,6				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (Cy)	16,8				
Сумма квадратов отклонений для повторений (Cp)	0,1				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (Cv)	13,9				
Случайное варьирование определяют по соотношению (Cz)	2,8				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fφ	F05
Общая	16,8	20,0	-	-	-
Повторений (Sv ²)	1,9	2,0	-	-	-
Вариантов (S ²)	13,9	6,0	2,3	9,76	3
Остаток	2,8	12,0	0,2	-	-
Обобщенная ошибка средней (Sx)	0,3				
Ошибка разности средних (Sd)	0,4				

$F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

HCP05	0,9
HCP01	1,3

Варианты опыта	Высота надземных побегов костреца беззостого, см	Сравнение с контролем		
		см	%	HCP ₀₅
Буровой шлам (контроль)	7,6	-	-	-
Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	8,1	0,5	7	0,9
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	8,0	0,4	5	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	8,1	0,6	7	
Буровой шлам + гипс+ глауконит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	9,6	2,0	27	
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	8,1	0,5	7	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	9,8	2,3	30	

Варианты опыта	Высота надземных побегов овсяницы красной, см			ΣV	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-0,9	0,0	-0,5	-1,40	
Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	-0,3	-0,8	0,1	-1,00	
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	-0,2	-0,1	-0,9	-1,20	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	0,1	-0,5	-0,7	-1,10	
Буровой шлам + гипс+ глауконит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	0,9	1,5	1,9	4,30	
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	-0,6	0,3	-0,6	-0,90	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,5	2,6	2,4	8,50	
ΣP	2,5	3,0	1,7	7,20	
Общее число отклонений (N)	21				
Корректирующий фактор (C)	2,5				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	33,2				
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	0,1				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	29,9				
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	3,2				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
Общая	33,2	20,0	-	-	-
Повторений (S _v ²)	1,2	2,0	-	-	-
Вариантов (S _v ²)	29,9	6,0	5,0	18,99	3
Остаток	3,2	12,0	0,3	-	-
Обобщенная ошибка средней (S _х)	0,3				
Ошибка разности средних (S _d)	0,4				

F_{факт}>F_{теор}, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

HCP05	0,9
HCP01	1,4

Варианты опыта	Высота надземных побегов овсяницы красной, см	Сравнение с контролем		
		см	%	HCP ₀₅
Буровой шлам (контроль)	6,5	-	-	-
Буровой шлам + гипс+ глауконит (80%:10%:10%)	6,7	0,1	2	0,9
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит (80%:10%:10%)	6,6	0,1	1	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит (80%:10%:10%)	6,6	0,1	2	
Буровой шлам + гипс+ глауконит +торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	8,4	1,9	29	
Буровой шлам + доломитовая мука + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	6,7	0,2	3	
Буровой шлам + фосфогипс + глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	9,8	3,3	51	

Однофакторный дисперсионный анализ опытно-промышленных испытаний за 2018 г.

Варианты опыта	Высота надземных побегов травосмеси (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), см			Σ V	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-11,5	-11,0	-10,5	-33,00	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	2,1	0,5	0,5	3,10	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,6	5,0	3,3	11,90	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	1,0	0,0	2,0	3,00	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	4,6	3,5	4,0	12,10	
ΣР	-0,2	-2,0	-0,7	-2,90	
Общее число отклонений (N)	15				
Корректирующий фактор (C)	0,6				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	471,1				
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	0,3				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	464,6				
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	6,1				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _φ	F ₀₅
Общая	471,1	14,0	-	-	-
Повторений (S _v ²)	0,3	2,0	-	-	-
Вариантов (S ²)	464,6	4,0	116,2	151,98	3,84
Остаток	6,1	8,0	0,8	-	-
Обобщенная ошибка средней (S _{x̄})	0,5				
Ошибка разности средних (S _d)	0,7				

$F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

НСР05	1,6
НСР01	2,4

Варианты опыта	Средняя высота надземных побегов травосмеси (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), см	Сравнение с контролем		
		см	%	НСР ₀₅
Буровой шлам (контроль)	13,0	-	-	-
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	25,0	12,0	92	1,6
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	28,0	15,0	115	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	25,0	12,0	92	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	28,0	15,0	115	

Варианты опыта	Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)			ΣV	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-566,1	-561,5	-565,4	-1693,00	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	0,1	8,9	4,2	13,20	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	263,3	273,3	272,8	809,40	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	74,3	79,8	84,8	238,90	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	203,3	213,5	210,9	627,70	
ΣP	-25,1	14,0	7,3	-3,80	
Общее число отклонений (N)	15				
Корректирующий фактор (C)	1,0				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (S_y)	1324435,7				
Сумма квадратов отклонений для повторений (S_p)	174,9				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (S_v)	1324209,7				
Случайное варьирование определяют по соотношению (S_z)	51,0				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F_{ϕ}	F_{05}
Общая	1324435,7	14,0	-	-	-
Повторений (S_v^2)	174,9	2,0	-	-	-
Вариантов (S^2)	1324209,7	4,0	331052,4	51906,72	3,84
Остаток	51,0	8,0	6,4	-	-
Обобщенная ошибка средней ($S_{\bar{x}}$)	1,5				
Ошибка разности средних (S_d)	2,1				

$F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

НСР ₀₅	4,8
НСР ₀₁	6,9

Варианты опыта	Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)	Сравнение с контролем		
		см	%	НСР ₀₅
Буровой шлам (контроль)	328,7	-	-	-
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	897,4	568,7	173	4,8
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1162,8	834,1	254	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	972,6	644,0	196	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1102,2	773,6	235	

Однофакторный дисперсионный анализ опытно-промышленных испытаний за 2019 г.

Варианты опыта	Высота надземных побегов травосмеси (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), см			Σ V	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-17,5	-17,0	-16,5	-51,0	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	5,0	4,0	3,0	12,0	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	6,5	5,7	5,9	18,1	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	-0,3	0,1	0,2	0,0	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	4,9	4,5	5,5	14,9	
ΣР	-1,4	-2,7	-1,9	-6,0	
Общее число отклонений (N)	15				
Корректирующий фактор (C)	2,4				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	1099,3				
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	0,2				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	1095,8				
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	3,3				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _φ	F ₀₅
Общая	1099,3	14,0	-	-	-
Повторений (S _v ²)	0,2	2,0	-	-	-
Вариантов (S ₂)	1095,8	4,0	274,0	659,86	3,84
Остаток	3,3	8,0	0,4	-	-
Обобщенная ошибка средней (S _с)	0,4				
Ошибка разности средних (S _d)	0,5				

$F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

HCP05	1,2
HCP01	1,8

Варианты опыта	Средняя высота надземных побегов травосмеси (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), см	Сравнение с контролем		
		см	%	HCP ₀₅
Буровой шлам (контроль)	13,0	-	-	-
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	34,0	21,0	162	1,2
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	36,0	23,0	177	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	30,0	17,0	131	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	35,0	22,0	169	

Варианты опыта	Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)			Σ V
	I	II	III	
Буровой шлам (контроль)	-661,3	-665,7	-658,5	-1985,5
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	-97,7	-95,4	-104,7	-297,8
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	475,9	482,7	471,4	1430,0
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	-19,4	-10,5	-13,7	-43,6
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	294,1	302,4	304,8	901,3
ΣР	-8,4	13,5	-0,7	4,4

Общее число отклонений (N)	15
Корректирующий фактор (C)	1,3
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	2296919,6
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	49,4
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	2296678,0
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	192,3
Дисперсия	Сумма квадратов
Общая	2296919,6
Повторений (S _v ²)	49,4
Вариантов (S ₂)	2296678,0
Остаток	192,3
Обобщенная ошибка средней (S _х)	2,8
Ошибка разности средних (S _d)	4,0

Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
14,0	-	-	-
2,0	-	-	-
4,0	574169,5	23883,43	3,84
8,0	24,0	-	-

F_{факт} > F_{теор}, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

HCP05	9,2
HCP01	13,5

Варианты опыта	Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)	Сравнение с контролем		
		см	%	HCP ₀₅
Буровой шлам (контроль)	388,2	-	-	-
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	950,7	562,6	145	9,2
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1526,7	1138,5	293	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	1035,5	647,3	167	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1350,4	962,3	248	

Однофакторный дисперсионный анализ опытно-промышленных испытаний за 2020 г.

Варианты опыта	Высота надземных побегов травосмеси (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), см			Σ V	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-30,5	-30,0	-29,5	-90,0	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	6,5	7,0	7,6	21,1	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	8,2	7,5	8,2	23,9	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	7,5	7,0	6,6	21,1	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	6,5	6,1	8,3	20,9	
ΣР	-1,8	-2,4	1,2	-3,0	
Общее число отклонений (N)	15				
Корректирующий фактор (C)	0,6				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	3336,8				
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	1,5				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	3332,2				
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	3,1				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _φ	F ₀₅
Общая	3336,8	14,0	-	-	-
Повторений (S _v ²)	1,5	2,0	-	-	-
Вариантов (S ₂)	3332,2	4,0	833,1	2150,74	3,84
Остаток	3,1	8,0	0,4	-	-
Обобщенная ошибка средней (S _{х̄})	0,4				
Ошибка разности средних (S _d)	0,5				

$F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

HCP05	1,2
HCP01	1,7

Варианты опыта	Средняя высота надземных побегов травосмеси (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), см	Сравнение с контролем		
		см	%	HCP ₀₅
Буровой шлам (контроль)	13,0	-	-	-
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	50,0	37,0	285	1,2
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	51,0	38,0	292	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	50,0	37,0	285	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	50,0	37,0	284	

Варианты опыта	Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)			Σ V
	I	II	III	
Буровой шлам (контроль)	-819,7	-815,2	-811,5	-2446,4
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	-140,2	-135,9	-130,1	-406,2
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	694,2	685,2	691,5	2070,9
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	-103,7	-96,7	-107,6	-308,0
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	356,6	368,5	365,6	1090,7
ΣР	-12,8	5,9	7,9	1,0

Общее число отклонений (N)	15
Корректирующий фактор (C)	0,1
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	3907928,6
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	52,1
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	3907662,8
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	213,6
Дисперсия	Сумма квадратов
Общая	3907928,6
Повторений (S _v ²)	52,1
Вариантов (S ₂)	3907662,8
Остаток	213,6
Обобщенная ошибка средней (S _х)	3,0
Ошибка разности средних (S _d)	4,2

Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
14,0	-	-	-
2,0	-	-	-
4,0	976915,7	36582,67	3,84
8,0	26,7	-	-

F_{факт} > F_{теор}, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

HCP05	9,7
HCP01	14,2

Варианты опыта	Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)	Сравнение с контролем		
		см	%	HCP ₀₅
Буровой шлам (контроль)	391	-	-	-
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	1071	680,07	174	9,7
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1896	1505,77	386	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	1103	712,80	183	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1570	1179,03	302	

Однофакторный дисперсионный анализ опытно-промышленных испытаний в среднем за 2018-2020 гг.

Варианты опыта	Высота надземных побегов травосмеси (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), см			Σ V	
	I	II	III		
Буровой шлам (контроль)	-19,5	-19,0	-18,5	-57,0	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	4,9	4,2	4,0	13,1	
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	6,4	6,4	6,1	19,0	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	3,1	2,7	3,3	9,0	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	5,7	5,0	6,3	17,0	
ΣР	0,5	-0,7	1,2	1,0	
Общее число отклонений (N)	15				
Корректирующий фактор (C)	0,1				
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (Су)	1384,8				
Сумма квадратов отклонений для повторений (Ср)	0,4				
Сумма квадратов отклонений для вариантов (Cv)	1382,9				
Случайное варьирование определяют по соотношению (Cz)	1,5				
Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F _φ	F ₀₅
Общая	1384,8	14,0	-	-	-
Повторений (S _v ²)	0,4	2,0	-	-	-
Вариантов (S2)	1382,9	4,0	345,7	1832,84	3,84
Остаток	1,5	8,0	0,2	-	-
Обобщенная ошибка средней (S _х)	0,3				
Ошибка разности средних (S _d)	0,4				

$F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

НСР ₀₅	0,8
НСР ₀₁	1,2

Варианты опыта	Средняя высота надземных побегов травосмеси (мятлик луговой, кострец безостый, овсяница красная), см	Сравнение с контролем		
		см	%	НСР ₀₅
Буровой шлам (контроль)	13,0	-	-	-
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	36,4	23,4	180	0,8
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	38,3	25,3	195	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	35,0	22,0	169	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	37,7	24,7	190	

Таким образом схемы вносимых компонентов существенно влияют на рост выбранной травосмеси. Варианты с использованием в качестве природных минеральных сорбентов диатомита и глауконита, а также мелиорантов - доломитовая мука и гипс, равноценны по эффективности. Дополнительное внесение торфа и обработка гелиминным препаратом "Росток" обеспечивает увеличение роста надземных побегов травосмеси.

Варианты опыта	Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)			Σ V
	I	II	III	
Буровой шлам (контроль)	-663,7	-659,2	-655,5	-1978,4
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	15,8	20,1	25,9	61,8
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	850,2	841,2	847,5	2538,9
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	52,3	59,3	48,4	160,0
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	512,6	524,5	521,6	1558,7
ΣР	767,2	785,9	787,9	2341,0

Общее число отклонений (N)	15
Корректирующий фактор (C)	365352,1
Сумма квадратов отклонений для общего варьирования (C _y)	3907928,6
Сумма квадратов отклонений для повторений (C _p)	52,1
Сумма квадратов отклонений для вариантов (C _v)	3907662,8
Случайное варьирование определяют по соотношению (C _z)	213,6
Дисперсия	Сумма квадратов
Общая	3907928,6
Повторений (S _v ²)	52,1
Вариантов (S ₂)	3907662,8
Остаток	213,6
Обобщенная ошибка средней (S _х)	3,0
Ошибка разности средних (S _d)	4,2

Степени свободы	Средний квадрат	F _ф	F ₀₅
14,0	-	-	-
2,0	-	-	-
4,0	976915,7	36582,67	3,84
8,0	26,7	-	-

F_{факт} > F_{теор}, следовательно, нулевая гипотеза отвергается, в опыте есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости

HCP05	9,7
HCP01	14,2

Варианты опыта	Масса вегетативных надземных побегов, г/м ² (сырая масса)	Сравнение с контролем		
		см	%	HCP ₀₅
Буровой шлам (контроль)	328,7	-	-	-
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука (80%:10%:10%)	897,4	568,7	173	9,7
Буровой шлам + диатомит + доломитовая мука + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1162,8	834,1	254	
Буровой шлам + гипс + глауконит (80%:10%:10%)	972,6	644,0	196	
Буровой шлам + гипс + глауконит + торф + гум. пр-т «Росток» (40%:10%:10%:40%)	1102,2	773,6	235	

Таким образом схемы вносимых компонентов существенно влияют на рост выбранной травосмеси. Варианты с использованием в качестве природных минеральных сорбентов диатомита и глауконита, а также мелиорантов - доломитовая мука и гипс, равноценны по эффективности. Дополнительное внесение торфа и обработка гелиминным препаратом "Росток" обеспечивает увеличение массы травосмеси.