

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)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Тюмень – 2022

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» на кафедре «Техносферная безопасность».

Научный руководитель: кандидат биологических наук, доцент, профессор кафедры «Техносферная безопасность» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»
Гаева Елена Викторовна

Официальные оппоненты: **Новосёлова Евдокия Ивановна**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»

Лопатовская Ольга Геннадьевна – доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»

Ведущая организация: **ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

Защита состоится «22» июня 2022 г. в 13-30 на заседании диссертационного совета Д 999.114.02 при ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Республики дом 7. Телефон/факс: 8(3452) 29-01-52; e-mail: dissгаusz@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного аграрного университета Северного Зауралья и на сайте университета: <http://www/tsaa.ru>.

Автореферат разослан: «20» апреля 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор с.-х. наук

Турсумбекова Галина Шалкаровна

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).

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 полное 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.

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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В главе представлен аналитический обзор научной литературы о влиянии буровых шламов на окружающую природную среду. Рассмотрены объекты интеллектуальной собственности в области обращения с буровыми шламами.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

Отбор проб буровых шламов на разных типах буровых растворов производился на территории ХМАО-Югры ПАО «ЛУКОЙЛ Западная Сибирь». Исследования выполнялись в период 2017-2020 гг. и включали в себя проведение

лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний бурового шлама и почвогрунтов.

Исследования физико-химических, агрохимических, токсикологических свойств буровых шламов и почвогрунтов, осуществлялись 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» (рис. 1).

Опытно-промышленные испытания проводились на кустовой площадке нефтяного месторождения ХМАО-Югры. Климатическая характеристика района: 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. Годовая сумма осадков – 498 мм; средняя относительная влажность меняется от 71 до 85%.

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). 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).

Общее число микрофлоры и численность сапрофитной микрофлоры определялись посевом на мясопептонном агаре (МПА), численность актиномицетов, микромицетов и бактерий – на крахмало-аммиачном агаре (КАА). Численность углеводородокисляющих бактерий (УОБ) определялась посевом на поверхность агаризованной минеральной среды Мюнца, численность микромицетов – на поверхность среды Чапека.

Всхожесть и энергию прорастания семян многолетних растений семейства злаковых овсяницы красной, мятлика лугового, костреца безостого проводили в соответствии с ГОСТ 12038-84. Вегетационные опыты по изучению морфометрических показателей растений семейства злаковые проводили в трехкратной повторности.

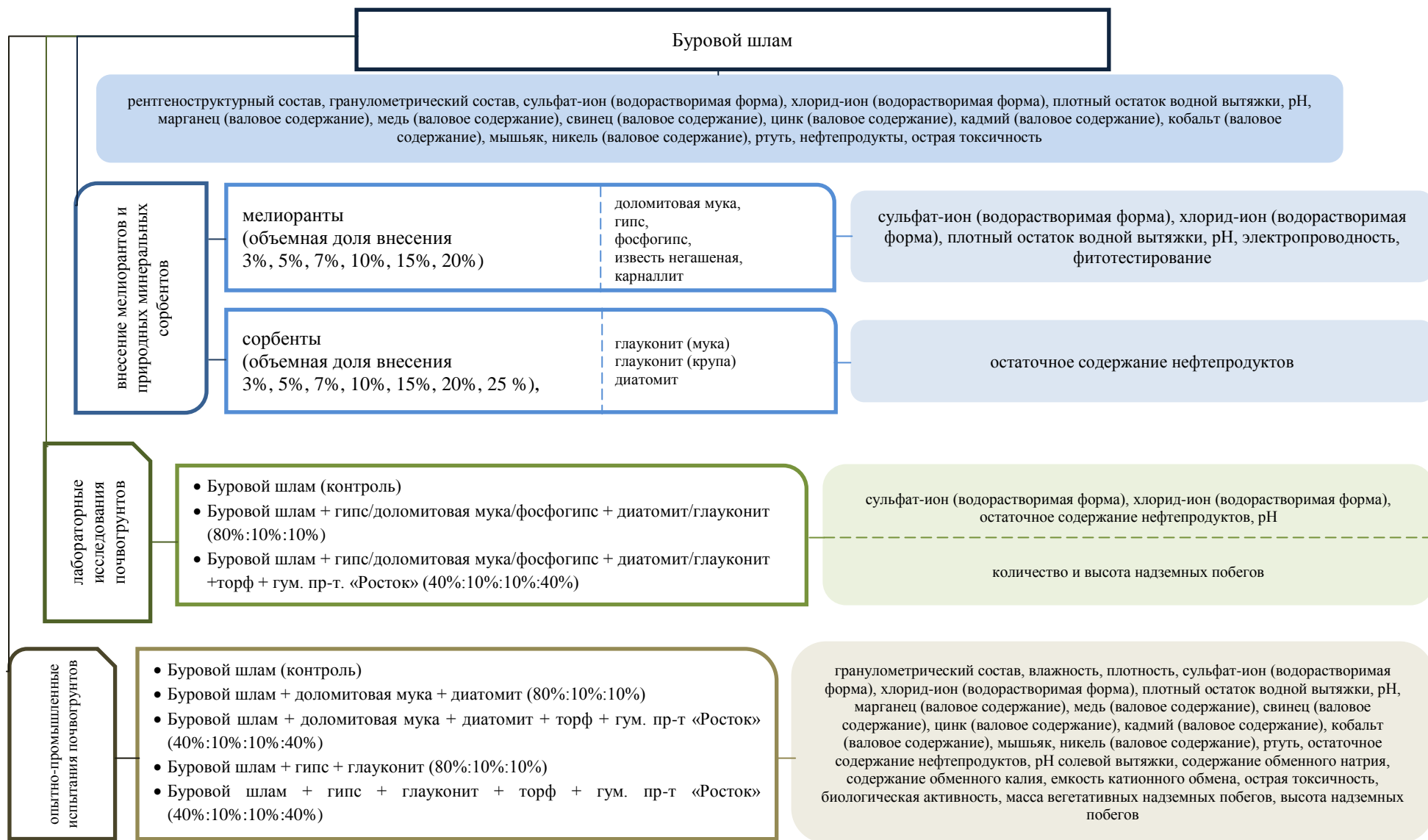


Рис. 1 – Методология проведения исследований по созданию почвогрунтов

Контроль состояния растительного покрова на делянках размером 3×1 м при опытно-промышленных испытаниях проведен на основании разработанных методик полевых наблюдений, учитывающих следующие показатели: проективное покрытие почвогрунтов растительностью; высота надземной части побегов; масса вегетативных надземных побегов. Для посева использовали костреч безостый (70 кг/га), овсяницу красную (40 кг/га), мятлик луговой (10 кг/га). Для интенсификации развития растений в составе травосмеси использовали гуминовый препарат «Росток», способствующий росту и развитию растений в неблагоприятных природно-климатических условиях. Оценку качества проведения опытно-промышленных испытаний проводили после завершения посевных мероприятий в конце вегетационного периода текущего года, а также на 2-й и 3-й год.

ГЛАВА 3 ХИМИКО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БУРОВЫХ ШЛАМОВ

Наибольшую роль в свойствах буровых шламов играют глинистые минералы, которые способствуют набуханию за счет мелкодисперсных частиц. По способности к набуханию минералы можно выстроить в следующий ряд: монтмориллонитовые > гидрослюдастые > коалинитовые. На основании рентгеноструктурного анализа определён минералогический состав бурового шлама (рис. 2).

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

Существенным вопросом с точки зрения возможности использования буровых шламов для биологической рекультивации является гранулометрический состав. По результатам оценки содержания групп гранулометрических элементов, буровые шламы относятся к типам от суглинка легкого до глины тяжелой. Буровой раствор в своем составе содержит в большем количестве бентониты, что влияет на гранулометрический состав (< 0,001) и происходит увеличение содержания группы физической глины.

Уровень водородного показателя буровых шламов варьировал от нейтральной до слабощелочной среды – 7,26 и 8,7 ед. рН. По типу засоления изучаемые образцы буровых шламов в большинстве случаев относились к хлоридному, а по степени засоления – к средnezасоленным, слабозасоленным и незасоленным типам (табл. 1).

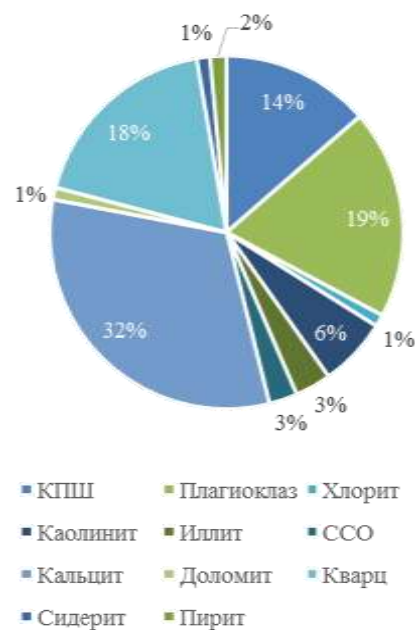


Рис. 2 – Минералогический состав средней пробы буровых шламов от групп месторождений ХМАО-Югра

Таблица 1 – Солевой состав образцов буровых шламов

Наименование пробы	Сульфат-ион (водорастворимая форма)			Хлорид-ион (водорастворимая форма)			Плотный остаток водной вытяжки		
	мг/кг	Δ	$S_{\bar{x}}$	мг/кг	Δ	$S_{\bar{x}}$	%	Δ	$S_{\bar{x}}$
БШ _{с1}	93,0	±14,0	±1,54	6568,0	±985	±8,08	2,48	±0,17	±0,05
БШ _{с2}	57,0	±9,0	±2,69	4778,0	±717	±4,62	2,25	±0,16	±0,09
БШ _{с3}	1084,0	±163	±15,0	494,0	±74	±3,46	1,67	±0,12	±0,03
БШ _{пг1}	75,0	±11,3	±1,54	750,0	±112	±2,69	0,3	±0,03	±0,001
БШ _{пг2}	125,0	±18,8	±5,00	234,0	±35	±5,00	0,21	±0,02	±0,001
БШ _{пг3}	105,0	±15,8	±5,00	198,0	±30	±2,69	0,22	±0,02	±0,001
БШ _{ипг1}	90,0	±13,5	±1,54	394,0	±59	±2,69	0,21	±0,02	±0,001
БШ _{ипг2}	80,0	±12,0	±2,69	353,0	±53	±5,00	0,22	±0,02	±0,001
БШ _{рУО1}	140,0	±21,0	±2,69	4049,0	±607	±7,31	0,83	±0,08	±0,01
БШ _{рУО2}	140,0	±21,0	±3,46	2690,0	±403	±8,08	1,02	±0,71	±0,01

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 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.

В результате проведения токсикологического воздействия на гидробионты, все изученные образцы буровых шламов с использованием разных типов буровых растворов относились к IV классу опасности для окружающей природной среды.

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

С целью изменения химического состава бурового шлама использовались мелиоранты (доломитовая мука, гипс, фосфогипс, известь негашеная и карналлит). Результаты исследований внесения доломитовой муки в буровой шлам показали, что происходит увеличение кислотности среды в щелочную сторону – значения pH варьировали от 9,65 до 9,77. 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) (рис. 3,4).

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. Значение водородного показателя среды снизилось до pH 7,63, т.е. произошло изменение реакции среды до слабощелочной.

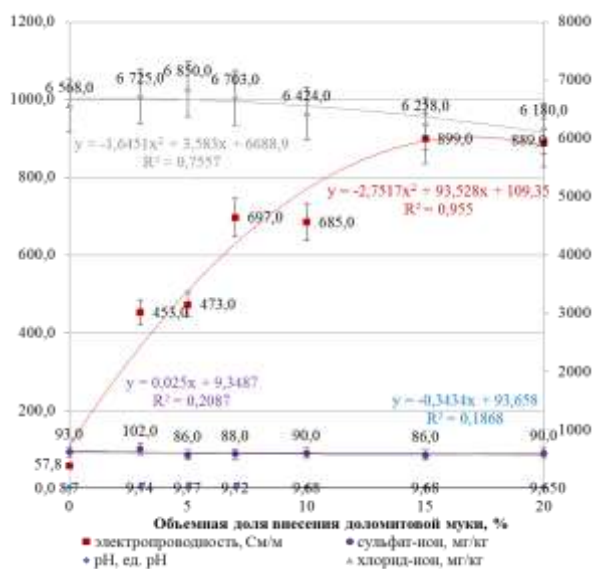


Рис. 3 – Влияние внесения доломитовой муки на солевой состав бурового шлама

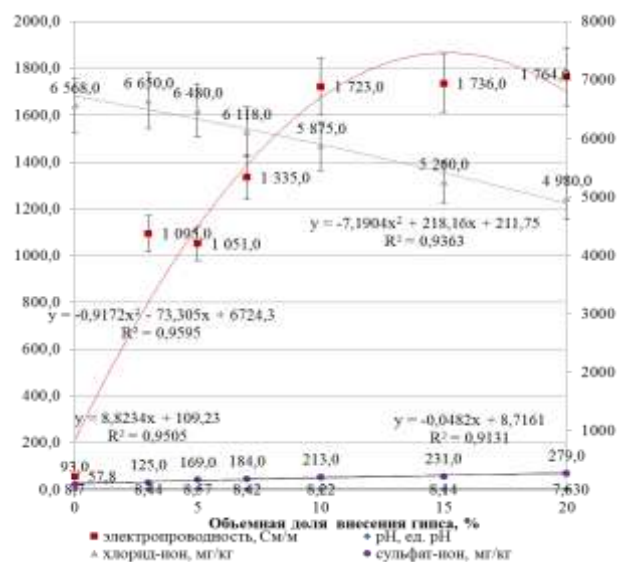


Рисунок 4 – Влияние внесения гипса на солевой состав бурового шлама

Результаты исследований по влиянию внесения фосфогипса на солевой состав бурового шлама были аналогичными с результатами внесения гипса. Реакция среды водной вытяжки переходила из щелочной в слабощелочную, значения pH варьировали от 7,88 до 8,77. Концентрация сульфат-иона находилась в границах 134,0-286,0 мг/кг (хлоридно-сульфатное засоление).

Известь негашеная является одним из мелиорантов с высокими показателями электропроводности ($r = 0,97$), напрямую зависящей от объемной доли ее внесения. Наименее эффективным в качестве используемого мелиоранта является карналлит, при его внесении происходит снижение электропроводности, что указывает на отсутствие ионообменных реакций солей ($r = 0,43$).

Внесение доломитовой муки / гипса / фосфогипса указывает на переход концентраций солей в растворимую форму. Происходит увеличение значений электропроводности в зависимости от объема внесения мелиоранта ($r = 0,84-0,9$).

Внесение доломитовой муки в количестве 15 и 20 % объемных долей положительно сказывалось на изменении плотного остатка водной вытяжки и в среднем составило 0,976% ($r = -0,94$). При внесении гипса и фосфогипса происходило существенное снижение плотного остатка водной вытяжки, содержание показателя было менее 1 % при объемной доле от 7 до 20 %, ($r = -0,7$) (рис. 5).

Использование извести негашеной в объемных долях 10, 15 и 20% влияло на содержание плотного остатка водной вытяжки. Его значения составили от 0,805 до 0,958% ($r = -0,93$). По результатам проведенных исследований, выявлено, что внесение карналлита не способствовало снижению плотного остатка (2,492-2,480 %) ($r = -0,14$).

В качестве тест-объектов для фитотестирования мелиорированного бурового шлама использовались семена многолетних растений семейства злаковые – овсяницы красной, мятлика лугового, костреца безостого (табл. 2).

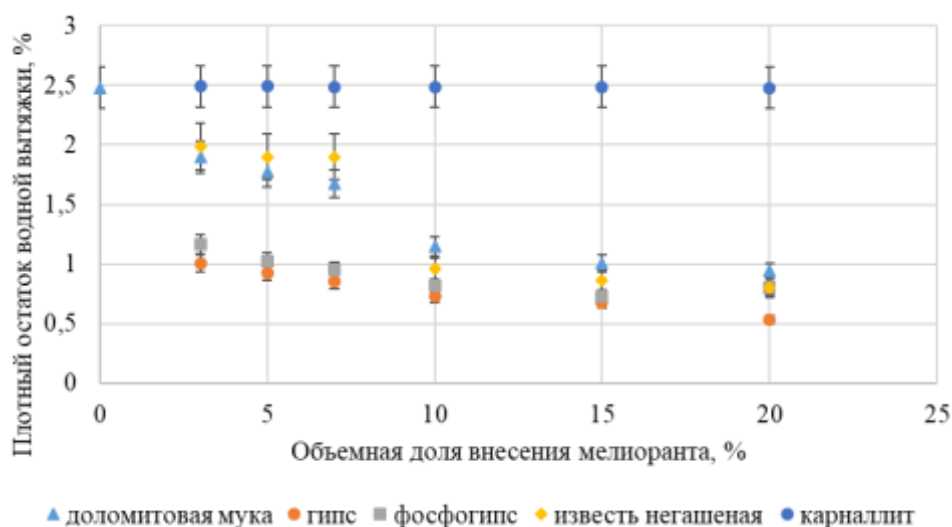


Рис. 5 – Результаты исследований плотного остатка водной вытяжке контрольного образца и мелиорированных буровых шламов

Таблица 2 – Средние значения всхожести растений при внесении мелиорантов в буровой шлам

Объемная доля внесения мелиорантов, %	Средние значения всхожести, %								
	доломитовая мука			гипс			фосфогипс		
	овсяница красная	мятлик луговой	коострец безостый	овсяница красная	мятлик луговой	коострец безостый	овсяница красная	мятлик луговой	коострец безостый
	14 сут	21 сут	10 сут	14 сут	21 сут	10 сут	14 сут	21 сут	10 сут
буровой шлам (контроль)	38±3,8	25±2,5	46±4,6	38±3,8	25±2,5	56±5,6	48±4,8	25±2,5	40±4
3	63±5,7	31±3,1	86±6,0	64±5,8	35±3,5	85±5,9	65±5,8	39±3,9	85±5,9
5	62±5,6	35±3,5	82±6,6	68±6,1	38±3,8	87±6,1	65±5,8	42±4,2	87±6,1
7	72±6,5	62±5,6	89±5,3	68±6,1	43±4,3	87±6,1	70±5,6	46±4,6	87±6,1
10	87±6,1	69±6,2	87±6,1	76±6,0	47±4,7	90±5,4	74±5,9	46±4,6	90±5,4
15	78±6,2	78±6,2	90±5,4	85±5,9	57±5,7	94±5,6	81±5,7	59±5,9	94±5,6
20	85±5,9	86±6,0	92±7,3	87±6,0	64±5,8	96±5,8	82±5,7	65±5,9	96±5,8

При изучении степени фитотоксического действия на растения семейства злаковые установлено, что наибольшая всхожесть наблюдалась на уровне 80-90 % при внесении доломитовой муки / гипса / фосфогипса от 10 до 20 % объемных долей в буровой шлам.

Внесение природных минеральных сорбентов от 3 до 25% в буровой шлам показало, что максимальное снижение концентрации нефтепродуктов было на 28-й и 56-й день проведения исследований. Высокие сорбционные свойства проявили глауконит (мука) и диатомит, остаточное содержание нефтепродуктов на 56-й день исследований в среднем составило 240,6 и 220,0 мг/кг соответственно (рис. 6).

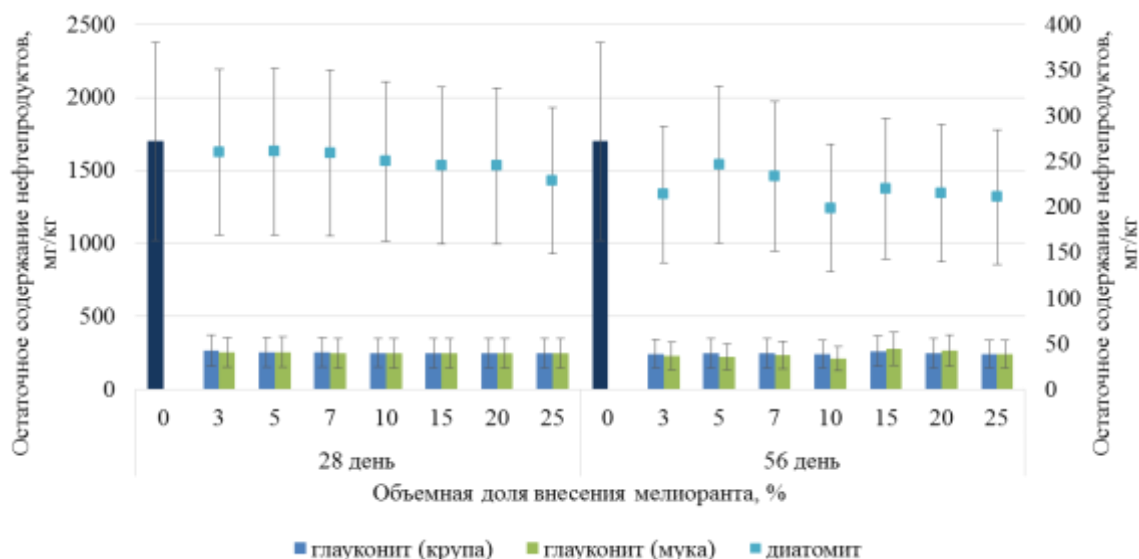


Рис. 6 – Результаты остаточного содержания нефтепродуктов при внесении природных минеральных сорбентов на 28-й и 56-й дни исследований

ГЛАВА 5 ВЛИЯНИЕ ПОЧВОГРУНТОВ НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ЗЛАКОВЫЕ

В образцах почвогрунтов с внесением *гипса / доломитовой муки / фосфогипса и диатомита* уровень водородного показателя pH варьировал в пределах слабощелочной среды от 7,32 до 8,32. Значения содержания нефтепродуктов находились в пределах от 924 до 1013 мг/кг. Наименьшая концентрация хлорид-ионов (3300 мг/кг) наблюдалась при внесении фосфогипса и диатомита, сульфат-ионов (76 мг/кг) при внесении доломитовой муки и диатомита.

Водородный показатель pH водной вытяжки изучаемых образцов почвогрунтов при внесении *гипса / доломитовой муки / фосфогипса, диатомита и торфа* составил 7,56-7,96. Применение торфа способствовало снижению водородного показателя. Остаточное содержание нефтепродуктов было 502-720 мг/кг. Концентрации хлорид-ионов и сульфат-ионов при внесении смеси компонентов в среднем составила 3107,0 и 140,0 мг/кг соответственно.

Уровень водородного показателя pH почвогрунтов при внесении *гипса / доломитовой муки / фосфогипса и глауконита* составил 7,7-8,2. Содержание нефтепродуктов находилось в пределах от 987 до 1100 мг/кг. Наименьшее значение содержания хлорид-ионов наблюдалось при внесении фосфогипса и глауконита (3250,0 мг/кг), а сульфат-ионов (57 мг/кг) – при внесении доломитовой муки и глауконита.

При внесении мелиоранта (*гипса / доломитовой муки / фосфогипса*), *глауконита и торфа* происходило снижение уровня водородного показателя pH до 7,2. Остаточное содержание нефтепродуктов с добавлением глауконита и торфа было 560,0-850,0 мг/кг. Содержание хлорид-ионов и сульфат-ионов при внесении фосфогипса, глауконита, торфа и гуминового препарата «Росток» составило 2980,0 и 155,0 мг/кг соответственно.

Результаты исследований почвогрунтов с использованием *гипса / доломитовой муки / фосфогипса и диатомита*, показали значения всхожести семян мятлика лугового от 42 до 52 % и высоты надземных побегов – от 3,2-3,3 см. Внесение торфа и применение гуминового препарата «Росток» способствовало увеличению всхожести побегов до 92 % и высоты надземных побегов до 4,3 см. Всхожесть костреца безостого и овсяницы красной составила 92 %, а высота надземных побегов – 8,3-10,2 см.

Исследование влияния почвогрунтов с внесением *гипса / доломитовой муки / фосфогипса, глауконита, торфа и гуминового препарата «Росток»* показали высокую всхожесть семян овсяницы красной 92 % и высоту надземных побегов 9,8 см, всхожесть семян мятлика лугового 92 % и высоту надземных побегов 4,2 см, всхожесть семян костреца безостого 96 % и высоту надземных побегов 9,8 см (табл. 3).

Таблица 3 – Средние значения результатов влияния почвогрунтов на растения семейства злаковые

Наименование варианта почвогрунта	Мятлик луговой	Кострец безостый	Овсяница красная
	Высота надземных побегов, см $\pm S_{\bar{x}}$		
Буровой шлам (контроль)	2,7 \pm 0,05	7,6 \pm 0,11	6,5 \pm 0,23
Буровой шлам + гипс+ диатомит/глауконит (80%:10%:10%)	3,2 \pm 0,11	8,2 \pm 0,15	6,8 \pm 0,19
	2,9 \pm 0,11	8,1 \pm 0,19	6,7 \pm 0,23
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит/глауконит (80%:10%:10%)	3,3 \pm 0,08	8,1 \pm 0,29	6,6 \pm 0,30
	3,0 \pm 0,08	8,0 \pm 0,07	6,6 \pm 0,22
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит/глауконит (80%:10%:10%)	3,2 \pm 0,14	8,2 \pm 0,19	6,8 \pm 0,29
	3,1 \pm 0,10	8,1 \pm 0,11	6,6 \pm 0,20
Буровой шлам + гипс+ диатомит/глауконит +торф + гум. пр- т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,7 \pm 0,14	9,8 \pm 0,42	8,3 \pm 0,35
	3,9 \pm 0,11	9,6 \pm 0,36	8,4 \pm 0,29
Буровой шлам + доломитовая мука + диатомит/глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	3,2 \pm 0,05	8,2 \pm 0,28	6,8 \pm 0,07
	3,9 \pm 0,05	8,1 \pm 0,36	6,7 \pm 0,31
Буровой шлам + фосфогипс + диатомит/глауконит + торф + гум. пр-т. «Росток» (40%:10%:10%:40%)	4,3 \pm 0,11	10,2 \pm 0,45	9,6 \pm 0,23
	4,2 \pm 0,20	9,8 \pm 0,49	9,8 \pm 0,40
НСР ₀₅	0,4 0,5	0,9 0,9	0,8 0,9

Примечание: $S_{\bar{x}}$ – ошибка выборочной средней; числитель – диатомит, знаменатель – глауконит

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

Результаты физико-химических исследований почвогрунтов показали, что влажность была 30,4-32,2 %, плотность – 2,04-2,28 г/см³. По гранулометрическому составу почвогрунты с внесением *доломитовой муки, диатомита и доломитовой муки, диатомита, торфа* относились к глине средней и суглинку среднему соответственно. При внесении *гипса, глауконита и гипса, глауконита, торфа* почвогрунты относились к глине тяжелой и суглинку тяжелому соответственно.

Уровень водородного показателя рН в почвогрунтах с *диатомитом и доломитовой мукой* составил 8,13-8,43, в почвогрунтах с использованием гипса

и глауконита – 7,69-8,32. По засолению почвогрунты относились к хлоридному типу засоления. Остаточное содержание нефтепродуктов в образцах почвогрунтов составило в среднем 367 мг/кг. Валовое 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 почвогрунтах с ПДК (ОДК) почв превышений не выявлено.

Летальная кратность разбавления водных вытяжек почвогрунтов, вызывающих гибель 50 % *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg за 48-часовую экспозицию в среднем была ниже в 1,8 раза в сравнении с контролем (буровым шламом), *Daphnia magna* Straus – в 9,4 раза. Положительный хемотаксис *Paramecium caudatum* Ehrenberg наблюдался в водных вытяжках почвогрунтов с допустимой степенью безвредной кратности разбавления (менее 0,40) при индексе токсичности 0,24 у.е. При оценке токсического действия проб почвогрунтов с внесением мелиоранта (доломитовой муки / *gınca*) и природного минерального сорбента (*diatomit* / глауконит) на *Chlorella vulgaris* Beijer наблюдалось отсутствие подавления или стимуляции величины оптической плотности культуры (8,32-29,84%). Пробы почвогрунтов с внесением торфа и гуминового препарата «Росток» оказывали стимулирующие воздействие до 27,4 % от верхнего порога критерия токсичности (менее 30). При оценке корреляционной зависимости плотного остатка водной вытяжки и тест-функций гидробионтов при однократном разведении водной вытяжки образцов почвогрунтов наблюдалась следующая корреляционная 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 ($r = 0,69$).

Общая численность микрофлоры почвогрунтов в образцах варьировала от 60,0 до 271,0 млн. КОЕ/г. Численность сапрофитов составляла в образцах почвогрунтов 34,0-62,0 млн. КОЕ/г. Доля микроорганизмов, растущих на среде с минеральным азотом, была в пределах от 31,9 до 57,8 млн КОЕ/г. Численность углеводородокисляющих бактерий во всех образцах почвогрунтов имела порядок 13,5-22,0 млн. КОЕ/г. Максимальное значение абсолютной численности актиномицетов было в почвогрунтах с внесением торфа и гуминового препарата «Росток» – 7,3 млн. КОЕ/г.

Результаты морфометрических показателей растений семейства злаковые по итогам проведения опытно-промышленных испытаний применения почвогрунтов:

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 улучшает химические свойства почвогрунтов и обеспечивает условия прорастания семян, рост и развитие растений. Проектное покрытие составляло более 50 % от площади учетной делянки наблюдений. Наряду с этим отмечается активная всхожесть посевов с высотой надземных побегов 25-28 см. Дополнительное внесение гуминового препарата «Росток» благоприятно

сказывается на развитии растений. При этом происходит формирование жизнеспособного фитоценоза со значениями фитомассы вегетативных надземных побегов 1100,2-1162,8 г/м² (сырая масса).

2-й год опытно-промышленных испытаний: на буровом шламе отмечена слабая всхожесть злаков и низкие значения показателя проективного покрытия – 15 %. Высота надземных побегов составила 13 см с фитомассой 388,2 г/м² (сырая масса). На почвогрунтах с использованием мелиорирующих добавок и природных минеральных сорбентов проективное покрытие составляло 65-70 %. Наиболее активно растения семейства злаковые произрастали с использованием торфа и гуминового препарата «Росток». При этом значение проективного покрытия достигало 75 % с фитомассой 1350,4-1526,8 г/м² (сырая масса).

3-й год опытно-промышленных испытаний: проективное покрытие на буровом шламе сеяным фитоценозом составило 30 %. Проростки растений семейства злаковые высотой до 15 см с фитомассой 390,5 г/м² (сырая масса). Проективное покрытие надземных побегов на почвогрунтах с применением торфа и гуминового препарата «Росток» составляло 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 фитомассы многолетних злаковых растений в 92-119 раз ($НСР_{05} = 9,7$ г/м²) и увеличение высоты надземных побегов до 190 % по отношению к буровому шламу (контролю) ($НСР_{05} = 0,8$ см) (рис. 7).

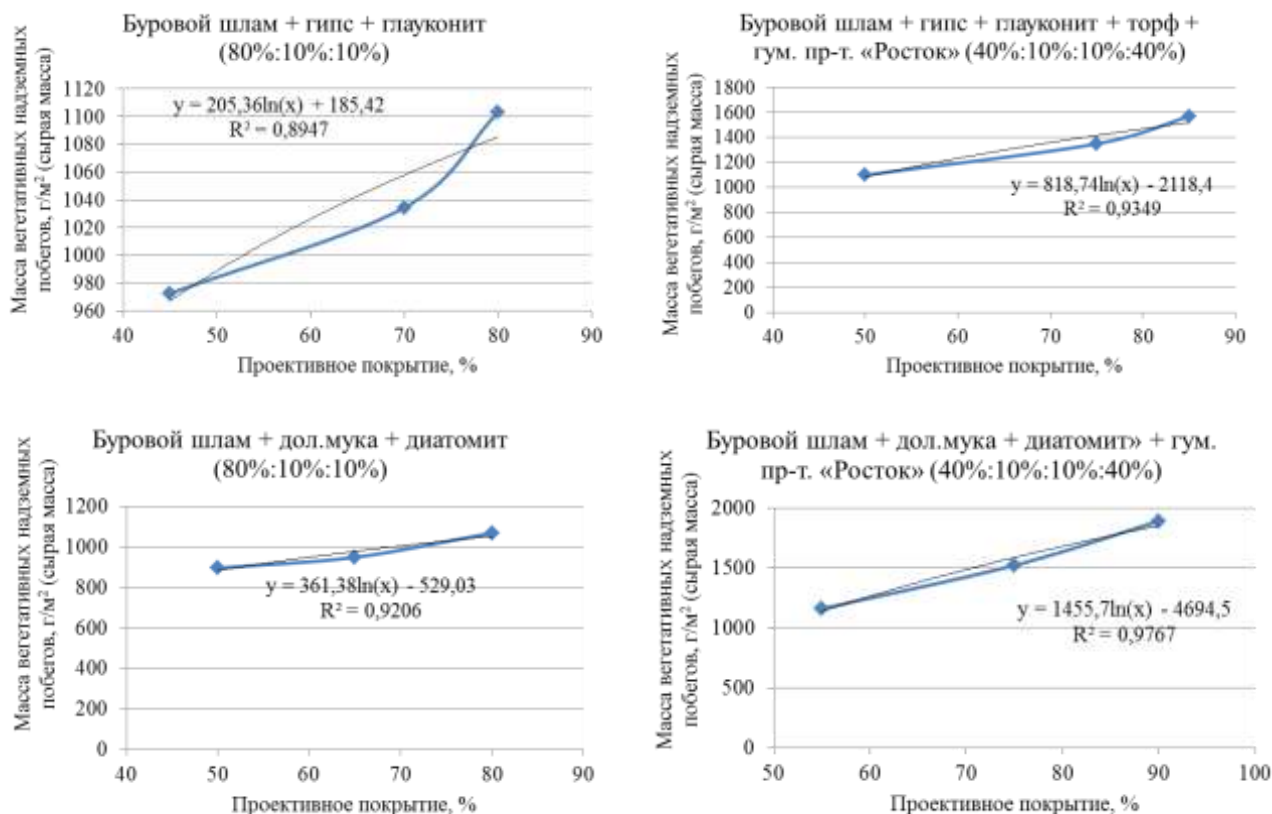


Рис. 7 – Зависимость массы вегетативных надземных побегов (сырая масса) от проективного покрытия

Значение коэффициентов корреляции ($r = 0,963-0,996$) свидетельствует о сильной связи проективного покрытия и массы вегетативных надземных побегов (сырая масса) во всех изучаемых образцах 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. Опытнo-промышленные испытания подтверждают пригодность почвогрунтов для применения на биологическом этапе рекультивации нарушенных земель. Проективное 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 – коострец 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ:

1. Тарасова С.С. Экологическое воздействие буровых шламов на углеводородной основе и способы их утилизации / С.С. Тарасова, Е.В. Гаевая // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2019. – № 3 (73). – С. 48-55.
2. Тарасова С.С. Экологичный способ утилизации буровых отходов с получением грунтов строительных для земляных работ / С.С. Тарасова, Е.В. Гаевая // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2020. – № 1 (75). – С. 43-51.
3. Тарасова С.С. Разработка способа утилизации буровых отходов с получением инертного строительного материала / С.С. Тарасова, Е.В. Гаевая // Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12. – № 2. – 8 с.
4. Гаевая Е.В. Возможности утилизации бурового шлама с получением экологически безопасного инертного материала / Е.В. Гаевая, **С.С. Тарасова** // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2020. – № 4 (295). – С. 53-58.
5. Гаевая Е.В. Аprobация технологии утилизации буровых отходов в рамках опытно-промышленных испытаний / Е.В. Гаевая, **С.С. Тарасова** // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25. – № 1. – С. 14-20.
6. Тарасова С.С. Исследования токсичности буровых шламов и возможности их утилизации / С.С. Тарасова, Е.В. Гаевая // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 3. – С. 75-79.
7. Тарасова С. С. Влияние содержания водорастворимых солей в буровых шламах на смертность гидробионтов (*Daphnia magna* Straus и *Chlorella vulgaris* Beijer) / С.С. Тарасова, Е.В. Гаевая // Естественные и технические науки. – 2021. – № 7 (158). – С. 81-84.

Публикации в международной индексируемой базе Scopus:

8. Gaevaya E. The environmental impact of drilling sludge and ways of their utilization / E. Gaevaya, **S. Tarasova**, A. Bytsko // Journal of Ecological Engineering. – 2019. – Т 20. – № 7. – Р. 26-30

9. Tarasova S. Efficiency of sorbents application for the decrease of the residual content of oil products in the industrial waste / S. Tarasova, E. Gaevaya, A. Bytsko // Journal of Ecological Engineering. – 2020. – Т. 22. – № 1. – P. 36-40.
10. Skipin L. Testing rhizobia for natural and anthropogenic saline soils and subsoils / L. Skipin, E. Gaevaya, **S. Tarasova** // Journal of Ecological Engineering. – 2021. – Т. 22. – № 5. – P. 139-142.

Публикации в прочих изданиях

11. Тарасова С.С. Утилизация бурового шлама с получением техногенного грунта // Сборник научных трудов международного форума-конкурса молодых ученых Проблемы недропользования. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 302.
12. Гаевая Е.В. Способы утилизации отходов бурения с применением экологически безопасных материалов / Е.В. Гаевая, **С.С. Тарасова** // Материалы Национальной научно-технической конференции «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации)». – Тюмень, 2019. – С. 151-153.
13. Тарасова С.С. Содержание валовых форм тяжелых металлов в буровом шламе на углеводородной основе и их влияние на окружающую природную среду/ С.С. Тарасова, А.А. Быцко // Сборник трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения». – 2019. – С. 372-375.
14. Гаевая Е.В. Эффективность применения глауконита для снижения остаточного содержания нефтепродуктов в буровом шламе на углеводородной основе / Е.В. Гаевая, **С.С. Тарасова**, А.А. Быцко // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Арктика: современные подходы к производственной и экологической безопасности в нефтегазовом секторе». – 2019. – Т.2. – С. 61-64.
15. Гаевая Е. В. Изменение гранулометрического состава в процессе утилизации буровых отходов / Е.В. Гаевая, **С.С. Тарасова**, Е.А. Устюгова // Сборник материалов Национальной научно-практической конференции «Нефть и газ: технологии и инновации». – 2019. – С. 14-17.
16. Гаевая Е.В. Способ утилизации бурового шлама с получением инертного материала / Е.В. Гаевая, **С.С. Тарасова** // Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии – Нефтегазовому региону». – Тюмень, 2020. – Т. 2. – С. 66- 68.
17. Гаевая Е.В. Способ утилизации буровых отходов при бурении нефтяных скважин / Е. В. Гаевая, С.С. Тарасова, В.В. Елемесова // Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Безопасность и ресурсосбережение в техносфере». – Краснодар, 2021. – С. 232-235.
18. Пат. 2661831 Российская Федерация, МПК В09С 1/08. Способ утилизации бурового шлама с получением экологически чистого грунта / Гаевая Е. В., Богайчук Я.Э., **Тарасова С.С.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». – № 2017146952; заявл. 28.12.2017 ; опубл. 19.07.2017.
19. Пат. 2724158 Российская Федерация, МПК В09В 3/00, В09С 1/08. Способ утилизации отходов бурения / **Тарасова С.С.**, Гаевая Е.В.; заявитель и патентообладатель Тарасова Светлана Сергеевна. – № 2019112174; заявл. 21.04.2019 ; опубл. 22.06.2020. Бюл. № 18.

Монографии

20. Гаевая Е.В. Разработка научных основ утилизации буровых отходов при бурении скважин в нефтяной отрасли / Е.В. Гаевая, **С.С. Тарасова**, В.А. Солонина. – Тюмень: ТИУ, 2020. – 160 с.