

ПИЧУГИН ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВЫХ ГРУНТОВЫХ СМЕСЕЙ
НА ОСНОВЕ БУРОВЫХ ШЛАМОВ**

25.00.36 – Геоэкология (строительство и ЖКХ)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пермь – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Научный руководитель: **Рудакова Лариса Васильевна,**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Ягафарова Гузель Габдулловна,**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной
технический университет», кафедра «Прикладная
экология», заведующий кафедрой

Некрасова Ирина Леонидовна,
кандидат технических наук,
филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»
«ПермНИПИнефть» в г. Перми, отдел буровых растворов
и технологических жидкостей, ведущий научный
сотрудник

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Защита диссертации состоится «20» ноября 2019 г. в 14-30 часов на заседании диссертационного совета Пермского национального исследовательского политехнического университета Д ПНИПУ.05.02, по адресу: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, ауд. 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (www.pstu.ru).

Автореферат разослан «27» сентября 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.02,
кандидат технических наук, доцент

Е.В. Калинина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Рациональное использование минеральных ресурсов геосферных оболочек Земли, минимизация негативных воздействий и сохранение продуктивной природной среды является одной из основных задач геоэкологических исследований. Производственная деятельность предприятий нефтегазового комплекса неизбежно приводит к техногенному воздействию на окружающую среду, которое выражается в загрязнении геосферных оболочек Земли – атмосферы, гидросферы, литосферы, биосферы. В процессе бурения и эксплуатации нефтяных и газовых скважин образуются промышленные отходы бурения – буровые шламы, которые преимущественно размещаются в шламовых амбарах и являются одной из причин загрязнения геосферы: атмосферного воздуха, почвы, подземных и поверхностных вод нефтепродуктами, химическими реагентами и минеральными солями. Перспективным геоэкологическим методом утилизации буровых шламов является использование их в качестве вторичного сырья для изготовления строительных материалов. Использование буровых шламов, основную массу которых составляют породообразующие компоненты, в качестве компонента для строительной отрасли позволит снизить объемы природных ресурсов, применяемых в строительстве, и улучшить экологическую обстановку в районах добычи нефти и газа. Поэтому **актуальной задачей** при обращении с буровыми шламами является обоснование и разработка технологии их утилизации с получением безопасной для геосферы геоэкологически устойчивой продукции с требуемым набором химических, токсикологических и физико-механических характеристик.

Тема диссертации соответствует паспорту специальности 25.00.36 – Геоэкология (строительство и ЖКХ): пункт 5.15 «Обеспечение геоэкологической устойчивости конструкций, зданий и сооружений, технологий строительства и режимов эксплуатации объектов и систем в области градостроительства, энергетического, гидротехнического, промышленного, транспортного и других видов строительства, ЖКХ, природопользования и охраны окружающей среды».

Степень разработанности темы исследования. Исследования, посвященные оценке загрязнения и восстановления природных геосистем отходами бурения, присутствуют в работах отечественных и зарубежных ученых: по исследованию загрязнения окружающей среды отходами бурения – Булатова А.И., Шеметова В.Ю., Косаревича И.В., Стыгар Н.Е., Гапонова В.С., Дризо Е.А., Кузьмина Ю.И., Войтенко В.С., Братишко Ю.А., Ежова М.Ю., Терпелец В.И., Малышкина М.Ю., Некрасовой И.Л., Nguyen Tan T., Kujawska Justyna и др.; по исследованию направлений утилизации и обезвреживания буровых шламов (в том числе по геоэкологическим аспектам утилизации отходов бурения) – Мартыненко Е.Г., Малышкина М.М., Чеботаева А.Н., Рахматуллина Д.В., Булатова А.И.; Макаренко П.П.; Шеметова В.Ю.; Косаревича И.В.; Рядинского В.Ю.; Ягафаровой Г.Г.; Барахниной В.Б., Liu Dong-sheng, Tomas Gihen, Leonard Sunday A. и др. Перспективным направлением утилизации буровых шламов, возвращающим ценное минеральное сырье в геосферные оболочки, является создание на

их основе грунтовых смесей, предназначенных для строительного назначения. Однако воздействие на окружающую среду таких смесей, вопросы их экологической и конструктивной устойчивости, требования, предъявляемые к технологиям их изготовления, не достаточно изучены.

Цель диссертационной работы – выявление закономерностей обеспечения геоэкологической устойчивости грунтовых смесей на основе глинистых буровых шламов. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Исследовать физические и химические характеристики буровых шламов и выявить факторы, определяющие их токсичность. Оценить возможность использования буровых шламов для получения грунтовых смесей.

2. Научно обосновать требования, предъявляемые к свойствам грунтовых смесей и разработать оптимальные составы, обеспечивающие получение на основе бурового шлама продукции, удовлетворяющей заданным характеристикам.

3. Исследовать свойства полученных грунтовых смесей и оценить их геоэкологическую устойчивость по химическим, токсикологическим, физико-механическим характеристикам.

4. Разработать принципиальную технологическую схему процесса производства геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов.

Научная новизна работы:

1. Установлены и научно обоснованы граничные условия влияния физико-химических и токсикологических свойств глинистых буровых шламов на выживаемость низших ракообразных (*Daphnia magna* Straus) и численность клеток водорослей (*Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bred.). Методами биотестирования доказано отсутствие токсического воздействия бурового шлама на тест-объекты при содержании растворимых солей (по сухому остатку) – 33,5 г/кг; нефтепродуктов – 7,08 г/кг.

2. Научно обоснованы требования к грунтовым смесям по химическим, токсикологическим и физико-механическим свойствам. В зависимости от содержания глинистых частиц в буровом шламе определены оптимальные соотношения компонентов: шлам : песок : стабилизатор грунта – 1 : 0,7-3,5 : 0,0002-0,0004, позволяющие получить грунтовые смеси безопасные в токсикологическом отношении и содержащие химические вещества-загрязнители в пределах установленных нормативов. Впервые установлены закономерности изменения физико-механических характеристик грунтовых смесей на основе бурового шлама при введении в состав стабилизатора грунтов. Показано, что при введении 100-250 мл концентрата стабилизатора грунтов в 1 т бурового шлама улучшаются его деформационные характеристики и может быть получена грунтовая смесь со стабильными показателями прочности.

3. Впервые дана оценка эмиссии растворимых солей из элементов инженерных сооружений, выполненных из грунтовых смесей на основе буровых шламов, в окружающий почвогрунт за счет диффузионных процессов. Доказано, что содержание

солей в грунтовых смесях на уровне не более 20 г/кг не оказывает негативного воздействия на живые организмы почвенной экосистемы.

4. Впервые доказана геоэкологическая устойчивость грунтовых смесей на основе буровых шламов, при использовании которых благодаря оптимальному сочетанию химических, токсикологических, физико-механических характеристик обеспечивается допустимое воздействие на окружающую среду и частичная замена природных строительных материалов.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании: возможности использования буровых шламов в качестве компонента для изготовления грунтовых смесей; требований по химическим, токсикологическим и физико-механическим свойствам грунтовых смесей на основе буровых шламов, обеспечивающих получение геоэкологически устойчивой продукции.

Практическая значимость работы:

- Разработана принципиальная технологическая схема процесса производства геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов. Оценена эколого-экономическая эффективность разработанной технологии, которая составляет 1,5 рубля на 1 рубль капитальных вложений. Предотвращенный ущерб почве как объекту окружающей среды при изготовлении грунтовых смесей из буровых шламов по разработанной технологии составляет около 15 млн. руб. в год. При этом возвращаются в хозяйственный оборот земли на площади более 2 га.

- Разработаны технические условия (ТУ ТГ571100-001-860306391880-2017) на инертный строительный материал и техногенный почвогрунт и технологический регламент на процесс изготовления продукции на основе буровых шламов.

- Результаты исследования использованы: при проведении государственной экологической экспертизы (Приказ Росприроднадзора по Тюменской области от 21.12.2018 № 807-э «Об утверждении заключения экспертной комиссии государственной экологической экспертизы проекта технической документации «Новая технология использования отходов от бурения скважин и добычи нефти и газа с получением «Техногрунта-S», пригодного в качестве инертного строительного материала и техногенного почвогрунта»); при подготовке предложений по проекту Федеральной целевой программы «Ликвидация накопленного экологического ущерба на 2015-2026 годы» в части формирования перечня пилотных проектов по ликвидации накопленного экологического ущерба и экологической реабилитации территорий; при подготовке материалов по пункту 7 части 1 Протокола заседания Правительственной комиссии по вопросам топливно-энергетического комплекса, воспроизводства минерально-сырьевой базы и повышения энергетической эффективности экономики от 25.02.2014 № 1 в части обобщения существующей практики ликвидации и рекультивации шламовых амбаров и рекомендаций по переработке нефтезагрязненных отходов в целях минимизации влияния хозяйственной деятельности на экосистемы.

Методология и методы исследования. Экспериментальные исследования образцов буровых шламов и грунтовых смесей по изучению химических, токсикологических и физико-механических свойств проводились с использованием стандартных методов анализа: спектрофотометрия, гравиметрия, электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, биотестирование. Для обработки результатов исследований использовали математические и статистические методы. Исследования проводились на базе лабораторий кафедры «Химические технологии» ПНИПУ и в аттестованных лабораториях: «Механика грунтов» на базе ПГАТУ, испытательная лаборатория ООО «Центр аналитических исследований и экологического мониторинга».

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследований химических, токсикологических и физических свойств буровых шламов, научное обоснование границ влияния отдельных компонентов на токсичность буровых шламов и оценка возможности использования их для получения грунтовых смесей.

2. Выявленные закономерности получения грунтовых смесей на основе буровых шламов (рецептура, оптимальные соотношения) и научно обоснованные требования к ним по химическим, токсикологическим и физико-механическим характеристикам, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к техногенным грунтам, используемым в строительстве и не оказывающих негативного воздействия на почвенные экосистемы.

3. Результаты исследований свойства полученных грунтовых смесей на основе буровых шламов с оценкой их геоэкологической устойчивости.

4. Технические решения по разработке принципиальной технологической схемы процесса производства геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов с обоснованными экологическим и экономическим эффектами.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Достоверность результатов исследования подтверждается использованием общепринятых методов исследования и обработки результатов. Исследования проведены в объеме, обеспечивающем получение результатов с доверительной вероятностью 0,95.

Результаты работы докладывались и обсуждались на III Международной научной конференции «Современные тенденции технических наук» (Казань, 2014 г.), 10-ой международной научно-практической конференции «Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии» (Москва, 2014 г.). По теме диссертации опубликовано 16 статей, из которых 10 статей опубликованных в журналах, включенных в перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в том числе 2 статьи в журналах, индексируемых в международных реферативных базах: Chemical Abstracts; Scopus; GeoRef.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы из 170 источников, 6 приложений. Диссертация изложена на 183 страницах, содержит 18 рисунка, 37 таблиц.

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам ФГБУ УралНИИ «Экология» д-ру хим. наук, старшему научному сотруднику Зильберману Михаилу

Владимировичу и д-ру техн. наук, профессору Шенфельду Борису Евгеньевичу за ценные научные консультации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе проведен анализ научно-технической и патентной литературы и подготовлен аналитический обзор, в котором освещены вопросы современного состояния проблем загрязнения природных геосистем отходами бурения и утилизации буровых шламов.

Во второй главе дается характеристика исследуемого сырья, а также описание методов исследования и методик выполнения экспериментов. Исследования проводились с использованием методов химического (атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, ИК-спектрометрия, титрование, осаждение), рентгенофазового, микроструктурного анализа и методик определения физико-механических (влажности, влажности на границах текучести и раскатывания, плотности методами режущего кольца, пикнометрическим методом, модуля деформации методом компрессионного сжатия) и токсикологических характеристик (биотестирование с использованием методик определения токсичности водных вытяжек по смертности и изменению плодовитости дафний и по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей). Математическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием специализированного программного обеспечения, с применением основных статистических методов и закономерностей.

Для получения грунтовых смесей, удовлетворяющих экологическим требованиям по допустимому воздействию на окружающую среду и строительным требованиям, предъявляемым к грунтам для создания элементов инженерных сооружений и проведения природоохранных мероприятий, использованы глинистый буровой шлам нефтегазовых месторождений Западной Сибири буровой шлам, песок и стабилизатор грунтов Polybond. Стабилизатор грунта Polybond представляет собой водянистую темно-коричневую жидкость, включающую поверхностно-активные вещества и цитрусовое масло, законсервированные в серной кислоте, обладающую свойствами гидрофобизаторов, суперпластификаторов, полимеров, применяемых в строительстве с целью изменения водно-физических свойств грунтов.

В третьей главе представлены результаты исследования химических, токсикологических и физических характеристик образцов бурового шлама западно-сибирских нефтяных месторождений (таблица 1). Рассмотрены факторы, которые могут оказывать влияние на токсичность буровых шламов. Определены показатели буровых шламов, регулирование которых позволит получить строительный материал с требуемым набором характеристик. Проведена оценка возможности использования буровых шламов для получения грунтовых смесей. Произведен расчет эколого-экономического ущерба.

Выявлено, что основными компонентами, присутствующими во всех образцах буровых шламов, являются диоксид кремния, оксиды алюминия и кальция. Содержание нефтепродуктов в исследованных образцах буровых шламов не превышает 10 г/кг. Содержание тяжелых металлов (никель, цинк, медь, хром и др.) в большинстве образцов буровых шламов не превышает установленных для почв значений ПДК (ОДК). Практически во всех образцах обнаружено присутствие карбоната кальция. Основные различия состава водной вытяжки отдельных образцов заключаются в значениях их минерализации (содержание сухого остатка, хлоридов калия, натрия и кальция) и величины pH. Установлено, что все исследованные образцы относятся к легким текучим глинам с высоким содержанием глинистых и пылеватых частиц и высокой влажностью, превышающей влажность на границе текучести.

Таблица 1 – Обобщенные характеристики исследованных образцов буровых шламов

Наименование показателя	Интервал содержания	Наименование показателя	Интервал содержания
Характеристики твердой фазы		Характеристики водной вытяжки	
Потери при прокаливании, %	3,75-19,5	pH, ед. pH	7,61-10,53
Оксид кремния, %	43,8-76,8	Хлориды, мг/кг	91,5-41988
Оксид алюминия, %	8,28-16,5	Сульфаты, мг/кг	32-3345
Оксид кальция, %	1,51-9,21	Гидрокарбонаты, мг/кг	366-1647
Оксид магния, %	1,23-2,27	Карбонаты, мг/кг	132-660
Оксид натрия, %	2,22-4,31	Кальций, мг/кг	23,7-1038
Оксид калия, %	1,43-5,34	Магний, мг/кг	7,25-37
Медь, мг/кг	17,6-50,8	Калий, мг/кг	9,19-32010
Никель, мг/кг	21,5-55,2	Натрий, мг/кг	258,5-5273
Хром, мг/кг	51,7-105,6	Сухой остаток, мг/кг	7600-104600
Марганец, мг/кг	320-1201	Физические характеристики	
Цинк, мг/кг	48,4-161,0	Влажность, %	37,3-88,1
Нефтепродукты, мг/кг	182,4-8610	Влажность на границе текучести, %	28,2-45,7
Гранулометрический состав		Влажность на границе раскатывания, %	8,7-21
Песчаные частицы, %	20,01-51,57	Плотность грунта, г/см ³	1,49-1,84
Пылеватые частицы, %	12,70-47,99	Плотность частиц грунта, г/см ³	2,71-2,73
Глинистые частицы, %	26,64-44,56	Плотность сухого грунта, г/см ³	0,851-1,34
Биотестирование водной вытяжки			
Класс опасности	IV-V		

С использованием расчетных и экспериментальных данных по определению класса опасности проведена оценка вклада отдельных компонентов состава буровых шламов в общий показатель степени опасности. По результатам выполненных расчетов и биотестирования образцов с использованием тест-объектов (низшие ракообразные *Daphnia magna* Straus и зеленые протококковые водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bred.)

установлено, что V класс опасности буровых шламов для окружающей среды сохраняется до содержания сухого остатка в водной вытяжке 33,5 г/кг и нефтепродуктов 7,08 г/кг.

Оценена экологическая нагрузка на компоненты окружающей среды от воздействия буровых шламов. Оценка ущерба, нанесенного почве, как объекту окружающей среды, показала, что стоимостный ущерб от размещения 1 м³ бурового шлама составляет 2000 рублей, а ежегодный эколого-экономический ущерб почве при бурении скважин в Западной Сибири составляет более 2,5 млрд. рублей. При этом с учетом размещения буровых шламов в шламовых амбарах или на полигонах происходит деградация почв на площади более 350 га.

Выполненная оценка возможности использования бурового шлама в строительстве показала, что вследствие значительного содержания глинистых частиц и солей, высоких значений pH, высокой влажности непосредственное использование их в качестве грунта для сооружения элементов земляного полотна, обустройства площадочных объектов нефтегазового комплекса, укрытия и изоляции отходов невозможно. Однако, наличие в составе буровых шламов породообразующих компонентов, незначительное количество тяжелых металлов, нефтепродуктов дает основание предположить, что в результате разработки технологических решений и требований, накладываемых на грунтовые смеси, можно получить продукцию с необходимым набором характеристик.

Геоэкологическая устойчивость продукции на основе бурового шлама может быть определена как обеспечение экологической и конструктивной устойчивости посредством соблюдения требований, обеспечивающих допустимое воздействие на окружающую среду, и требований, предъявляемых к техногенным грунтам для создания элементов инженерных сооружений и проведения природоохранных мероприятий.

В четвертой главе представлены результаты лабораторных и модельных экспериментов, на основании которых предложены научно обоснованные требования к грунтовым смесям по химическим, токсикологическим и физико-механическим свойствам и оптимальные составы грунтовых смесей на основе буровых шламов.

Экологическая устойчивость грунтовых смесей на основе буровых шламов обеспечивается соблюдением требований по содержанию растворимых солей, нефтепродуктов, тяжелых металлов и pH.

В качестве максимально допустимого содержания нефтепродуктов в грунтовой смеси принят норматив остаточного содержания нефтепродуктов в почвах ХМАО-Югры для земель строительного использования 5 г/кг, что на 30 % ниже экспериментально определенного максимального значения для V класса опасности.

Поскольку содержание тяжелых металлов в образцах буровых шламов не превышает допустимых значений, для грунтовых смесей на основе буровых шламов при любом соотношении буровой шлам : песок будут соблюдаться требования допустимого содержания тяжелых металлов в почвах.

С целью возможности регулирования pH водной вытяжки изучено влияние добавок стабилизатора грунтов Polybond (рисунок 1). Проведенные исследования показали, что

зависимость pH от дозировки стабилизатора в интервале pH от 8 до 6 во всех случаях является слабой. После нейтрализации растворимых щелочных агентов стабилизатор начинает реагировать с компонентами твердой фазы, проявляющей буферные свойства. Выявлено, что происходит химическая реакция взаимодействия стабилизатора, содержащего в своем составе серную кислоту, с карбонатом кальция, который присутствует в буровых шламах в достаточно больших количествах, с образованием кристаллов гипса (рисунок 2). Рекомендованные значения интервала pH = 6,0-8,8.

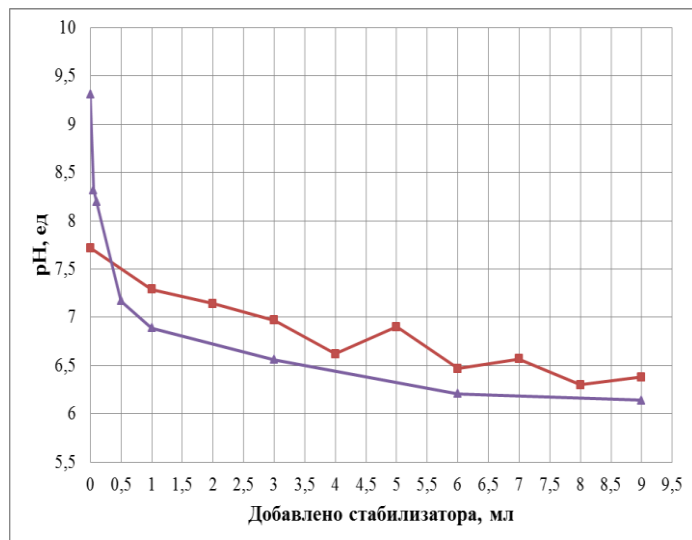


Рисунок 1 – Образцы бурового шлама (№№ 3, 6) после 48 часов контакта с раствором стабилизатора грунтов

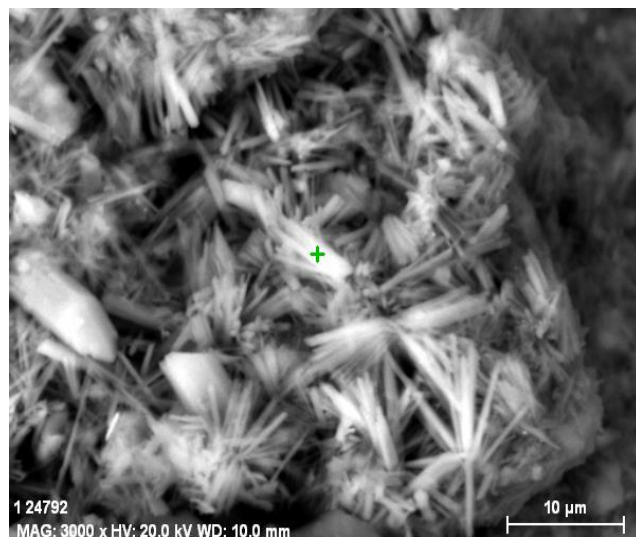


Рисунок 2 – Кристаллы гипса на поверхности бурового шлама, обработанного стабилизатором грунтов

Для оценки загрязнения растворимыми солями почвенного покрова при использовании продукции на основе буровых шламов проведена оценка эмиссии загрязняющих веществ из полотна инженерного сооружения в окружающий грунт в горизонтальном направлении за счет диффузионных процессов. В расчетах, в качестве допустимого содержания солей в почвенном покрове, приняли значение 10 г/кг, что, согласно литературных источников соответствует зоне экологического риска.

Задача эмиссии растворимых солей в горизонтальном направлении имеет аналитическое решение, определяющее концентрацию солей в зависимости от расстояния от оси полотна инженерного сооружения и времени (1):

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \cdot \left(\operatorname{erf} \left(\frac{h+x}{2 \cdot \sqrt{Dt}} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{h-x}{2 \cdot \sqrt{Dt}} \right) \right), \quad (1)$$

где

C_0 – начальная концентрация солей,

h – расстояние от оси до границы инженерного сооружения,

x – расстояние от оси инженерного сооружения,

D – коэффициент диффузии,

t – время,

erf – функция ошибок, определяемая выражением: $\operatorname{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^y e^{-z^2} dz$.

Решение уравнения диффузии показало, что загрязненная солями зона за пределами полотна возникает при двукратном превышении содержания солей в грунтовой смеси по отношению к допустимому содержанию. Максимальная ширина загрязненной зоны и средняя концентрация солей в почвах возрастают с увеличением кратности превышения. При этом даже при 10-кратном превышении содержания солей в грунтовой смеси максимальная ширина загрязненной зоны не превышает 20 м, а среднее содержание солей в загрязненной зоне за все время ее существования не превышает допустимого более чем в 1,4 раза.

Проведенное моделирование и оценка эмиссии растворимых солей из полотна инженерного сооружения, выполненного из грунтовых смесей на основе буровых шламов, а также исследования влияния грунтовых смесей с различным солесодержанием на живые организмы в экспериментах по биотестированию показали, что содержание солей в грунтовой смеси менее 20 г/кг не оказывает негативного воздействия на почвенную экосистему и не снижает ее экологическую устойчивость к техногенному воздействию.

Конструктивная устойчивость грунтовых смесей на основе буровых шламов обеспечивается соблюдением требований, предъявляемых к материалам при использовании их для создания элементов инженерных сооружений и при проведении природоохранных мероприятий.

Для определения допустимой доли бурового шлама в грунтовой смеси проведены модельные расчеты разбавления бурового шлама песком. Расчеты показали, что соотношение буровой шлам : песок в зависимости от содержания глинистых частиц в шламе (26-45 %) должно составлять от 1 : 0,7 до 1 : 3,5.

Влажность грунтовых смесей на основе буровых шламов должна соответствовать требованиям, предъявляемым к техногенным грунтам для создания элементов инженерных сооружений и проведения природоохранных мероприятий.

Немаловажными параметрами для обеспечения конструктивной устойчивости грунтовых смесей на основе буровых шламов являются прочностные характеристики (модуль деформации).

С целью определения оптимального соотношения стабилизатора грунтов в смеси бурового шлама и песка, при котором может быть получена грунтовая смесь со стабильными показателями прочности, проведены эксперименты (рисунок 3) по введению в буровой шлам различных дозировок стабилизатора

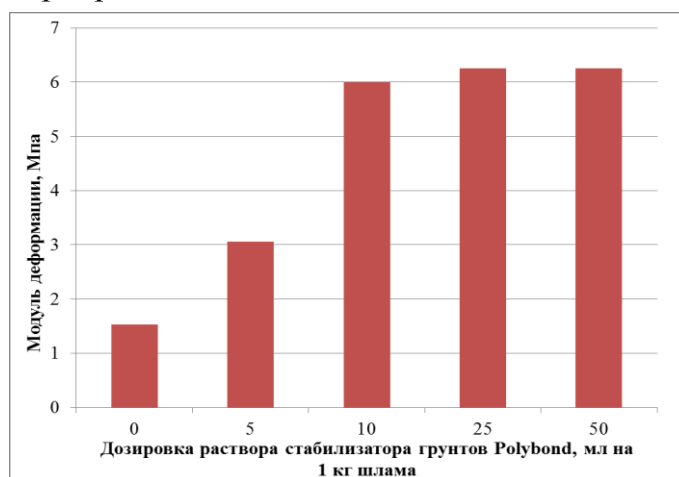


Рисунок 3 – Исследование деформационных характеристик бурового шлама при различных дозировках стабилизатора грунтов

грунтов Polybond. Выявлено, что рост прочностных характеристик происходит с течением времени и связан с изменением гранулометрического состава за счет поверхностно-

активных веществ, входящих в состав стабилизатора и способствующих налипанию мелких пылеватых частиц на крупные и возможным образованием за счет наличия серной кислоты кристаллов гипса, которые связывают частицы между собой.

Требования, обеспечивающие получение геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Граничные условия параметров грунтовых смесей на основе буровых шламов

№ п/п	Параметр	Ограничение
1	Доля глинистых частиц	< 15 %
2	Доля пылеватых частиц	< 35 %
3	Доля песчаных частиц	> 20 %
4	Тип грунта	Суглинок или супесь легкая
5	Влажность	не ниже требований, предъявляемых к техногенным грунтам для создания элементов инженерных сооружений и проведения природоохранных мероприятий
6	Модуль деформации	не ниже требований, предъявляемых к техногенным грунтам, используемым в качестве грунтов для создания элементов инженерных сооружений и проведения природоохранных мероприятий
7	Содержание сухого остатка в водной вытяжке	< 20 г/кг
8	Содержание нефтепродуктов	< 5 г/кг
9	рН водной вытяжки	6,0-8,8 ед. рН
10	Содержание тяжелых металлов	< ПДК (ОДК) в почве
11	Токсичность	Не оказывает острого токсического действия на тест-объекты

Для достижения указанных требований, предъявляемым к грунтовым смесям на основе буровых шламов, установлены следующие оптимальные соотношения исходных компонентов – буровой шлам : песок : стабилизатор грунтов (концентрат) = 1 : 0,7-3,5 : 0,0002-0,0004 (в объёмных долях).

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований по оценке геоэкологической устойчивости грунтовых смесей с использованием предложенных требований и оптимального состава и технические решения по разработке принципиальной технологической схемы производства геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов.

Для оценки геоэкологической устойчивости грунтовых смесей выполнена проверка адекватности предложенных требований и оптимального состава.

На основании проведенных исследований грунтовой смеси оптимального состава на основе бурового шлама IV класса опасности (таблица 3) установлено, что полученная

смесь с использованием предложенных требований геоэкологически устойчива. Грунтовые смеси будут экологически безопасны, соответствовать требуемым физико-механическим показателям, обладать необходимыми прочностными свойствами, что позволяет использовать их в качестве компонента для частичной замены природных строительных материалов.

Таблица 3 – Результаты оценки геоэкологической устойчивости грунтовой смеси

Наименование показателя	Грунтовая смесь оптимального состава шлам:песок:стабилизатор (раствор) – 1 : 0.80 : 0,045
рН	8,7 ед. рН
Нефтепродукты	520 мг/кг
Сухой остаток (характеристика содержания растворимых солей)	350 мг/кг
Тяжелые металлы (подвижная форма)	
Медь	0,87 мг/кг (ПДК =3,0 мг/кг)
Цинк	2,6 мг/кг (ПДК =23,0 мг/кг)
Свинец	1,4 мг/кг (ПДК =6,0 мг/кг)
Кобальт	0,89 мг/кг (ПДК =5,0 мг/кг)
Хром	0,82 мг/кг (ПДК =6,0 мг/кг)
Марганец	90 мг/кг (ПДК =100,0 мг/кг)
Никель	2,6 мг/кг (ПДК =4,0 мг/кг)
Токсичность	Не оказывает острого токсического действия на тест-объект <i>Daphnia magna</i> Straus
Влажность	8,7 %
Содержание глинистых частиц	8,73 %
Содержание пылеватых частиц	24,52 %
Содержание песчаных частиц	66,73 %
Тип грунта	суглинок тяжелый твердый песчанистый
Модуль деформации по результатам компрессионных исследований	6,5 МПа

Для обеспечения требуемых параметров грунтовых смесей предложены следующие технологические операции: дозирование компонентов (бурового шлама, песка, стабилизатора), смешение бурового шлама и песка, сушка смеси, очистка отходящих газов, обработка смеси стабилизатором грунтов.

Предложенные технические решения использованы при разработке технических условий ТУ ТГ571100-001-860306391880-2017 и технологического регламента на процесс изготовления инертного строительного материала и техногенного почвогрунта. Выполнены математическое описание процесса производства грунтовой смеси и расчет его основных параметров. Проведена оценка воздействия на окружающую среду производства грунтовой смеси на основе бурового шлама. Установлено, что в период производства грунтовых смесей на основе буровых шламов по разработанной технологии воздействие на подземные поверхностные воды, атмосферу, почву, растительный и

животный мир будет допустимым. Получено положительное заключение государственной экологической экспертизы.

Разработано технико-экономическое обоснование строительства производства грунтовой смеси на основе бурового шлама мощностью 40000 т/год с капитальными вложениями в размере 39762,345 тыс. рублей и прибылью 7600,0 тыс. рублей. Эколого-экономическая эффективность технологии составит 1,5 рубля на 1 рубль капитальных вложений. Предотвращенный ущерб почве как объекту окружающей среды при изготовлении грунтовых смесей из буровых шламов по разработанной технологии составляет около 15 млн. руб. в год. При этом возвращаются в хозяйственный оборот земли на площади более 2 га.

Заключение

1. На основании исследований физико-химических и токсикологических свойств буровых шламов выявлены основные показатели, влияющие на выживаемость тест-объектов (*Daphnia magna* Straus *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bred) и обоснована возможность использования буровых шламов в качестве одного из компонентов строительных материалов. Установлено, что микроэлементный состав буровых шламов характеризуется концентрациями в пределах допустимых уровней. Показано, что буровые шламы не оказывают острого токсического действия на живые организмы до содержания растворимых солей (по сухому остатку) – 33,5 г/кг; нефтепродуктов – 7,08 г/кг. Оценена экологическая нагрузка на компоненты окружающей среды от воздействия буровых шламов. Оценка ущерба, нанесенного почве, как объекту окружающей среды, показала, что стоимостный ущерб от размещения 1 м³ бурового шлама составляет 2000 рублей.

2. Определены и научно обоснованы требования, предъявляемые к грунтовым смесям на основе буровых шламов по химическим, токсикологическим, физико-механическим характеристикам, позволяющие получить экологически безопасный материал со стабильными показателями прочности. Обоснована возможность использования стабилизатора грунтов в качестве компонента грунтовой смеси для регулировки физико-механических свойств. В зависимости от содержания глинистых частиц в буровых шламах обоснован оптимальный состав грунтовой смеси в соотношении бурового шлама, песка и стабилизатора грунтов – 1 : 0,7-3,5 : 0,0002-0,0004 (в объёмных долях), позволяющий получить геоэкологически устойчивый материал.

3. Модельные эксперименты показали, что эмиссии растворимых солей из полотна инженерного сооружения в почвогрунт незначительна. Доказано, что с точки зрения устойчивости экосистемы к техногенному воздействию, негативное влияние на почвенную экосистему и живые организмы за счет диффузионных процессов начнет проявляться при содержании солей в грунтовой смеси более 20 г/кг.

4. Оценена геоэкологическая устойчивость грунтовых смесей на основе буровых шламов. При использовании этих смесей их физико-механические характеристики позволят обеспечить конструктивную устойчивость элементов инженерных сооружений и

сооружений в рамках проведения природоохранных мероприятий, а загрязнение компонентов окружающей среды будет находиться в допустимых пределах.

5. Разработана принципиальная технологическая схема процесса производства геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов. Получение геоэкологически устойчивых грунтовых смесей по разработанной технологии позволяет улучшить экологическую обстановку в районах добычи нефти и газа. Эколого-экономическая эффективность технологии составит 1,5 рубля на 1 рубль капитальных вложений. Предотвращенный ущерб почве как объекту окружающей среды при изготовлении грунтовых смесей из буровых шламов по разработанной технологии составляет около 15 млн. руб. в год. При этом возвращаются в хозяйственный оборот земли на площади более 2 га.

Список работ, опубликованных автором

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях в ведущих рецензируемых научных изданиях и в изданиях, приравненных к ним:

1. Пичугин, Е.А. К вопросу различия буровых и нефтяных шламов / Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд // Экология и промышленность России. – 2017. – № 7. – С. 14-19 (**Chemical Abstracts, GeoRef, Scopus**).
2. Пичугин, Е.А. Оценка буровых шламов по степени пригодности их к стабилизации с использованием стабилизаторов грунтов, применяемых в дорожном строительстве / Е.А. Пичугин // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2019. – № 4. – С. 14-18 (**Chemical Abstracts**).
3. Пичугин, Е.А. Оценка влияния состава буровых шламов на класс опасности для окружающей природной среды / М.В. Зильберман, Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд, М.В. Черепанов, Н.Б. Ходяшев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 2. – С. 194-202.
4. Пичугин, Е.А. Оценка требований к буровым шламам, используемым для изготовления строительных дорожных смесей / М.В. Зильберман, Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. – № 7. – С. 14-17.
5. Пичугин, Е.А. Требования, предъявляемые к шламо-песчаным смесям на основе буровых шламов для их применения в качестве экологически чистого строительного дорожного материала / М.В. Зильберман, Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд, Г.А. Козлова, В.Л. Долганов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 6. – С. 29-34.
6. Пичугин, Е.А. Система управления нефтесодержащими отходами с использованием экологически безопасной технологии их утилизации / Е.А. Пичугин // Экология и промышленность России. – 2014. – № 11. – С. 32-35.

7. Пичугин, Е.А. Оценка распространения загрязняющих веществ в результате использования дорожно-строительных материалов на основе буровых шламов при создании оснований дорог / М.В. Зильберман, Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд, М.В. Черепанов // Экология урбанизированных территорий. – 2014. – № 3. – С. 70-75.

8. Пичугин, Е.А. Оценка ассимиляционной емкости экосистемы при размещении в ней дорожно-строительных материалов на основе бурового шлама / Е.А. Пичугин, М.В. Зильберман, Б.Е. Шенфельд // Проблемы региональной экологии. – 2014. – № 4. – С. 242-246.

9. Пичугин, Е.А. Оценка физических, прочностных и деформационных характеристик смесей на основе буровых шламов / Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд // Экология и промышленность России. – 2015. – Т.19. № 12. – С. 20-24.

10. Пичугин, Е.А. Комплексная оценка экологичности и качества технологий сооружения земляного полотна автодорог с использованием шламopесчаной смеси – продукта утилизации отходов / Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд, А.А. Кетов // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 2. –С. 86-97.

Прочие работы по теме диссертации:

11. Пичугин, Е.А. Оценка объемов отходов бурения в Западной Сибири и подходы к их утилизации / Е.А. Пичугин // Молодой ученый. – 2012. – № 8(43). – С. 58-61.

12. Пичугин, Е.А. Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду / Е.А. Пичугин // Молодой ученый. – 2013. – № 9(56). – С. 122-123.

13. Пичугин, Е.А. Свойства буровых шламов и возможные направления их утилизации / М.В. Зильберман, Е.А. Пичугин, М.В. Черепанов, Б.Е. Шенфельд, Г.А. Козлова, В.Л. // Башкирский экологический вестник. – 2013. – № 2(35). – С. 10-14.

14. Пичугин, Е.А. Технология утилизации буровых шламов с получением экологически чистого дорожно-строительного материала / Е.А. Пичугин // Молодой ученый. – 2013. – № 9(56). – С. 124-126.

15. Пичугин, Е.А. Эколого-экономический анализ предотвращенного ущерба почве как объекту окружающей среды при утилизации буровых шламов / Е.А. Пичугин // Молодой ученый. – 2014. – № 7(73). – С. 84-87.

16. Пичугин, Е.А. Оценка влияния компонентов, входящих в состав буровых шламов, на почву ХМАО-Югры / Е.А. Пичугин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2015. – № 2. – С. 75-83.