

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

На правах рукописи

ПИЧУГИН ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

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

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (строительство и ЖКХ)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Рудакова Лариса Васильевна

Пермь – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ГЕОСИСТЕМ ОТХОДАМИ БУРЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ БУРОВЫХ ШЛАМОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДОРОЖНО- СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	12
1.1. Влияние отходов бурения на природные геосистемы.....	12
1.2. Характеристика способов утилизации буровых шламов.....	17
1.3. Утилизация буровых шламов в производстве дорожно-строительных материалов	25
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 1.....	27
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ.....	29
2.1. Объекты исследования, характеристика применяемых материалов.....	29
2.2. Методики проведения исследований.....	31
2.2.1. Методики определения количественного химического состава....	31
2.2.2. Методика рентгенофазового анализа.....	33
2.2.3. Методика сканирующей (растровой) электронной микроскопии.....	34
2.2.4. Методики определение класса опасности отходов расчетным методом	35
2.2.5. Методики определения класса опасности и токсичности отходов (биотестирование).....	36
2.2.6. Методика определения гранулометрического состава.....	37
2.2.7. Методики определения физических характеристик.....	37
2.2.8. Методика определения деформационных характеристик.....	39
2.2.9. Статистическая обработка результатов исследования.....	39
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ БУРОВОГО ШЛАМА И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КЛАСС ОПАСНОСТИ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	42

3.1. Исследование химического состава твердой фазы и водной вытяжки образцов бурового шлама.....	42
3.2. Исследование фазового состава образцов бурового шлама.....	49
3.3. Исследование физико-механических характеристик буровых шламов.....	52
3.4. Экспериментальное (биотестирование) и расчетное определение класса опасности образцов бурового шлама.....	55
3.4.1. Результаты определения класса опасности образцов бурового шлама расчетным методом.....	55
3.4.2. Результаты определения класса опасности образцов бурового шлама экспериментальным методом (биотестирование).....	60
3.5. Эколого-экономическая оценка ущерба, причиненного почвам как объекту окружающей среды буровыми шламами.....	62
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 3.....	66
ГЛАВА 4 – НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОЛУЧЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВЫХ ГРУНТОВЫХ СМЕСЕЙ	69
4.1 Технические решения и ограничения, обеспечивающие конструктивную устойчивость.....	69
4.2 Технические решения и ограничения, обеспечивающие экологическую устойчивость.....	84
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 4.....	107
ГЛАВА 5 – ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ БУРОВЫХ ШЛАМОВ. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ШЛАМОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ГРУНТОВЫХ СМЕСЕЙ	109
5.1. Оценка геоэкологической устойчивости грунтовых смесей на основе буровых шламов с использованием научно обоснованных требований.....	109

5.2. Описание технологического процесса производства грунтовых смесей на основе буровых шламов.....	111
5.3. Оценка воздействия на окружающую среду технологии производства грунтовых смесей на основе буровых шламов.....	118
5.4. Математическое описание и расчет материального и теплового балансов процесса получения грунтовых смесей.....	128
5.5. Эколого-экономическая оценка предотвращенного ущерба почвам, как объекту окружающей среды, при утилизации буровых шламов с получением грунтовых смесей.....	134
ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 5.....	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	137
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	140
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	161
Приложение А. Акт внедрения технологии утилизации буровых шламов с получением дорожно-строительного материала.....	162
Приложение Б. Акт использования результатов диссертационной работы.....	163
Приложение В. Заключение экспертной комиссии государственной экологической экспертизы.....	165
Приложение Г. Алгоритм расчета материального и теплового балансов получения грунтовых смесей на основе буровых шламов.....	166
Приложение Д. Расчетные характеристики процесса получения грунтовых смесей на основе буровых шламов	168
Приложение Е. Расчет капитальных затрат на сооружение и эксплуатацию установки утилизации буровых шламов с получением грунтовых смесей.....	174

ВВЕДЕНИЕ

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.

В настоящее время в строительной отрасли, в связи с ограниченностью природных дорожно-строительных материалов (песок, щебень), начинают применяться вторичные сырьевые ресурсы – отходы производства. С 2016 года в Российской Федерации действует Стратегия развития промышленности строительных материалов, в которой на государственном уровне закреплена поддержка производителей строительных материалов, участвующих в утилизации промышленных отходов [1].

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 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.

ГЛАВА 1. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ГЕОСИСТЕМ ОТХОДАМИ БУРЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ БУРОВЫХ ШЛАМОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДОРОЖНО- СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С целью оценки современного состояния проблем загрязнения природных геосистем отходами бурения и утилизации буровых шламов проведен анализ научно-технической и патентной литературы.

1.1. Влияние отходов бурения на природные геосистемы

Производственная деятельность предприятий, осуществляющих добычу и переработку нефти и газа, 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 отходы представлены следующими основными разновидностями: буровые сточные воды, отработанные буровые растворы, буровые шламы [2].

При бурении скважин на забое образуется загрязненная выбуренная порода (буровой шлам), которая при гидротранспорте промывочной жидкостью доставляется на поверхность. Отделение промывочной жидкости от бурового шлама осуществляется на средствах очистки циркуляционной системы буровой установки [3].

В условиях Западной Сибири, при бурении скважин, наиболее используемым типом промывочных жидкостей, являются глинистые буровые растворы на водной и полимерной основах. Для придания буровым растворам необходимых свойств используют специальные химические реагенты [4].

Буровой раствор – сложная многокомпонентная дисперсная система, применяемая для промывки скважин в процессе бурения [5].

Для оптимизации характеристик буровых растворов используют следующие химические добавки и реагенты [6]: понизители водоотдачи (углещелочной

реагент, торфощелочной реагент, карбоксиметилцеллюлоза и др.); понизители вязкости (сульфит-спиртовая барда, феррохромлигносульфонат); ингибиторы гидратации глинистых пород (жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$), сульфат кальция (CaCO_3), хлориды натрия и калия (NaCl , KCl) и др.); регуляторы щелочности (гидроксид натрия (NaOH), гидроксид калия (KOH); смазочные добавки (СМАД – 1, сульфонол, нефть, графит); эмульгаторы; термостабилизирующие реагенты (хроматы и бихроматы щелочных металлов); пенообразователи (вспениватели); пеногасители; реагенты (ПАВ), повышающие буримость горных пород; ингибиторы коррозии бурильных труб; утяжелители (барит (BaSO_4), гематит Fe_2O_3 и магнетит (Fe_3O_4)).

В Ханты-Мансийском автономном округе - Югре, где располагаются 70 % всех нефтедобывающих скважин Российской Федерации, в 2017 году было пробурено 18,39 млн. м при непрерывном ежегодном росте количества новых скважин и проходки в эксплуатационном бурении (табл. 1.1) [7]. При этом в 2017 году на территории Российской Федерации количество новых нефтяных эксплуатационных скважин составило 8184 единицы, с величиной проходки при бурении 27,6 млн. м, что соответствует средней глубине скважины 3372 м [8].

Таблица 1.1 – Динамика изменения технологических и природоохранных показателей

Показатели	Эксплуатационное бурение, тыс. м	Ввод новых скважин, шт.	Количество рекультивированных шламовых амбаров, шт.	Количество нереккультивированных шламовых амбаров, шт.
2004 г.	5800,0	2006	722	1938
2005 г.	7386,2	2423	308	1637
2006 г.	8754,9	2902	513	1909
2007 г.	10178,1	3311	243	1694
2008 г.	10676,5	3488	214	1831
2009 г.	10869,5	3456	187	1842
2010 г.	12035,4	3769	314	1673
2011 г.	12940,7	3976	359	1630
2012 г.	13688,0	3988	296	1515
2013 г.	14047,3	4040	667	1165
2014 г.	12546,1	3546	382	733
2015 г.	13499,5	3551	255	501
2016 г.	15773,0	4190	320	223
2017 г.	18390,4	4800	89	150

Согласно [9] для условий Западной Сибири в среднем образуется 0,4 м³ отходов бурения на 1 м проходки.

Таким образом, только в 2017 году на территории ХМАО-Югры в среднем образовалось более 7 млн. м³ отходов бурения (в том числе более 1,2 млн. м³ буровых шламов), оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Источники и факторы техногенного воздействия на окружающую среду при бурении нефтегазодобывающих скважин изучены достаточно хорошо [2, 10].

Наиболее опасным и постоянным (долговременным) источником загрязнения атмосферы, почвы, подземных и поверхностных вод является шламовый амбар, который представляет собой природоохранное сооружение, предназначенное для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов бурения нефтяных и газовых скважин [11].

Одной из основных причин загрязнения буровыми отходами гидро- и литосферы является недостаточная эффективность мероприятий по гидроизоляции шламовых амбаров [12].

Шламовые амбары с токсичным буровым шламом выводят из оборота огромные площади земель. При строительстве амбаров вырубаются деревья, кустарники, уничтожается надпочвенный покров, происходит отчуждение земель [13].

По состоянию на 2017 год количество нерекультивированных шламовых амбаров с токсичными отходами бурения (табл. 1.1) незначительно и снижается из года в год. При этом новых шламовых амбаров для размещения буровых отходов, в связи с возрастающими темпами проходки в эксплуатационном бурении, не наблюдается. Данный факт свидетельствует о том, что буровые компании переходят на технологии безамбарного бурения с дальнейшей утилизацией образуемых буровых шламов или размещением их на полигонах.

Ежегодное увеличение объема токсичных отходов бурения (в том числе буровых шламов) приводит к загрязнению компонентов окружающей среды веществами, входящими в состав буровых шламов.

Исследования загрязнения природных геосистем отходами бурения на стадии строительства и эксплуатации нефтегазодобывающих скважин представлены в работах 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.

Воздействие бурового шлама на атмосферу происходит путем испарения легких фракций нефтепродуктов с поверхности шламового амбара. Воздействие бурового шлама на подземные и поверхностные воды обусловлено, в основном, ненормативным обустройством шламового амбара (нарушение либо отсутствие гидроизоляции амбара, отсутствие обваловок, водоотводных канав и т.п.), а также при контакте бурового шлама, расположенного на территории буровой вне шламового амбара, с атмосферными осадками, подтоплении территории буровой в период интенсивного снеготаяния. При нарушении гидроизоляции шламового амбара снижается продуктивность почвенного покрова, происходит загрязнение подземных водоносных горизонтов и, как следствие, загрязнение подземных и поверхностных вод [13].

Исследования, проведенные рядом ученых [14, 15], показали, что около 20 % общего объема жидких отходов бурения попадает в объекты лито- и гидросферы. С использованием индикаторных методов доказано наличие гидродинамической связи между шламовыми амбарами и пунктами контроля грунтовых вод.

В результате воздействия атмосферных осадков и снеготаяния происходит переход растворимых солей из бурового шлама в водные растворы с миграцией этих веществ в водоносные горизонты [13].

В результате загрязнения нефтепродуктами поверхностных и подземных вод происходит угнетение и изменение состава биоценозов, гибель нерестилищ, заморы рыбы [16].

Влияние отходов бурения на почвогрунт и растительный покров нашло отражение в ряде работ [10, 12, 17, 18]. Отмечено значительное воздействие

буровых отходов на растительный покров. Растительность на загрязненных буровыми отходами участках даже по истечении 15 лет восстанавливается только наполовину. Очень редкий растительный покров ведет к расчленению рельефа, заболачиванию территории. Процесс загрязнения почвогрунтов отходами бурения разделяется на три стадии: образование поверхностного ареала загрязнения с проникновением веществ-загрязнителей, входящих в отходы бурения, в грунтовую среду; вертикальная инфильтрация жидких компонентов; боковая миграция загрязнителей. Из-за наличия в составе буровых отходов растворимых солей, нефтепродуктов, тяжелых металлов на загрязненных участках развиваются процессы засоления и формируется высокая фитотоксичность почв.

Комплексная геоэкологическая оценка воздействия буровых шламов на атмосферу, литосферу и гидросферу исследовалась учеными [12, 19].

Исследования геохимической подвижности экотоксикантов буровых шламов, проведенные Некрасовой И.Л. [12], показали, что при взаимодействии бурового шлама с водой происходит выщелачивание минеральных и органических соединений с разрушением органо-минеральных комплексов с перестройкой структуры миграционного потока загрязнителей.

Система геоэкологической оценки территорий, нарушенных шламовыми амбарами, содержащими буровые отходы, предложенная Мартыненко Е.Г. [19], позволяет обосновывать возможность освоения нарушенных территорий в качестве производств грунтозамещающих материалов.

Влияние компонентов бурового раствора и бурового шлама на отдельные виды морских и пресноводных гидробионтов изучалось рядом ученых [20-22]. Установлено, что наиболее токсичными для гидробионтов являлись баритовый утяжелитель, каустическая сода, бихромат калия и другие реагенты, применяемые для бурения скважин.

В литературе [23] изучено влияние тонкодисперсной (пелитовой) фракции бурового шлама, загрязненного хроматами, на живые организмы (дафнии; зоопланктон – коловратки *Brachionus plicatilis*, рачки *Artemia salina*; эмбрионов и личинок рыб (радужницы трехполосой); планктонные морские организмы

(морские гетеротрофные бактерии); личинки хирономид). Установлено, что допустимая концентрация пелитовых частиц буровых шламов, при которой отмечается выживаемость тест-объектов, для дафний и зоопланктона составляет 0,25 мг/л, для эмбрионов, личинок рыб, планктонных морских организмов и личинок хирономид составляет 0,1 мг/л.

Исследование токсичности буровых шламов различных сроков хранения по отношению к тест-объектам (дафнии, высшая водная растительность – валлиснерий, высшие растения – лук) проведенные Макаренко И.А. [24], показали, что буровые шламы сохраняют свои токсические свойства на протяжении 7 лет, после чего токсичность резко снижается.

Малышкиным М.М. [25] проведены исследования влияния буровых шламов на микроорганизмы и гидробионты (дафнии – *Daphnia magna* Straus, аквариумные рыбы – *Brachydanio rerio*, хирономиды – *Chironomus dorsalis* Meigen). Установлено, что ряд буровых шламов обладают малой токсичностью ввиду содержания в составе буровых шламов карбоната калия.

В зарубежной литературы известны исследования влияния буровых отходов (в том числе буровых шламов) на сообщества донных бактерий (отряды Clostridiales и Desulfuromonadales и класс Mollicutes) [26], на холодноводные кораллы *Lophelia pertusa*. *L. pertusa* [27], на дождевых червей *Eisenia fetida* [28], на редьку, кукурузу, овес, люцерну и ячмень [29], на рыб *Pagrus auratus* [30].

При этом исследований, посвященных оценке степени опасности компонентов, входящих в буровые шламы, на класс опасности отходов с установлением граничных условий их влияния не проводилось.

1.2. Характеристика способов утилизации буровых шламов

С целью минимизации или ликвидации техногенного воздействия на геосферные оболочки используются различные методы, технические, технологические средства, с помощью которых обеспечивается их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды.

Сбор, обезвреживание, захоронение и утилизация буровых шламов является одним из известных геоэкологических мероприятий, обеспечивающих защиту, сохранение и восстановление геосферных оболочек Земли.

При утилизации буровых шламов важное значение имеет их систематизация по определенным признакам. Согласно классификации Булатова А.И. [4] отходы могут быть систематизированы по агрегатному состоянию как жидкие (текучие – содержание твердой фазы до 35 %), полужидкие (пастообразные – содержание твердой фазы от 35 до 85 %), твердые (содержание твердой фазы более 85 %). По компонентному составу буровые шламы следует систематизировать как глинистые (содержащие глины, аргиллиты, мергели), карбонатные (содержащие известняки, доломиты) и галоидно-сульфатные (содержащие каменную соль, гипс, ангидрид).

Все известные способы, технологии утилизации буровых шламов можно разделить по методам переработки на следующие группы (классификационные признаки) (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Характеристика основных методов утилизации буровых шламов [31, 32]

Основной классификационный признак	Методы утилизации и переработки	Разновидность метода
Термический	Сжигание	Сжигание в печах различной конструкции
	Сушка, прогрев	Сушка, прогрев в печах различной конструкции
	Высокотемпературный обжиг	Высокотемпературный обжиг в печах различной конструкции
Физические	Захоронение	Захоронение в специально отведенных местах, в глубоководные подземные горизонты, в земляные амбары, шламохранилища и т.д.
	Закачка	Закачка в глубоководные подземные горизонты, в образованные гидроразрывом пласта трещины
Химические и физико-химические	Отверждение	Отверждение с применением неорганических (цемент, жидкое стекло, окись алюминия и др.) и органических (фенолформальдегидные смолы и др.) добавок с получением отвержденной смеси
	Гидрофобизация	Гидрофобизация поверхности шлама с помощью органических или растворимых высокомолекулярных соединений (сополимер малеиновый ангидрид с акриламидом, сополимер малеиновый ангидрид со стиролом) с последующим действием электролитов
	Реагентное капсулирование	Перемешивание бурового шлама с реагентом капсулирования
	Применение специально	Смешение бурового шлама с торфом, песком, навозом, гипсом, портландцементом, известью, карбамидными и формальдегидными смолами и др.

Основной классификационный признак	Методы утилизации и переработки	Разновидность метода
	подобранных реагентов, изменяющих физико-химические свойства, с последующей обработкой на специальном оборудовании	
Биологические	Микробиологическое разложение в почве, рекультивация	Биодеструкция загрязняющих компонентов буровых отходов с помощью микроорганизмов (биоремедиация)
		Рекультивация нарушенных земель
		Смещение бурового шлама с гуминоминеральными концентратами
Комплексные	Безамбарное бурение	
	Переработка буровых шламов с максимальным учетом химических, физико-механических свойств и использованием всех составляющих, в результате которой отходы становятся сырьем, реагентами или наполнителями в процессе производства продукции и не оказывают отрицательного воздействия на окружающую природную среду	

В настоящее время появляются все более сложные и совершенные способы утилизации и переработки буровых шламов и их сочетания.

Термические методы обезвреживания и утилизации буровых шламов используются как для уменьшения массы и токсичности отходов, так и для получения продукции с требуемым набором характеристик. Известны технологические установки по термической обработке шлама в печах различной конструкции [33-36], методы термического обезвреживания, обезвреживания, разделения буровых шламов на сухие компоненты (глина, песок, пылевая смесь) в высокопроизводительных сушильных барабанах [37-40]. При этом продуктом утилизации являются гранулированные препараты, нейтральные грунты, свободные от патогенных микробов, вирусов и спор.

Термические способы обезвреживания, утилизации буровых шламов позволяют обеспечить уменьшение токсичности за счет высоких температур (разрушение органических компонентов, присутствующих в буровых шламах), а также избавить шламы от патогенных микробов, вирусов и спор. Продукция, полученная термическими методами обезвреживания буровых шламов, может применяться в строительной индустрии (керамика, кирпич и т.д.). Вместе с тем термическое обезвреживание буровых шламов требует наличия дорогостоящего оборудования (сушилки, печи различной конструкции для прогрева, сушки,

прокаливания, обжига, сжигания шламов), высоких материальных затрат на энергоносители, которые обеспечивают поддержание высоких температур в процессе термической обработки. В процессе термического обезвреживания в атмосферный воздух могут попасть газообразные продукты сжигания нефтяных фракций и частицы тяжелых металлов, содержащихся в буровых шламах, что в свою очередь требует наличия газоочистного оборудования [31].

Распространенным способом утилизации буровых шламов является их захоронение. При этом практикуется захоронение шлама в специально отведенных местах, в глубокозалегающих подземных горизонтах, в земляных амбарах непосредственно на территории буровой.

Захоронение буровых шламов в специально отведенных местах предусматривает использование для этих целей шламохранилищ, бросовых земель или земель, оставшихся после разработки карьеров [31].

Согласно Федеральному закону Российской Федерации от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [41] захоронение отходов – это изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию, в специальных хранилищах в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду.

Известны способы подземного захоронения отходов бурения в многолетнемерзлых породах [42], закачки буровых шламов в глубоко залегающие подземные горизонты (технология CRI) [43], закачки буровых шламов в образованные гидроразрывом пласта трещины на значительную глубину по технологии RECLAIM компании I-SWACO [44].

Физические способы утилизации буровых шламов, в том числе захоронение шламов в шламовых амбарах или в специально оборудованных для этих целей местах, в экономическом плане являются более приоритетными перед термическими способами. В тоже время захоронение отходов в большинстве своем приводит к отчуждению земельных участков, нарушению почвенного покрова, воздействию на подземные и поверхностные водные объекты, растительный и животный мир. Распространение загрязняющих веществ,

содержащихся в буровых шламах, может происходить как за счет миграции, так и за счет несоблюдения проектных решений при строительстве сооружений для захоронения (разрушение обваловки шламовых амбаров, некачественная гидроизоляция и т.д.). Подразумевается, что конечной стадией такого метода должны являться рекультивация или самозарастание использованных для захоронения территорий [31].

Перспективной технологией захоронения буровых шламов является их закачка в пласт. Однако, в связи с высокими эксплуатационными затратами на оборудование, отсутствием подробных геологических и гидрологических обоснований (наличие принимающего и водоупорных пластов, необходимых для установления защищенности подземных вод от загрязняющих веществ, входящих в состав буровых шламов) данный способ утилизации в настоящее время не нашел широкого распространения на отечественных нефтегазовых месторождениях [31].

Основные направления работ в области обезвреживания буровых шламов концентрируются на физико-химической нейтрализации и отверждении [31]. Физико-химическая нейтрализация содержимого шламового амбара является привлекательным методом предотвращения загрязнения объектов природной среды [4].

Известны технологии обезвреживания (утилизации) бурового шлама отверждающими или загущающими составами [4].

В качестве отверждающих составов применяются минеральные вяжущие с добавками (Al_2O_3 , жидкое стекло, $FeCl_3$), фенолформальдегидные смолы, портландцемент, фосфогипс-полугидрат, кристаллический бишофит или карналлит, карбамидная смола, доломитовая мука, лигнин [10, 45-47].

В зарубежной практике известны методы отверждения бурового шлама портландцементом [48-50],

Одним из перспективных способов является обезвреживание шлама методом гидрофобизации его поверхности с помощью органических или растворимых высокомолекулярных соединений с последующим действием

электролитов. За счет высаливания полимера частицы породы покрываются пленкой, препятствующей растворению в воде токсичных и загрязняющих веществ [31]. Наибольшей эффективностью обладает сополимер малеинового ангидрида с акриламидом, натриевая соль сополимера малеинового ангидрида со стиролом [4, 34].

При этом стоит отметить, что применение стабилизаторов грунтов, используемых в дорожном строительстве, в качестве гидрофобизаторов поверхности бурового шлама не изучалось.

Известны способы капсулирования буровых шламов в результате интенсивного перемешивания исходного материала с порошкообразной негашеной известью [51]. ООО «Экосфера» разработана технология обезвреживания буровых шламов методом реагентного капсулирования [52], которая заключается в подготовке гидрофобного оксида кальция путем смешения порошкообразной негашеной извести (90 мас. %) и отработанных моторных масел (10 мас. %) до образования однородного гидрофобного порошка – реагента капсулирования; внесение гидрофобного оксида кальция в буровой шлам в следующих соотношениях: реагент капсулирования – 20-30 мас. %; буровой шлам – остальное, с последующим перемешиванием; гранулирование капсулированного шлама с жидким стеклом в грануляторе-смесителе. В качестве жидкофазного связующего используется 30% водный раствор жидкого стекла.

Известны исследования получения на основе буровых шламов легких заполнителей [53-55]. Так авторами [54] проведены исследования по технической возможности получения легких заполнителей на основе бурового шлама посредством их высушивания, размола, формирования и термического обжига гранул при температуре 1160-1190 °С. Спекание при температуре 1180 °С позволяет получить заполнитель с водопоглощением 3,6 %, плотностью частиц 1,29 г/см³ и прочностью 4,4 МПа.

Проведенный анализ показал, что распространенными способами утилизации буровых шламов среди химических методов является их обработка коагулянтами и флокулянтами, химическими реагентами, способствующими

капсулированию и гидрофобизации поверхности шлама и отверждающими составами. Данные способы позволяют обезвредить буровой шлам и снизить миграционную активность токсичных компонентов. Отверждение буровых шламов является экологичным способом утилизации в связи с тем, что позволяет снизить экологические последствия (уменьшение миграции загрязняющих веществ) при использовании отвержденных отходов в дальнейшем. Наиболее существенными недостатками данных способов является значительный расход флокулянтов, коагулянтов, вяжущих и длительность отверждения буровых шламов [31].

В научной литературе известны работы по сравнительной оценке процессов биоремедиации бурового шлама без фиксации и с фиксацией известью. Изучалась способность микроорганизмов разлагать (окислять, деградировать, модифицировать и т.д.) органические соединения. Результаты исследований показали, что при предварительной обработке шлама известью процесс биоремедиации субстрата протекает со значительно большей интенсивностью, чем без обработки шлама известью и способствует переводу шлама из категории опасных в неопасные [56].

Для восстановления земель, загрязненных в процессе нефтегазодобычи, используется способ изготовления рекультивационных смесей на основе буровых шламов, песка, торфа и активные обезвреживающие и мелиорирующие добавки, в том числе гипс, фосфогипс, мел, мука доломитовая, известь-пушонка, доломитовая глина, карналлит, хлористый кальций, серпентин, доменный шлак [57-62].

Проведенный анализ показал, что среди биологических методов интересными являются биодеструкция загрязняющих компонентов буровых шламов с помощью микроорганизмов и использование буровых шламов в качестве рекультивационного грунта для улучшения структурно-механических и агрохимических свойств почв. Наиболее существенными недостатками биологических методов является селективность микроорганизмов к различным

видам загрязнения, и тот факт, что период биологической активности биопрепаратов и микроорганизмов ограничивается температурным режимом [31].

Прогрессивными методами обращения с буровыми шламами являются технологии безамбарного бурения [4].

Комплексный подход к утилизации буровых шламов представляется наиболее целесообразным, т.е. переработка буровых шламов с максимальным учетом химических, физико-механических свойств и использованием всех составляющих, в результате которой отходы становятся сырьем, реагентами или наполнителями в процессе производства продукции и не оказывают отрицательного воздействия на окружающую природную среду [31]. Примеры комплексных подходов к утилизации буровых шламов нашли отражение в научной и патентной литературе [63-68].

Геоэкологические аспекты утилизации отходов бурения (в том числе буровых шламов) исследовались рядом ученых [19, 25, 69, 70].

Геоэкологическая, техническая и материаловедческая оценка технологий утилизации буровых шламов в керамический кирпич и фибробетон для балансировки подводных трубопроводов, выполненная Чеботаевым А.Н. [69], показала, что восстановление экосистем территорий за счет применения данных технологий составляет 7,5 лет.

Автором [25] проведено геоэкологическое обоснование размещения бурового шлама в тело насыпи площадки с разработкой конструкции площадки скважины.

Исследования, проведенные Рахматуллиным Д.В. [70], показали, что разработанная рецептура реагента капсулирования на основе оксида кальция, нефтешлама, цементной пыли с последующей биодеструкцией органических компонентов отходов бурения консорциумом непатогенных микроорганизмов-деструкторов позволяет использовать полученную продукцию в качестве компонента асфальтобетонных смесей и в качестве добавки к цементу при цементировании скважин в определенном интервале бурения без нанесения геоэкологического ущерба природной среде.

Исследования по геоэкологической устойчивости отходов и продукции на их основе недостаточно освещены в научной литературе.

Известны исследования, посвящённые оценке и обеспечению геоэкологической устойчивости массивов твердых коммунальных отходов [71]. Исследованы изменения геомеханических свойств (прочностных свойств) свалочных грунтов в условиях естественной консолидации и при внесении вяжущих агентов (цемент). Разработан способ обеспечения устойчивости строительных конструкций, сформированных массивами твердых коммунальных отходов, заключающийся в цементации свалочного грунта.

При этом исследования по оценке геоэкологической устойчивости буровых шламов и продукции на их основе, а также исследования по установлению ограничений к составу продукции по химическим, токсическим и физическо-механическим свойствам для обеспечения данной устойчивости не проводились.

1.3. Утилизация буровых шламов в производстве дорожно-строительных материалов

Одним из наиболее приемлемых и перспективных с точки зрения экологического и экономического эффекта методов является использование буровых шламов в качестве вторичного сырья для производства товарной продукции, в том числе для изготовления дорожно-строительных материалов. При этом для использования бурового шлама в качестве строительных материалов должны быть соблюдены требования по обеспечению экологической безопасности и качеству строительной продукции [31].

На территории газоконденсатного промысла Юрхаровского месторождения действует установка термомеханической очистки (интенсивное перемешивание слоя материала вращающимся на высокой скорости ротором) бурового шлама с получением грунтовой смеси, которая может использоваться для отсыпки внутрипромысловых дорог и оснований буровых площадок [72].

В патентной литературе известен комплексный способ утилизации буровых шламов, буровых растворов и буровых сточных вод, заключающийся в

смешивании отходов с минеральными добавками – суглинком, песком или песчано-глинистой фракцией до получения однородной массы с последующей термообработкой [73]. Материал, получаемый по данному способу в следующем соотношении компонентов: буровой шлам 30-75 %; отработанный буровой раствор 1-45 %, минеральная добавка 0,1-50 %, буровые сточные воды – остальное, может использоваться при строительстве внутрипромысловых дорог и обустройстве кустовых площадок скважин.

Известен способ утилизации буровых шламов путем смешения с вспененной и отвержденной карбамидной или формальдегидной смолой, кальцийсодержащими добавками (хлористый кальций или известь), органическими добавками (торф или отходы деревообработки), песком и цементом, в следующих соотношениях: буровой шлам – 30-50 %; смола – 2-5 %; кальцийсодержащие добавки – 2-3 %; органические добавки – 1-10 %; цемент – 3-5 %; песок – остальное [74]. Полученную смесь можно использовать как для улучшения плодородных свойств почвы, так и для строительства дорог.

В патентной литературе известен способ получения на основе буровых шламов искусственных грунтовых смесей, предназначенных для укрепления откосов дорог и буровых площадок и рекультивации нефтезагрязненных территорий [75]. Грунтовая смесь состоит из бурового шлама – 80-95 % и предварительно измельченного карбамидного пенопласта в количестве 5-20 %

В качестве материала для строительства, укрепления внутрипромысловых дорог, рекультивации промышленных объектов, оснований полигонов ТКО и промышленных отходов, обваловок оснований кустовых площадок авторами [76] предложен способ утилизации буровых шламов в материал «Буролит» следующего состава: буровой шлам – до 70 %; цемент – 10-20 %; карбамид-формальдегидный пенопласт – 10-25 %; минеральный наполнитель (песок, дробленый гранит) – 10-20 %; хлористый кальций – 2,0 %.

ОГУПТ «Пермавтодор» использовало буровой шлам в качестве компонента в цементногрунтовой смеси для строительства дорог [77]. Утилизация буровых шламов при этом производилась методом отверждения, со следующим составом

цементногрунтовой смеси: буровой шлам – 62,4 %; портландцемент марки М-400 – 20,8 %; вода – 16,8 %.

Использование стабилизатора грунтов в качестве добавки к буровому шламу, а также исследования по изучению влияния стабилизаторов грунтов на свойства буровых шламов не нашло отражения в научной литературе.

В научной литературе известны исследования влияния стабилизаторов на свойства глинистых грунтов [78, 79]. Изучено влияние стабилизаторов «Дорзин» и «Статус» на минеральный состав глинистых пород. Предложены оптимальные составы композитов, содержащих глинистую породу, цемент и стабилизатор, использование которых возможно для устройства оснований автомобильных дорог.

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 1

1. Источники, факторы техногенного воздействия и исследования загрязнения природных геосистем отходами бурения на стадии строительства и эксплуатации нефтегазодобывающих скважин изучены достаточно хорошо. При этом исследований, посвященных оценке степени опасности компонентов, входящих в буровые шламы, на класс опасности отходов с установлением граничных условий их влияния не проводилось.

2. Существует большое разнообразие методов утилизации буровых шламов, в том числе с учетом геоэкологических аспектов, большинство из которых сводится к термическому обезвреживанию; захоронению; отверждению буровых шламов отверждающими или загущающими составами; утилизации с получением на их основе продукции. Исследования по геоэкологической устойчивости отходов и продукции на их основе недостаточно освещены в научной литературе. При этом исследования по оценке геоэкологической устойчивости буровых шламов и продукции на их основе, а также исследования по установлению ограничений к составу продукции по химическим, токсическим и физическо-механическим свойствам для обеспечения данной устойчивости не проводились.

3. Перспективным геоэкологическим методом утилизации буровых шламов является использование их в качестве вторичного сырья для изготовления дорожно-строительных материалов. Вместе с тем, большое разнообразие состава и свойств буровых шламов, недостаточная изученность их характеристик, в том числе токсичности и способов ее снижения, недостаточная изученность экологической и конструктивной устойчивости продукции на их основе, влияния стабилизаторов грунтов на свойства буровых шламов, не позволили в настоящее время этому направлению утилизации получить широкое распространение в промышленности.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

Приводится характеристика исследуемого сырья, описание методов исследования и методик выполнения экспериментов.

2.1. Объекты исследования, характеристика применяемых материалов

Для утилизации буровых шламов с получением грунтовых смесей, обладающих оптимальными физико-механическими и экологическими характеристиками, использовали буровой шлам, песок и стабилизатор грунтов Polybond, в полученных в результате исследования соотношениях.

Буровой шлам – водная суспензия, частицы которой представлены продуктами разрушения горных пород забоя и стенок скважины, продуктами истирания бурового снаряда и обсадных труб, глинистыми минералами (при промывке глинистым раствором) [80].

Минералогический, химический и гранулометрический состав бурового шлама определяется составом разбуриваемых пород, химическим составом промывочных жидкостей, типом и диаметром породоразрушающего инструмента [3]. Исследование химического и гранулометрического состава образцов бурового шлама представлено в Главе 3 диссертации.

Для проведения исследования использовали образцы бурового шлама Самотлорского и Приобского нефтяных месторождений Западной Сибири. Исследования проводились для 9 образцов бурового шлама Самотлорского месторождения, отобранных из скважин 4 кустовых площадок с различной глубины и 3 образцов бурового шлама Приобского месторождения, отобранных из скважин одной кустовой площадки с различной глубины.

Выбор образцов бурового шлама для исследований обусловлен тем фактом, что Самотлорское и Приобское месторождения являются крупнейшими в России нефтяными месторождениями с высокими геологическими запасами и эксплуатационным фондом скважин.

Отбор проб осуществлялся ручным и механическим способом в соответствии с ПНДФ 12.4.2.1-99 [81].

Природный песок – неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород и получаемый при разработке валунно-гравийно-песчаных, гравийно-песчаных и песчаных месторождений [82].

Химический состав используемого для исследований образца песка представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав природного песка

Наименование показателя	Единицы измерения	Количество
Оксид кремния (SiO ₂)	%	91,50
Оксид алюминия (Al ₂ O ₃)	%	2,964
Оксид кальция (CaO)	%	0,476
Оксид магния (MgO)	%	0,219
Оксид натрия (Na ₂ O)	%	0,832
Оксид калия (K ₂ O)	%	0,996
Сера сульфатная (SO ₃)	%	< 0,01
Хлориды валовые (Cl)	%	0,259
Железо (Fe)	%	0,442
Медь (Cu)	мг/кг	4,739
Никель (Ni)	мг/кг	5,044
Хром (Cr)	мг/кг	9,816
Марганец (Mn)	мг/кг	88,76
Цинк (Zn)	мг/кг	16,26
Нефтепродукты	мг/кг	12,6

Объемный насыпной вес песка естественной влажности – 1100 кг/м³.

Модуль крупности $M_{кр}=1,45$. Согласно [83] песок относится к группе очень мелких песков.

Содержание глинистых частиц в песке не превышает требований [83] (менее 5% по массе) и составляет 1,13 %.

Стабилизатор грунта – многокомпонентная система, содержащая в своем составе поверхностно-активные вещества как ионогенного типа, так и неионогенного и обладающая свойствами гидрофобизаторов, суперпластификаторов, полимеров, применяемых в строительстве с целью изменения водно-физических свойств грунтов [84].

Для проведения исследования использовали кислотный стабилизатор грунтов Polybond.

Концентрат Polybond – это водянистая темно-коричневая жидкость, включающая поверхностно-активные вещества и цитрусовое масло, законсервированные в серной кислоте, способствующие процессу ионного обмена, поляризирующие глинистые частицы и активно влияющие на капиллярную и пленочную воду [85].

Химический состав Polybond: серная кислота: 50 %; поверхностно-активный агент, ингибитор коррозии: 25 %; цитрусовое масло: 25 %.

Негорючая, невзрывоопасная, стабильная жидкость с удельной массой 1,7 г/см³ и pH=1,0. Температура кипения 182 °С. Разъедает железо, олово, медь. Реактивно реагирует с алюминием, магнием [85].

2.2. Методики проведения исследований

2.2.1. Методики определения количественного химического состава

Методика выполнения измерений содержания металлов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой

Метод основан на измерении интенсивности излучения атомов определяемых элементов, возникающего при распылении анализируемой пробы в аргоновую плазму, индуктивно возбуждаемую радиочастотным электромагнитным полем [86].

Экспериментальные исследования производились по методике [87] с использованием атомно-эмиссионного спектрометра Optima 7300V фирмы PerkinElmer. Система регистрации состоит из двух детекторов. Ультрафиолетовый детектор покрывает расширенный диапазон от 163 до 403 нм. Видимый детектор покрывает видимый диапазон от 404 до 782 нм. Измерение спектрального фона производится одновременно с измерением аналитических линий. Расчет содержания определяемых металлов осуществляется программным обеспечением прибора ICP WinLab32.

Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов методом ИК-спектроскопии

Метод заключается в экстракции нефтепродуктов из почв и донных отложений тетрахлорметаном (CCl_4), с последующим хроматографическим отделением нефтепродуктов и количественным определением нефтепродуктов по интенсивности поглощения в ИК-области спектра.

Экспериментальные исследования производились по методике [88] с использованием анализатора нефтепродуктов «Концентрамер КН-2М».

Методы определения катионно-анионного состава водной вытяжки бурового шлама и грунтовых смесей на его основе

Метод определения рН водной вытяжки

Сущность метода заключается в извлечении водорастворимых солей из шлама дистиллированной водой при отношении шлама к воде 1:5 и определении рН с помощью рН-метра.

Экспериментальные исследования производились по ГОСТу [89].

Исследования проводились с использованием ионоселективного электрода «ЭКОМ-рН-ком» научно-производственного предприятия «ЭКОНИКС», который предназначен для измерения величины рН водных растворов и других жидких сред. Электрод снабжен микропроцессорным ионометрическим преобразователем «Экотест-2000».

Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке

Сущность метода заключается в титровании раствором серной кислоты в водной вытяжке ионов карбоната до рН=8,3, бикарбоната – до рН=4,4. Конечную точку титрования устанавливают с помощью рН-метра или по изменению окраски индикаторов – фенолфталеина (рН 8,3) и метилового оранжевого (рН 4,4).

Экспериментальные исследования производились по ГОСТу [90] с использованием ионоселективного электрода «ЭКОМ-рН-ком», снабженного микропроцессорным ионометрическим преобразователем «Экотест-2000».

Определение иона хлорида в водной вытяжке аргентометрическим методом по Мору

Сущность метода заключается в титровании иона хлорида в водной вытяжке раствором азотнокислого серебра, образующим с ионом хлорида труднорастворимое соединение.

Экспериментальные исследования производились по ГОСТу [91].

Определение иона сульфата в водной вытяжке весовым методом

Сущность метода заключается в осаждении иона сульфата раствором хлористого бария и взвешивании прокаленного остатка.

Экспериментальные исследования производились по ГОСТу [92].

Метод определения натрия, калия, кальция и магния в водной вытяжке методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой

Метод основан на измерении интенсивности излучения атомов определяемых элементов, возникающего при распылении анализируемой пробы в аргоновую плазму, индуктивно возбуждаемую радиочастотным электромагнитным полем.

Экспериментальные исследования производились по ГОСТам [86, 93] с использованием атомно-эмиссионного спектрометра Optima 7300V фирмы PerkinElmer.

2.2.2. Методика рентгенофазового анализа

Целью рентгенофазового анализа является идентификация вещества в смеси по набору его межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям соответствующих линий на рентгенограмме [94].

Рентгенофазовый анализ проводился на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 фирмы «Shimadzu». Сухой образец подвергается измельчению. На подложку с выемкой в верхней части помещается измельченный образец. Частицы образца прикрываются сверху пленкой. На пленку помещается предметное стекло. Вращательными движениями стекла производится

выравнивание поверхности образца. С поверхности подложки аккуратно удаляется предметное стекло и пленка. Избыток образца снимается с подложки лезвием. Подложка с нанесенным образцом устанавливается в гониометр дифрактометра в центр держателя образца. На компьютере задаются условия проведения анализа, производится в автоматическом режиме съемка образца.

После проведения анализа получается рентгенограмма, которая далее подвергается обработке. Определение фазового состава образцов проводится с использованием базы данных «ICDD PDF-2 Release 2008». База данных PDF-2 содержит порядка 350000 занесений рентгенограмм веществ. Каждая статья в базе данных содержит таблицу межплоскостных расстояний и относительных интенсивностей.

2.2.3. Методика сканирующей (растровой) электронной микроскопии

Целью сканирующей (растровой) электронной микроскопии является получение информации о рельефе поверхности образца, химическом составе и кристаллографической ориентации объемов, прилегающих к поверхности.

Принцип действия растрового электронного микроскопа основан на использовании эффектов, возникающих при облучении поверхности объектов тонко сфокусированным пучком (лучом) электронов.

Исследования проводились с использованием сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения (3-10 нм) модель «S-3400N» японской фирмы «НИТАСНИ», оснащенного энергодисперсионным спектрометром XFlash Detektor 4010 фирмы «Брукер» для проведения рентгеноспектрального микроанализа.

Необходимым условием получения высокого разрешения является надежный контакт образца со столиком-держателем, поэтому исследованный образец приклеивался с помощью двухстороннего токопроводящего скотча к держателю. Поверхность образца облучалась тонко сфокусированным пучком электронов (электронным зондом). Изображения образца получены в режиме фазового контраста при регистрации обратно-рассеянных электронов.

Измерение элементного состава проводилось в режиме анализа в точке. Результаты рентгеноспектрального анализа с энергетической дисперсией состоят из снимка с указанной локализацией пучка зондирования, изображения зарегистрированного спектра, таблицы элементного состава.

2.2.4. Методики определение класса опасности отходов расчетным методом

Расчет класса опасности отхода выполнен в соответствии с «Критериями отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды» [95] и Методическим пособием по применению «Критериев отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей природной среды» [96].

Класс опасности отхода определяется через показатель степени опасности (К), определяемый как сумма показателей степени опасности для каждого компонента отхода. Показатель степени опасности для *i*-ого компонента отхода (K_i), рассчитывается по формуле (2.1):

$$K_i = \frac{C_i}{W_i}, \quad (2.1)$$

где C_i – концентрация *i*-ого компонента в опасном отходе (мг/кг отхода);

W_i – коэффициент степени опасности *i*-ого компонента опасного отхода – условный показатель, численно равный количеству компонента отхода, ниже значения которого он не оказывает негативных воздействий на окружающую природную среду, мг/кг.

Отнесение отходов к классу опасности расчетным методом по показателю степени опасности отхода для окружающей природной среды осуществляется в соответствии с таблицей 2.2.

Таблица 2.2 – Отнесение отходов к классу опасности расчетным методом

Класс опасности отхода	Степень опасности отхода (К)
I	$10^6 \geq K > 10^4$
II	$10^4 \geq K > 10^3$
III	$10^3 \geq K > 10^2$
IV	$10^2 \geq K > 10$
V	$K \leq 10$

Для определения коэффициента степени опасности i -ого компонента опасного отхода (W_i) необходимо определить относительный параметр опасности компонента отхода (X_i) через первичные показатели, который связан с унифицированным относительным параметром экологической опасности (Z_i) соотношением (2.2):

$$Z_i = \frac{4 \cdot X_i}{3} - \frac{1}{3} \quad (2.2)$$

Зависимость между унифицированным относительным параметром экологической опасности (Z_i) и коэффициентом степени экологической опасности i -ого компонента отхода (W_i) устанавливается функцией (2.3):

$$\lg W_i = \begin{cases} 4 - \frac{4}{Z_i} & \text{для } 1 < Z_i < 2 \\ Z_i & \text{для } 2 < Z_i < 4 \\ 2 + \frac{4}{(6 - Z_i)} & \text{для } 4 < Z_i < 5 \end{cases} \quad (2.3)$$

2.2.5. Методики определения класса опасности и токсичности отходов (биотестирование)

Методика определения токсичности водных вытяжек из бурового шлама и грунтовых смесей на его основе по смертности и изменению плодовитости дафний

Сущность метода основана на определении смертности и изменений плодовитости дафний (*Daphnia magna* Straus, *Cladocera*, *Crustacea*) при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной среде, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль).

Экспериментальные исследования производились по методике [97].

Методика определения токсичности водных вытяжек из бурового шлама и грунтовых смесей на его основе по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей

Сущность метода основана на регистрации снижения уровня флуоресценции хлорофилла и темпа роста (снижение численности) клеток водорослей под воздействием токсических веществ, присутствующих в тестируемой водной вытяжке по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль).

Экспериментальные исследования производились по методике [98].

2.2.6. Методика определения гранулометрического состава

Сущность метода заключается в определении гранулометрического (зернового) состава глинистых грунтов ареометрическим методом путем измерения плотности суспензии ареометром в процессе ее отстаивания.

Гранулометрический анализ проводился по методике [99] с целью получения информации о распределении по размерам частиц в порошках, суспензиях и в других дисперсных объектах.

2.2.7. Методики определения физических характеристик

Исследования физических характеристик буровых шламов и грунтовых смесей на его основе проводились по методике [100].

Определение влажности методом высушивания до постоянной массы

Сущность метода заключается в определении влажности как отношения массы воды, удаленной из анализируемых проб высушиванием до постоянной массы, к массе высушенных проб.

Определение влажности на границе текучести

Сущность метода заключается в определении влажности на границе текучести, при которой балансирующий конус погружается в исследуемую пробу под действием собственного веса за 5 с на глубину 10 мм.

Определение влажности на границе раскатывания

Сущность метода заключается в определении влажности на границе раскатывания, при которой исследуемая проба, раскатываемая в жгут диаметром 3 мм, начинает распадаться на кусочки длиной 3-10 мм.

Определение плотности методом режущего кольца

Плотность ρ , г/см³, вычисляют по формуле (2.4):

$$\rho = \frac{(m_1 - m_0 - m_2)}{V}, \quad (2.4)$$

где m_1 – масса образца с кольцом и пластинками, г;

m_0 – масса кольца, г;

m_2 – масса пластинок, г;

V – внутренний объем кольца, см³.

Определение плотности частиц пикнометрическим методом

Плотность частиц ρ_s , г/см³, вычисляют по формуле (2.5):

$$\rho_s = \frac{\rho_w \cdot m_0}{(m_0 + m_2 - m_1)}, \quad (2.5)$$

где m_0 – масса сухого образца, г;

m_1 – масса пикнометра с водой и образцом после кипячения при температуре испытания, г;

m_2 – масса пикнометра с водой при той же температуре, г;

ρ_w – плотность воды при той же температуре, г/см³.

Определение плотности сухого образца расчетным методом

Плотность сухого образца ρ_d , г/см³, вычисляют по формуле (2.6):

$$\rho_d = \frac{\rho}{(1 + 0,01 \cdot w)}, \quad (2.6)$$

где ρ – плотность образца, г/см³;

w – влажность образца, %.

2.2.8. Методика определения деформационных характеристик

Метод компрессионного сжатия

Сущность метода заключается в определении характеристик деформируемости образца (коэффициента сжимаемости, модуля деформации) в результате испытания грунта в компрессионном приборе (одометре), исключающем возможность бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой.

Экспериментальные исследования производились по ГОСТу [101].

2.2.9. Статистическая обработка результатов исследования

Обработка результатов проводилась с использованием программ Statistica 5.0, Excel 2007, с применением основных статистических методов и закономерностей [102-104].

В процессе обработки данных рассчитывались следующие значения:

1. Среднее арифметическое значение \bar{X} вычисляется по формуле (2.7):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.7)$$

где X_i – значения выборки;

n – объем выборки.

2. Среднеквадратичное отклонение (стандартное отклонение) S – мера разброса данных выборки относительно среднего значения, определяемая по формуле (2.8):

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n - 1}}, \quad (2.8)$$

где $\sum (X - \bar{X})^2$ – сумма квадратов отклонений значений переменной от среднего значения;

n – объем выборки.

3. Стандартная ошибка среднего $SE_{\bar{x}}$ – величина, характеризующая стандартное отклонение выборочного среднего, определяемая по формуле (2.9):

$$SE_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.9)$$

где S – стандартное отклонение случайной величины;

n – объем выборки.

4. Минимум и максимум – минимальное и максимальное значение выборки соответственно.

5. Коэффициент корреляции – количественная характеристика степени линейной зависимости между случайными величинами двух и более выборок. Коэффициент корреляции (r) для двух выборок определяется по формуле (2.10):

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (2.10)$$

где \bar{X}, \bar{Y} – средние значения выборок.

Коэффициент корреляции изменяется в пределах от -1 до +1. Если коэффициент корреляции отрицательный, это означает, что с увеличением значения одной переменной значения другой убывают. Если переменные независимы, то коэффициент корреляции равен 0. Если коэффициент не равен 0, то между переменными существует зависимость. Чем ближе значение коэффициента корреляции к 1, тем зависимость сильнее.

6. Для оценки вероятности попадания случайной величины в заданное значение или в заданный интервал значений использованы законы распределения (нормальный и логнормальный).

Величина X при нормальном законе распределения задаётся плотностью вероятности, имеющей вид (2.11):

$$f_N(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (2.11)$$

где x – значение, для которого строится распределение;

a – среднее значение (математическое ожидание) случайной величины;

σ^2 – дисперсия.

Случайная величина (x) имеет логнормальное распределение с параметрами a и σ , если случайная величина $\ln(x)$ имеет нормальное распределение. Случайная величина с логнормальным распределением является непрерывной и принимает только положительные значения.

В этом случае распределение случайной величины (x) задаётся плотностью вероятности, имеющей вид (2.12):

$$f_N(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp^{-\frac{(\ln x - a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.12)$$

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ БУРОВОГО ШЛАМА И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КЛАСС ОПАСНОСТИ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Проведены исследования образцов бурового шлама с целью определения факторов, которые могут оказывать существенное воздействие на компоненты окружающей среды. Выявлены показатели, регулирование которых позволит получить продукцию (грунтовую смесь) с требуемым набором экологических и строительных характеристик. Проведена оценка возможности использования буровых шламов для получения грунтовых смесей. Произведен расчет эколого-экономического ущерба, причиненного почвам как объекту окружающей среды буровыми шламами.

3.1. Исследование химического состава твердой фазы и водной вытяжки образцов бурового шлама

Химический анализ образцов буровых шламов проводился с целью определения содержания отдельных компонентов, входящих в состав шламов, для выявления закономерностей и взаимосвязей. Состав твердой фазы и водной вытяжки исследованных образцов буровых шламов приведен в таблице 3.1.

Как видно из таблицы 3.1, основным компонентом образцов буровых шламов является оксид кремния, что подтверждают данные рентгенофазового анализа, представленные в разделе 3.2. В значительных количествах содержатся оксид алюминия и оксид кальция.

Для того, чтобы проанализировать взаимосвязь между отдельными показателями состава буровых шламов, была вычислена корреляционная матрица (табл. 3.2).

Таблица 3.1 – Химический состав исследованных образцов буровых шламов

Наименование показателя состава	Ед. изм.	Обозначения образцов											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СОСТАВ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ													
Содержание компонентов минерального состава													
Потери при прокаливании	%	12,4±3,7	11,1±3,3	18,4±5,5	12,4±3,7	19,5±5,9	12,4±3,7	9,5±2,9	11,5±3,5	12,1±3,6	6,94±2,1	4,0±1,2	3,75±1,1
Оксид кремния	%	54±12,4	54,3±12,5	48,6±11,2	53,7±12,4	43,8±10,1	53,9±12,4	55,4±12,7	54,3±12,5	53,1±12,2	57,6±13,2	67,5±15,5	76,8±17,7
Оксид алюминия	%	9,71±0,87	8,94±0,84	10,19±0,87	11,31±0,9	10,06±0,86	11,31±0,92	12,45±0,93	11,28±0,85	12,75±0,96	16,5±1,2	11,6±0,9	8,28±0,78
Оксид кальция	%	8,45±1,1	9,21±1,24	6,91±0,76	4,85±0,58	8,48±1,1	6,11±0,73	4,65±0,56	6,61±0,93	5,65±0,59	2,18±0,22	1,51±0,14	1,54±0,15
Оксид магния	%	1,35±0,2	1,64±0,28	1,23±0,18	1,36±0,2	1,47±0,29	1,41±0,21	1,55±0,22	1,38±0,21	1,44±0,22	2,27±0,56	1,39±0,22	1,48±0,30
Оксид натрия	%	2,36±0,22	2,22±0,22	2,56±0,2	2,48±0,2	2,97±0,15	2,48±0,25	2,24±0,20	2,34±0,19	2,36±0,19	4,31±0,43	3,25±0,31	3,34±0,25
Оксид калия	%	1,9±0,2	1,76±0,14	5,34±0,4	4,66±0,47	4,26±0,32	1,62±0,15	1,87±0,19	1,68±0,10	1,73±0,14	2,2±0,2	2,13±0,21	1,43±0,10
Содержание тяжелых металлов													
Железо	%	3,71±1,0	2,8±0,8	2,46±0,7	2,88±0,8	2,61±0,7	3,15±0,9	3,19±0,9	3,28±0,9	3,63±1,0	4,62±1,3	3,0±0,8	1,85±0,5
Медь	мг/кг	44,19±15,5	47,48±16,6	22,9±8,0	19,83±6,9	24,3±8,5	31,9±11,2	27,1±9,5	44±15	28,1±9,8	50,8±17,8	30,5±10,7	17,6±6,2
Никель	мг/кг	24,16±8,5	27,53±9,6	23,14±8,1	24,12±8,4	21,6±7,6	21,5±7,5	25,7±9,0	24±8	25,6±9,0	55,2±19,3	35,4±12,4	32,4±11,3
Хром	мг/кг	70,57±14,1	58,43±11,7	52,12±10,4	51,7±10,3	56,6±11,3	66,3±13,3	60,6±12,1	68,5±13,7	71,1±14,2	103,5±20,7	105,6±21,1	64,4±12,9
Марганец	мг/кг	645±193,5	494±148,2	357±107,1	742±223	353±106	507±152	503±151	680±204	569±171	1201±360	861,5±258,5	320±96
Цинк	мг/кг	62,4±12,5	161±32,2	53,4±10,7	50±10	51,2±10,2	56,6±11,3	58,3±11,7	65,1±13,0	48,4±9,7	104,9±21,0	90,1±18,0	82,6±16,5
Содержание нефтепродуктов													
Нефтепродукты	мг/кг	3310±827,5	2050±512	8610±2150	5520±1380	8500±2125	7080±1770	3125±780	4240±1060	2550±638	624,2±156	182,4±45,6	897,4±224,3
СОСТАВ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ													
Содержание компонентов водной вытяжки													
pH	ед. pH	9,32±0,1	10,53±0,1	7,61±0,1	7,94±0,1	7,80±0,1	9,28±0,1	9,10±0,1	9,50±0,1	9,82±0,1	7,61±0,1	8,72±0,1	8,53±0,1
Хлориды	мг/кг	175±18	577±58	41988±2100	24908±1245	33240±1660	750±75	343±34	338±34	230±23	239,4±23,9	91,5±9,2	279,4±28
Сульфаты	мг/кг	166±25	1555±233	295±44	120±18	95±19	3345±500	262±39	400±60	184±28	103,2±15,5	135,7±20,4	32±6
Кальций	мг/кг	79±14	194±35	1038±145	511±92	673±121	136±25	104±19	77±14	147±27	29,7±5,3	23,7±4,3	47,7±8,6
Магний	мг/кг	18±2,5	10±1,4	37±5	22±3	29±4	25±3,5	24±3,4	17±2,4	34±5	9,9±1,4	7,3±1,0	13,9±1,9
Калий	мг/кг	50±7	145±20	31540±4400	19070±2700	32010±4500	89±13	63±9	50±7	42±6	11,4±1,6	9,2±1,3	16±2
Натрий	мг/кг	792±87	1384±152	5273±580	3066±337	4405±490	1310±144	740±81	800±88	780±86	355,3±39	258,5±28	556,4±61
Сухой остаток	мг/кг	21700±1736	7600±608	104600±8370	65600±5250	100890±8070	21820±1750	33500±2680	25600±2050	21570±1725	19860±1590	10750±860	33600±2690
Гидрокарбонаты	ммоль/100 г	0,97±0,1	1,04±0,1	2,14±0,1	1,68±0,1	1,94±0,1	2,7±0,1	1,72±0,1	2,02±0,1	2,48±0,1	0,8±0,1	0,6±0,1	1,0±0,1
Карбонаты	ммоль/100 г	0,22±0,1	1,1±0,1	н/обн	н/обн	н/обн	0,4±0,1	0,22±0,1	0,36±0,1	0,66±0,1	н/обн	н/обн	н/обн

Таблица 3.2 – Корреляционная матрица показателей химического состава твердой фазы буровых шламов

	Потери при прокаливании	Нефтепродукты	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cu	Ni	Cr	Fe	Mn	Zn	Ba
Потери при прокаливании	1.000	0.900	-0.907	-0.198	0.794	-0.370	-0.451	0.665	-0.141	-0.615	-0.643	-0.113	-0.444	-0.416	-0.909
Нефтепродукты	0.900	1.000	-0.736	-0.252	0.588	-0.482	-0.391	0.692	-0.362	-0.661	-0.668	-0.302	-0.509	-0.558	-0.746
SiO ₂	-0.907	-0.736	1.000	-0.126	-0.774	0.114	0.415	-0.517	-0.145	0.430	0.429	-0.247	0.125	0.296	0.886
Al ₂ O ₃	-0.198	-0.252	-0.126	1.000	-0.412	0.681	0.486	-0.088	0.349	0.655	0.606	0.825	0.790	-0.067	0.088
CaO	0.794	0.588	-0.774	-0.412	1.000	-0.331	-0.671	0.224	0.248	-0.651	-0.613	-0.048	-0.442	-0.005	-0.764
MgO	-0.370	-0.482	0.114	0.681	-0.331	1.000	0.702	-0.280	0.551	0.865	0.541	0.609	0.642	0.512	0.248
Na ₂ O	-0.451	-0.391	0.415	0.486	-0.671	0.702	1.000	-0.021	0.123	0.876	0.688	0.258	0.554	0.229	0.506
K ₂ O	0.665	0.692	-0.517	-0.088	0.224	-0.280	-0.021	1.000	-0.457	-0.242	-0.422	-0.289	-0.172	-0.366	-0.611
Cu	-0.141	-0.362	-0.145	0.349	0.248	0.551	0.123	-0.457	1.000	0.420	0.450	0.703	0.569	0.578	0.087
Ni	-0.615	-0.661	0.430	0.655	-0.651	0.865	0.876	-0.242	0.420	1.000	0.786	0.518	0.761	0.468	0.544
Cr	-0.643	-0.668	0.429	0.606	-0.613	0.541	0.688	-0.422	0.450	0.786	1.000	0.581	0.786	0.289	0.701
Fe	-0.113	-0.302	-0.247	0.825	-0.048	0.609	0.258	-0.289	0.703	0.518	0.581	1.000	0.795	0.054	-0.024
Mn	-0.444	-0.509	0.125	0.790	-0.442	0.642	0.554	-0.172	0.569	0.761	0.786	0.795	1.000	0.234	0.311
Zn	-0.416	-0.558	0.296	-0.067	-0.005	0.512	0.229	-0.366	0.578	0.468	0.289	0.054	0.234	1.000	0.367
Ba	-0.909	-0.746	0.886	0.088	-0.764	0.248	0.506	-0.611	0.087	0.544	0.701	-0.024	0.311	0.367	1.000

Проведенные исследования [105] показали (табл. 3.2), что:

– наблюдается сильно выраженная отрицательная корреляция между потерями при прокаливании и содержанием оксида кремния. Потери при прокаливании характеризуют количество карбонатов в исследуемом образце, и естественно ожидать, что обогащение образца карбонатами сопровождается его обеднением остальными компонентами (силикатами и алюмосиликатами);

имеется ярко выраженная положительная корреляция между потерями при прокаливании и содержанием нефтепродуктов в образце. Это объясняется тем, что нефтепродукты при прокаливании образца частично испаряются. Для исключения загрязнения атмосферного воздуха продуктами испарения нефтепродуктов в технологии получения грунтовых смесей на основе бурового шлама должна быть предусмотрена стадия дожигания отходящих газов. Эта корреляция может быть также связана с тем, что нефтяные проявления приурочены к известняковым отложениям.

Содержание нефтепродуктов в исследованных образцах буровых шламов незначительно и изменяется от 0,18 г/кг до 8,6 г/кг, что в некоторых случаях ниже установленных нормативов допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах ХМАО-Югры. Так, согласно документу [106] для различных типов почв, почвенных горизонтов, с учетом целевого использования земель, остаточное содержание нефти в почве может находиться в диапазоне 0,1-1 г/кг для водохозяйственного использования, 1-5 г/кг для сельскохозяйственного использования, 2-100 г/кг для лесохозяйственного использования, 5 г/кг для строительного использования. Однако, стоит отметить, что нефтепродукты, содержащиеся в буровых шламах, являются причиной загрязнения атмосферного воздуха (испарение легких фракций нефтепродуктов с поверхности шламового амбара), подземных и поверхностных водных источников, почвенного покрова (при нарушении гидроизоляции шламового амбара), растительного и животного мира.

Известно, что естественное самоочищение нефтезагрязненных земель в крайне неблагоприятных условиях северных широт, где располагается большинство нефтедобывающих скважин, протекает очень медленно [107].

Содержание нефтепродуктов в грунтовой смеси на основе буровых шламов, при котором воздействие на окружающую природную среду будет на допустимом уровне, оценено в Главе 4.

Существенным фактором для оценки негативного воздействия буровых шламов на окружающую природную среду является содержание в их составе тяжелых металлов – высоко опасных загрязнителей. Классы опасности и показатели вредности тяжелых металлов в соответствии с МУ 2.1.7.730-99 [108] приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристика опасности загрязняющих веществ

Наименование показателя	Уровни показателей вредности, мг/кг				Класс опасности
	транслокационный	миграционный		общесанитарный	
		водный	воздушный		
Медь	3,5	72	-	3	2
Никель	6,7	14	-	4	2
Хром	6	6	6	6	2
Марганец	220	1000	-	80	3
Цинк	23	200	-	37	1

Использование бурового шлама в качестве компонента грунтовой смеси без каких-либо ограничений со стороны содержания тяжелых металлов возможно, если их содержание в смеси будет ниже соответствующих предельно допустимых концентраций химических веществ в почве разного характера землепользования в соответствии с санитарным законодательством Российской Федерации [109, 110].

Достижение данных показателей в грунтовых смесях на основе буровых шламов позволит исключить опасность опосредованного воздействия веществ-загрязнителей (тяжелых металлов) на почвы, здоровье человека и компоненты окружающей среды.

Для оценки негативного воздействия на окружающую среду буровых шламов был проведен сравнительный анализ [111, 112] валового содержания тяжелых металлов в образцах буровых шламов (табл. 3.1) с установленными гигиеническими нормативами содержания химических веществ в почвах (ПДК (ОДК) в почвах) [109, 110]. Результаты приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Содержание тяжелых металлов в буровом шламе в долях ПДК (ОДК)

Наименование показателя состава	ПДК (ОДК) [86-87], мг/кг	Обозначение образцов											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Содержание, доли ПДК (ОДК)											
Медь	(66)	0.67	0.72	0.35	0.30	0.37	0.48	0.41	0.67	0.43	0.77	0.46	0.27
Никель	(40)	0.60	0.69	0.58	0.60	0.54	0.54	0.64	0.60	0.64	1.38	0.89	0.81
Хром	(90)	0.78	0.65	0.58	0.57	0.63	0.74	0.67	0.76	0.79	1.15	1.17	0.72
Марганец	1500	0.43	0.33	0.24	0.49	0.24	0.34	0.34	0.45	0.38	0.80	0.57	0.21
Цинк	(110)	0.57	1.46	0.49	0.45	0.47	0.51	0.53	0.59	0.44	0.95	0.82	0.75

Как видно из таблицы 3.4, наблюдаются разовые превышения ОДК тяжелых металлов в образцах бурового шлама по следующим компонентам: образец № 2 – цинк (1,46 ОДК); образец № 10 – никель (1,38 ОДК), хром (1,15 ОДК); образец № 11 – хром (1,17 ОДК). По остальным образцам превышение ПДК (ОДК) тяжелых металлов не зафиксировано.

Повышенное содержание тяжелых металлов в образцах буровых шламов может привести к загрязнению компонентов окружающей среды (в основном почвенного покрова), что в свою очередь не позволяет использовать их в чистом виде для устройства земляного полотна автодорог.

Поскольку использование бурового шлама предполагается в смеси с песком, содержание тяжелых металлов в продукции на основе буровых шламов ожидается в пределах ПДК (ОДК). Оценка содержания тяжелых металлов в грунтовой смеси на основе буровых шламов приведена в Главе 4.

С точки зрения оценки уровня негативного воздействия на окружающую природную среду буровых шламов и продукции, изготовленной с их применением, существенным является не только состав твердой фазы, но и

характеристики водной фазы, находящейся в контакте с этими буровыми шламами или соответствующей продукцией. Выполненные исследования [105] показали, что основные различия состава водной вытяжки отдельных образцов заключаются в их минерализации, определяемой как сумма содержания солей, и величине рН. При этом образцы №№ 3, 4, 5 существенно отличаются от всех остальных образцов по содержанию сухого остатка, хлоридов калия и натрия (табл. 3.1). Это связано, скорее всего, с различием состава исходного бурового раствора. Согласно [113], для обеспечения стабильности дисперсной фазы в буровой раствор могут вводиться хлориды калия и натрия, которые и являются основными компонентами солевого фона для вышеперечисленных образцов.

Проведенные Малышкиным М.М. и Некрасовой И.Л. [12, 25] исследования химического состава буровых шламов доказывают представительность отобранных для изучения образцов. Авторами [12, 25] выявлено, что основными загрязняющими компонентами водной вытяжки являются хлориды, кальций, натрий, калий. Валовое содержание тяжелых металлов близко к фоновому, а содержание нефтепродуктов в твердой фазе не превышает 1 г/кг, что исключает негативного влияния на природные геосистемы.

По степени засоленности легкорастворимыми солями (в соответствии с ГОСТ 25100-2011 [114]) буровые шламы классифицируются (по сухому остатку) от слабозасоленных (содержание растворимых солей 0,5-2% (от 5000 до 20000 мг/кг) до избыточно-засоленных (содержание растворимых солей более 10% (более 100000 мг/кг).

Во всех образцах обнаружено присутствие ионов карбонатов и гидрокарбонатов, что согласуется с результатами рентгенофазового анализа, по результатам которого в исследованных образцах обнаружена кристаллическая фаза кальцита.

Ряд образцов обладают щелочной реакцией среды. Известно, что при защелачивании почвы ($\text{pH} > 9$) корневые волоски растений испытывают щелочной ожог, что негативно отражается на их дальнейшем развитии и может привести к отмиранию. Почвы с высокой щелочной реакцией среды обладают

неблагоприятными агрофизическими и физико-механическими свойствами. Такие почвы не имеют четкой структуры, приобретают высокую вязкость и липкость во влажном состоянии и твердость в сухом, отличаются плохой фильтрацией и неудовлетворительным водно-воздушным режимом [115].

Высокая щелочность образцов буровых шламов при их размещении в компонентах окружающей среды может стать причиной отрицательного воздействия на почву и растительность.

Для возможного использования бурового шлама в качестве компонента грунтовой смеси, которая не будет представлять опасность для окружающей природной среды, необходимо, чтобы водородный показатель был на уровне ниже 9 ед. рН. Возможность достижения заданного значения может быть осуществлена корректировкой кислотно-основных характеристик продукции за счет введения кислотных агентов в состав грунтовой смеси на основе буровых шламов. Исследования влияния добавления кислотного стабилизатора на кислотно-основные свойства буровых шламов приведены в Главе 4.

Содержание ионов, составляющих солевой фон водной вытяжки, меняется в весьма широких пределах, что, как будет показано ниже, оказывает влияние на оценку класса опасности буровых шламов.

Проведенные исследования показали, что непосредственное размещение буровых шламов в окружающей среде и использование их для возведения дорог невозможно, поскольку содержание растворимых солей может достигать значения 104,6 г/кг (по сухому остатку). С учетом этого возможно засоление почвы за счет миграции растворимых солей из полотна дороги в окружающий грунт.

3.2. Исследование фазового состава образцов бурового шлама

Рентгенофазовый анализ образцов бурового шлама показал, что во всех образцах основной фазой является SiO_2 (Quartz) сингония P3221. Помимо SiO_2 Quartz в составе 9 образцов обнаружен карбонат кальция CaCO_3 (Calcite) сингония R-3c. Помимо диоксида кремния (SiO_2) и карбоната кальция (CaCO_3), в образцах

присутствуют примеси, идентификация которых представляет сложность из-за низкой интенсивности пиков.

В исследованном диапазоне углов дифракции для отдельных образцов обнаружены от 16 до 38 дифракционных пиков. При этом на каждой рентгенограмме присутствует от 4 до 15 пиков, которые не удалось идентифицировать.

Некоторые обобщенные характеристики рентгенограмм приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Обобщенные характеристики рентгенограмм

Образец	Число пиков, отнесенных к фазам:			Доля интегральной интенсивности, отнесенная к фазам		
	CaCO ₃	Не идентифицированы	SiO ₂	CaCO ₃	Фаза не идентифицирована	SiO ₂
1	6	10	16	0.126	0.158	0.731
2	6	8	18	0.130	0.187	0.774
3	7	15	16	0.210	0.351	0.655
4	2	14	15	0.064	0.431	0.714
5	7	11	15	0.211	0.236	0.528
6	6	9	15	0.153	0.201	0.718
7	6	7	15	0.147	0.122	0.731
8	6	9	15	0.132	0.113	0.677
9	6	10	17	0.196	0.152	0.727
10	-	8	12	-	0.254	0.746
11	-	7	16	-	0.160	0.840
12	-	4	12	-	0.071	0.929

Определенный интерес представлял вопрос о том, относятся ли не идентифицированные пики к одинаковому набору кристаллических фаз.

На рисунке 3.1 показано угловое положение и интегральная интенсивность для всех не идентифицированных пиков исследованных образцов.

Как видно из рисунка 3.1, большинство не идентифицированных пиков наблюдаются под одними и теми же углами рассеяния. Из этого следует, что во всех исследованных образцах имеется одинаковый набор кристаллических фаз, хотя их количество варьируется.

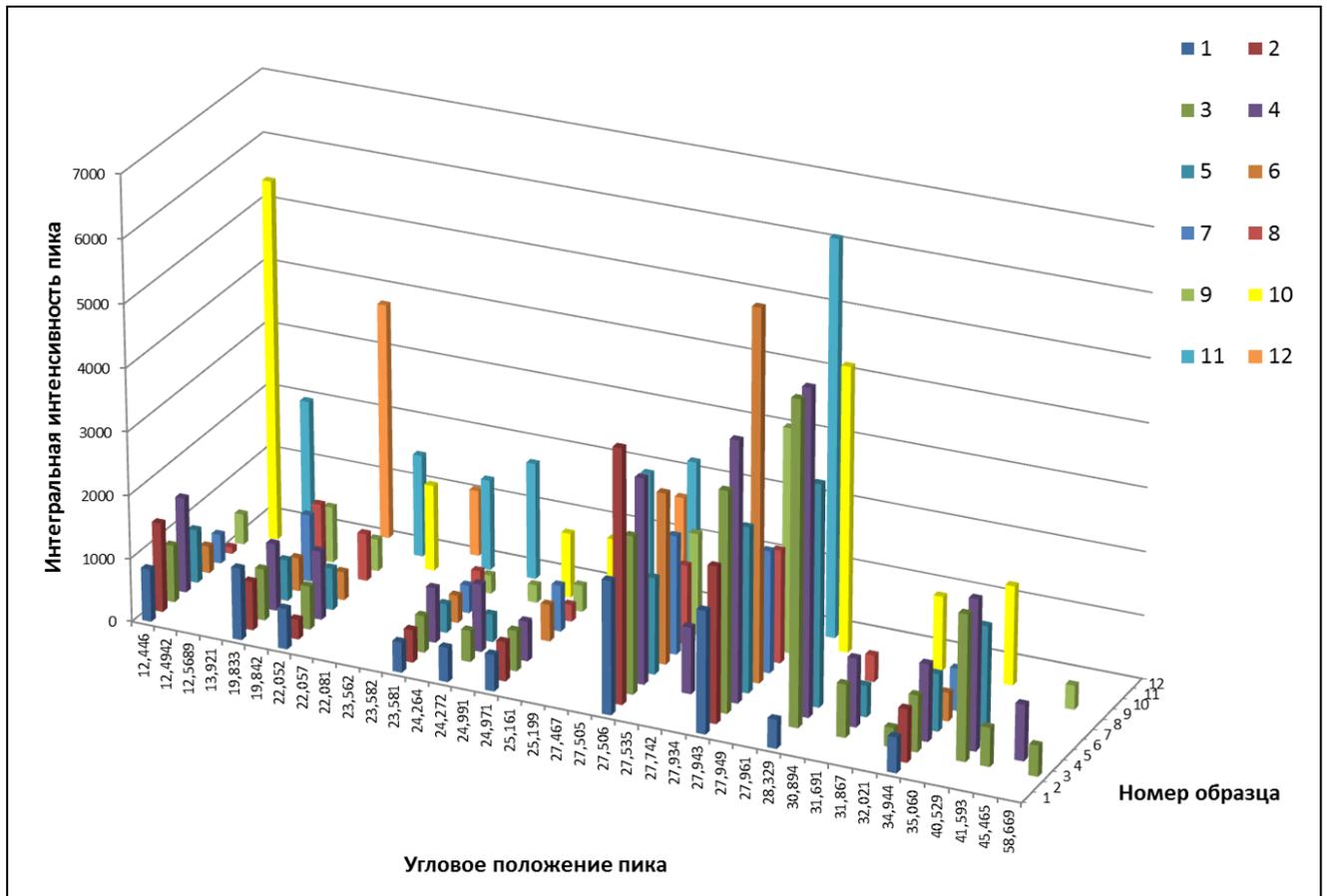


Рисунок 3.1 – Угловое положение и интегральная интенсивность не идентифицированных пиков

Определенные суждения о том, что представляют собой эти не идентифицированные фазы, можно сделать, исходя из сопоставления доли интегральной интенсивности рассеяния, приходящегося на эти фазы, и химического состава исследованных образцов.

Наиболее близкая корреляция доли интенсивности рассеяния, отнесенной к не идентифицированной фазе, наблюдалась для валового содержания оксида калия в исследованных образцах. Отметим, что этот показатель также связан с содержанием сухого остатка в водных вытяжках из образцов бурового шлама (рис. 3.2).

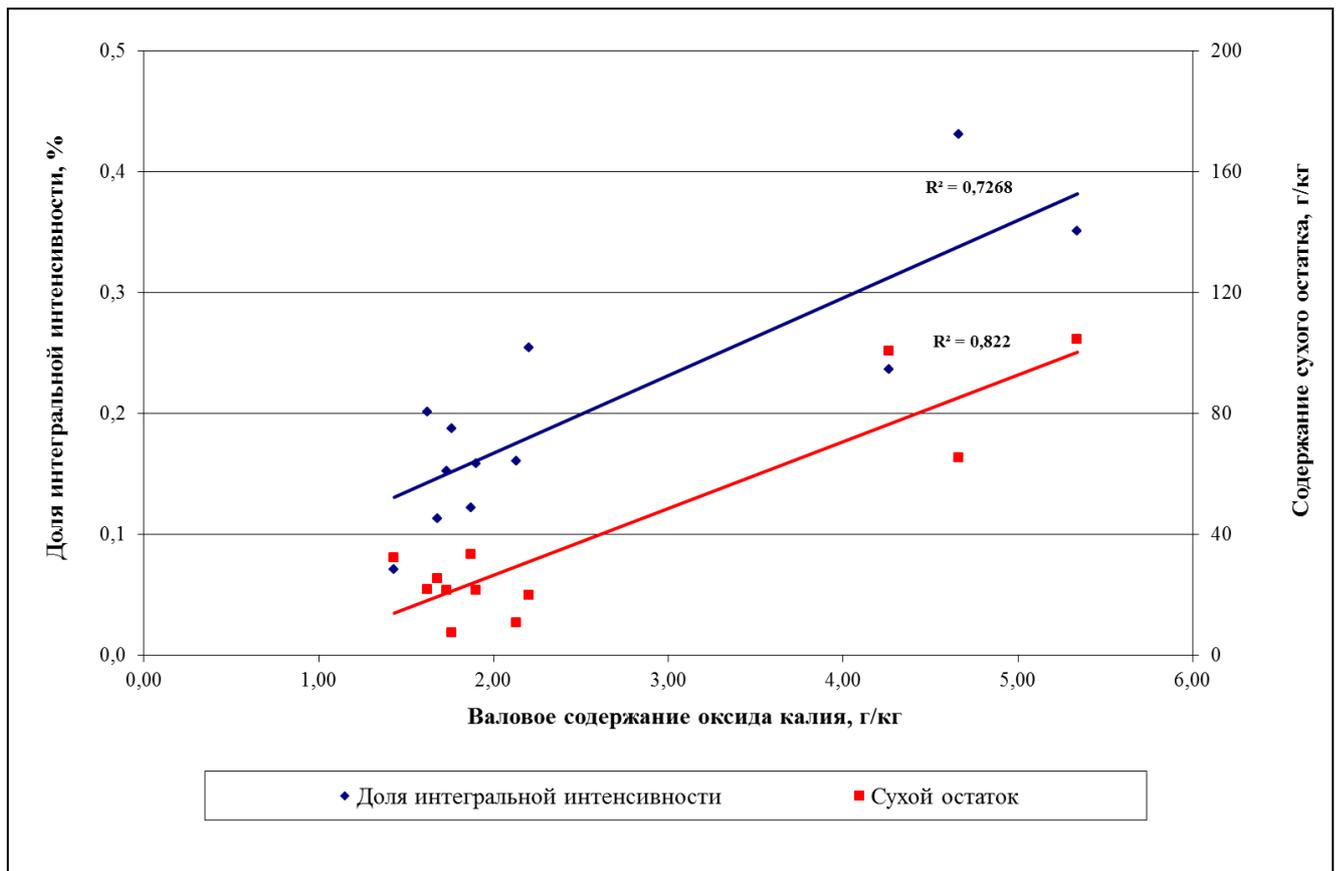


Рисунок 3.2 – Корреляции между валовым содержанием оксида калия, долей интегральной интенсивности для не идентифицированной фазы и содержанием сухого остатка в водной вытяжке

Таким образом, не идентифицированные фазы представляют собой, по всей видимости, кристаллические растворимые соли, образующиеся при высушивании образцов.

3.3. Исследование физико-механических характеристик буровых шламов

Весьма существенным вопросом с точки зрения возможности использования буровых шламов для производства грунтовых смесей являются их физические характеристики (влажность, плотность, гранулометрический состав и т.д.).

Для их определения использовались методики, изложенные в Главе 2.

Результаты, полученные при изучении физических характеристик образцов бурового шлама, представлены в таблицах 3.6 и 3.7, а в таблицах 3.8, 3.9 и 3.10

приведены данные по классификации осадочных горных пород [116], к которым согласно [117] относятся буровые шламы, и по разновидности глинистых грунтов [114].

Таблица 3.6 – Результаты гранулометрического анализа образцов бурового шлама

№ п/п	Доля фракции (%) с размерами (мм)						
	2-1	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,005	< 0,005 ¹
1			11.150	3.850	32.596	16.674	35.730
2			5.550	2.910	24.844	26.202	40.494
3			7.550	4.760	29.728	15.086	42.876
4			3.300	2.110	27.894	26.216	40.480
5			3.800	1.020	25.308	32.554	37.318
6			11.500	5.480	33.792	12.704	36.524
7			13.150	3.650	34.766	20.644	27.790
8			10.750	2.080	22.062	23.026	42.082
9			12.950	3.150	20.227	22.141	41.532
10	1,450	2,850	0,400	0,850	14,460	43,670	36,320
11		0,300	0,250	7,150	17,660	47,990	26,640
12		1,450	1,850	8,250	15,400	28,930	44,560
Минимум			0,250	0,850	14,460	12,704	26,640
Максимум			13,150	8,250	34,766	47,990	44,560

Таблица 3.7 – Некоторые физические характеристики образцов бурового шлама

№ п/п	Природная влажность, д.е.	Влажность на границе текучести, д.е.	Влажность на границе раскатывания, д.е.	Число пластичности, д.е.	Показатель текучести, д.е.	Плотность грунта, г/см ³	Плотность частиц грунта, г/см ³	Плотность сухого грунта, г/см ³	Пористость, %	Тип грунта
1	0,521	0,354	0,150	0,204	1,819	1,560	2,730	1,026	62,43	глина легкая песчаная текучая
2	0,533	0,426	0,170	0,256	1,418	1,570	2,730	1,024	62,49	глина легкая пылевая текучая
3	0,881	0,399	0,190	0,209	3,306	1,600	2,730	0,851	68,84	глина легкая песчаная текучая
4	0,634	0,405	0,210	0,195	2,174	1,740	2,730	1,065	60,99	глина легкая пылевая текучая
5	0,541	0,411	0,210	0,201	1,647	1,690	2,720	1,097	59,68	глина легкая пылевая текучая
6	0,501	0,388	0,140	0,248	1,456	1,710	2,730	1,139	58,27	глина легкая песчаная текучая
7	0,638	0,457	0,190	0,267	1,678	1,490	2,730	0,910	66,68	глина легкая песчаная текучая
8	0,688	0,393	0,210	0,183	2,612	1,720	2,710	1,019	62,40	глина легкая пылевая текучая

¹ С 2013 года на территории Российской Федерации действует ГОСТ 25100-2011 [114], в котором размер глинистых частиц установлен на уровне менее 0,002 мм. Ряд исследований буровых шламов и смесей на их основе были проведены до 2013 года, когда на законодательном уровне не были установлены четкие требования к размеру глинистых частиц

№ п/п	Природная влажность, д.е.	Влажность на границе текучести, д.е.	Влажность на границе раскатывания, д.е.	Число пластичности, д.е.	Показатель текучести, д.е.	Плотность грунта, г/см ³	Плотность частиц грунта, г/см ³	Плотность сухого грунта, г/см ³	Пористость, %	Тип грунта
9	0,622	0,435	0,210	0,225	1,830	1,720	2,720	1,060	61,02	глина легкая пылеватая текучая
10	0,792	0,429	0,174	0,255	2,423	1,550	2,730	0,865	68,30	глина легкая пылеватая текучая
11	0,373	0,282	0,087	0,185	1,546	1,840	2,720	1,340	50,70	глина легкая пылеватая текучая
12	0,690	0,410	0,167	0,243	2,152	1,520	2,720	0,899	66,90	глина легкая пылеватая текучая
Минимум	0,373	0,282	0,087	0,183	1,418	1,490	2,710	0,851	50,70	
Максимум	0,881	0,457	0,210	0,267	3,306	1,840	2,730	1,340	68,84	

Таблица 3.8 – Классификация осадочных горных пород

Название породы	Рыхлые окатные формы	Сцементированные окатные формы	Размер обломков, мм
Грубообломочные (псефиты)	Валуны	Конгломераты	>200
	Галька		200 - 20
	Гравий		20 – 2
Песчаные (псаммиты)	Песчаные	Песчаники	2 – 0,05
Пылеватые (алевриты)	Пылеватые	Алевролиты	0,05 – 0,005
Глинистые (пелиты)	Глинистые	Аргиллиты	<0,005

Таблица 3.9 – Разновидность глинистых грунтов по гранулометрическому составу и числу пластичности

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности I _p , д.е	Содержание песчаных частиц (2-0,05 мм), % по массе
Супесь:		
– песчанистая	0,01-0,07	>=50
– пылеватая	0,01-0,07	<50
Суглинок:		
– легкий песчанистый	0,07-0,12	>=40
– легкий пылеватый	0,07-0,12	<40
– тяжелый песчанистый	0,12-0,17	>=40
– тяжелый пылеватый	0,12-0,17	<40
Глина:		
– легкая песчанистая	0,17-0,27	>=40
– легкая пылеватая	0,17-0,27	<40
– тяжелая	>0,27	Не регламентируется

Таблица 3.10 – Разновидность глинистых грунтов по показателю текучести

Разновидность глинистых грунтов	Показатель текучести I _L , д.е
Супесь:	
– твердая	<0
– пластичная	0-1
– текучая	>1
Суглинки и глины:	

– твердые	<0
– полутвердые	0-0.25
– тугопластичные	0.25-0.5
– мягкопластичные	0.5-0.75
– текучепластичные	0.75-1.00
– текучие	>1.00

Как видно из таблицы 3.6, основными фракциями в составе буровых шламов являются фракции с размером частиц от 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 (табл. 3.8). Согласно классификационным признакам (табл. 3.9, 3.10) исследованные образцы буровых шламов отнесены к легким текучим глинам. Влажность буровых шламов во всех случаях превышает влажность на границе текучести (табл. 3.7), число пластичности находится в диапазоне от 18,3 до 26,7 %, показатель текучести больше единицы.

Высокая влажность буровых шламов, связанная в основном с содержанием глинистых частиц (табл. 3.7), которые обладают низким коэффициентом фильтрации (менее 0,005 м/сутки) и высоким коэффициентом водонасыщения (более 0,75 д.е.), является основной причиной заболачивания местности в местах расположения шламовых амбаров. В связи с этим использование буровых шламов в чистом виде при строительстве дорог может привести к возникновению нежелательных процессов изменения почв и ландшафта (заболачивание).

3.4. Экспериментальное (биотестирование) и расчетное определение класса опасности образцов бурового шлама

3.4.1. Результаты определения класса опасности образцов бурового шлама расчетным методом

Расчет класса опасности отхода выполнен с использованием документов [95, 96].

Перечень веществ, составляющих отход, и их количественное содержание установлены по результатам количественного химического анализа (табл. 3.1).

Оксиды кремния, алюминия, кальция, магния, натрия, калия являются порообразующими компонентам в почве и, соответственно, практически

неопасны для окружающей природной среды с относительным параметром опасности $X=4$, коэффициентом степени опасности $W=1000000$.

Компонент вода практически не опасен, принимаем относительный параметр опасности компонента $X=4$, коэффициент степени опасности $W=1000000$.

Первичные показатели опасности компонентов отхода и расчет относительного параметра опасности компонента отхода для окружающей природной среды приведены в таблице 3.11.

Результаты расчета класса опасности для образцов бурового шлама представлены в таблице 3.12.

Согласно классификации опасных отходов по степени опасности для окружающей природной среды [95], величина показателя степени опасности K_i , рассчитанная по содержанию токсичных компонентов в образцах составляет:

- для образцов 3, 4, 5 находится в пределах $10^2 \geq K > 10$, т.е. данные образцы бурового шлама относятся к малоопасным отходам для окружающей природной среды и принадлежат к IV классу опасности;
- для образцов 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 находится в пределах $K < 10$, т.е. данные образцы бурового шлама относятся к практически неопасным отходам для окружающей природной среды и принадлежат к V классу опасности.

Для подтверждения V класса опасности образцов бурового шлама и для уточнения класса опасности отходов, полученного расчетным методом, был использован экспериментальный метод (биотестирование).

Таблица 3.11 – Первичные показатели опасности компонента отхода

№ п/п	Первичные показатели опасности компонента отхода	Сульфаты		Fe		Mn		Cu		Cr		Натрий		Барий		Карбонаты (по натрий карбонату)		Гидрокарбонаты (по натрий гидрокарбонату)	
		Значения показателей	Балл	Значения показателей	Балл	Значения показателей	Балл												
1	ПДКп, мг/кг	-	-	-	-	1500	4	3	2	0,05	1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Класс опасности в почве	-	-	-	-	3	3	2	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	ПДКв, (ОДУ), мг/л	500	4	0,3	3	0,1	2	1,0	3	0,05	2	200	4	0,7	3	-	-	10	4
4	Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	-	-	4	4
5	ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	100	4	0,1	3	0,001	2	0,001	2	0,02	3	120	4	0,74	4	-	-	-	-
6	Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	-	-	4	4	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	-	-	-	-
7	ПДК (с.с.или м.р.) (ОБУВ) мг/м ³	0,1	2	0,04	2	0,001	1	0,002	1	0,0015	1	0,01	2	0,004	1	0,05	2	0,1	2
8	Класс опасности в атм. воздухе	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	-	-	2	2	3	3	-	-
9	ПДК п.п. (МДУ, МДС), мг/кг	-	-	15	4	-	-	0,5	2	0,1	2	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Lg(S, мг/л / ПДКв, мг.л)	3,02	2	-	-	<1	4	<1	4	<1	4	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Lg(Снас, мг/м ³ / ПДКр.з)	-	-	<1	4	<1	4	<1	4	<1	4	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Lg(Снас, мг/м ³ / ПДКс.с. или ПДКм.р.)	-	-	<1	4	<1	4	<1	4	<1	4	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Lg К ow (октанол/вода)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	LD 50 (мг/кг)	8750	4	10000	4	450	3	140	2	450	3	-	-	-	-	-	-	-	-
15	LC 50 (мг/м ³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	LC50 W (мг/л / 96 ч)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	БД = БПК5 / ХПК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	Персистентность (трансформация в окружающей среде)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	Показатель информационного обеспечения	n = 7	2	n = 10	3	n = 12	4	n = 13	4	n = 13	4	n = 5	1	n = 6	2	n = 2	1	n = 3	1
21	Относительный параметр опасности компонента	X = 25/8 = 3,125		X = 37/11 = 3,364		X = 38/13 = 2,923		X = 38/14 = 2,714		X = 37/14 = 2,642		X = 17/6 = 2,83		X = 18/7 = 2,57		X = 6/3 = 2,0		X = 11/4 = 2,75	

Продолжение таблицы 3.11

№ п/п	Первичные показатели опасности компонента отхода	Ni		Zn		Нефтепродукты		Хлориды		Кальций		Магний		Калий		Литературный источник
		Значения показателей	Балл													
1	ПДКп, мг/кг	4	2	23	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[109]
2	Класс опасности в почве	2	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[108]
3	ПДКв, (ОДУ), мг/л	0,02	2	1,0	3	0,3	3	350	4	-	-	50	4	-	-	[118-120]
4	Класс опасности в воде хозяйственно-питьевого использования	2	2	3	3	4	4	4	4	-	-	3	3	-	-	[118-120]
5	ПДКр.х. (ОБУВ), мг/л	0,01	2	0,01	2	0,05	3	300	4	180	4	40	4	50	4	[121]
6	Класс опасности в воде рыбохозяйственного использования	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	[121]
7	ПДК (с.с.или м.р.) (ОБУВ) мг/м ³	0,001	1	0,05	2	0,05	2	-	-	0,3	3	0,05	2	-	-	[122-123]
8	Класс опасности в атм. воздухе	2	2	3	3	-	-	-	-	-	-	3	3	-	-	[124]
9	ПДК п.п. (МДУ, МДС), мг/кг	0,1	2	3,0	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[96]
10	Lg(S, мг/л / ПДКв, мг/л)	<1	4	<1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[96, 124]
11	Lg(Снас, мг/м ³ / ПДКр.з)	<1	4	<1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[96, 125-126]
12	Lg(Снас, мг/м ³ / ПДКс.с. или ПДКм.р.)	<1	4	<1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	[96, 125-126]
13	Lg K _{ow} (октанол/вода)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	LD 50 (мг/кг)	780	2	47	2	28350	4	-	-	-	-	-	-	-	-	[127-129]
15	LC 50 (мг/м ³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	LC50 W (мг/л / 96 ч)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	БД = БПК ₅ / ХПК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	Персистентность (трансформация в окружающей среде)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	Биоаккумуляция (поведение в пищевой цепочке)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	Показатель информационного обеспечения	n = 13	4	n = 13	4	n = 6	2	n = 4	1	n = 3	1	n = 6	2	n = 2	1	
21	Относительный параметр опасности компонента	X = 36/14 = 2,571		X = 41/14 = 2,929		X = 21/7 = 3,0		X = 17/5 = 3,4		X = 12/4 = 3,0		X = 22/7 = 3,14		X = 9/3 = 3,0		

Таблица 3.12 – Результаты расчета класса опасности образцов бурового шлама

Наименование	Номер образца												Xi	Zi	lgWi	Wi (мг/кг)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
	C _i (мг/кг)															
Породообразующие	777700	780700	748300	783600	710400	768300	781600	775900	770300	850600	873800	928700	4.000	5.000	6.000	1000000
Медь	44.19	47.48	22.9	19.83	24.3	31.9	27.1	44	28.1	50.8	30.5	17.6	2.714	3.285	3.285	1927.525
Никель	24.16	27.53	23.14	24.12	21.6	21.5	25.7	24	25.6	55.2	35.4	32.4	2.571	3.095	3.095	1244.515
Хром	70.57	58.43	52.12	51.7	56.6	66.3	60.6	68.5	71.1	103.5	105.6	64.4	2.642	3.189	3.189	1545.254
Железо	37100	28000	24600	28800	26100	31500	31900	32800	36300	46200	30000	18500	3.364	4.152	4.165	14621.77
Марганец	645	494	357	742	353	507	503	680	569	1201	861.5	320	2.923	3.564	3.564	3664.375
Цинк	62.4	161	53.4	50	51.2	56.6	58.3	65.1	48.4	104.9	90.1	82.6	2.929	3.572	3.572	3732.502
Барий	734	784	373	367	305	987	990	890	581	1215	1953	1692	2.570	3.093	3.093	1238.797
Нефтепродукты	3310	2050	8610	5520	8500	7080	3125	4240	2550	624.22	182.42	897.36	3.000	3.667	3.667	4645.153
Хлориды	175	577	41988	24908	33240	750	343	338	230	239.4	91.5	279.4	3.400	4.200	4.222	16672.47
Сульфаты	166	1555	295	120	95	3345	262	400	184	103.2	135.7	32	3.125	3.833	3.833	6807.693
Гидрокарбонаты	592	634	1305	1025	1183	1647	1050	1232	1513	488	366	610	2.750	3.333	3.333	2152.782
Карбонаты	132	660	0	0	0	240	132	216	396	0	0	0	2.000	2.333	2.333	215.278
Кальций	79	194	1038	511	673	136	104	77	147	29.7	23.7	47.7	3.000	3.667	3.667	4645.153
Магний	18	10	37	22	29	25	24	17	34	9.88	7.25	13.9	3.140	3.853	3.853	7128.53
Калий	50	145	31540	19070	32010	89	63	50	42	11.4	9.19	16	3.000	3.667	3.667	4645.153
Натрий	792	1384	5273	3066	4405	1310	740	800	780	355.3	258.5	556.4	2.830	3.440	3.440	2754.229
Вода	178305.68	182518.56	136132.44	132103.35	182553.30	183907.70	178992.30	182158.40	186200.80	98608.50	92049.64	48138.24	4.000	5.000	6.000	1000000
Сумма	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000				

Продолжение таблицы 3.12

Наименование	Номер образца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	K _i											
Породообразующие	0.7777	0.7807	0.7483	0.7836	0.7104	0.7683	0.7816	0.7759	0.7703	0.8506	0.8738	0.9287
Медь	0.02292577	0.0246326	0.0118805	0.0102878	0.0126068	0.0165497	0.0140595	0.0228272	0.0145783	0.026355	0.0158234	0.0091309
Никель	0.01941319	0.0221211	0.0185936	0.019381	0.0173562	0.0172758	0.0206506	0.0192846	0.0205703	0.0443546	0.0284448	0.0260342
Хром	0.04566887	0.0378126	0.0337291	0.0334573	0.0366283	0.0429056	0.0392169	0.0443293	0.0460119	0.0669793	0.0683383	0.041676
Железо	2.53731234	1.9149527	1.6824227	1.9696656	1.7850095	2.1543218	2.1816783	2.2432303	2.4825994	3.159672	2.051735	1.2652366
Марганец	0.1760191	0.1348115	0.0974245	0.2024902	0.0963329	0.1383592	0.1372676	0.1855705	0.1552789	0.3277503	0.2351015	0.0873273
Цинк	0.01671801	0.0431346	0.0143068	0.0133958	0.0137173	0.0151641	0.0156195	0.0174414	0.0129672	0.0281045	0.0241393	0.0221299
Барий	0.59251031	0.6328721	0.3010986	0.2962552	0.2462066	0.7967407	0.7991624	0.7184389	0.4690034	0.9807902	1.5765295	1.3658412
Нефтепродукты	0.71257072	0.4413202	1.853545	1.1883355	1.8298644	1.5241694	0.6727443	0.9127794	0.5489593	0.1343809	0.039271	0.193182
Хлориды	0.01049634	0.0346079	2.5184028	1.4939596	1.9937056	0.0449843	0.0205728	0.0202729	0.0137952	0.014359	0.0054881	0.0167582
Сульфаты	0.02438418	0.2284181	0.0433333	0.0176271	0.0139548	0.4913559	0.0384859	0.0587571	0.0270282	0.0151593	0.0199333	0.0047006
Гидрокарбонаты	0.27499301	0.2945026	0.6061924	0.4761281	0.5495215	0.7650566	0.487741	0.5722827	0.7028115	0.2266834	0.1700126	0.2833543
Карбонаты	0.61316066	3.0658033	0	0	0	1.1148376	0.6131607	1.0033538	1.839482	0	0	0
Кальций	0.01700697	0.041764	0.2234587	0.1100071	0.1448822	0.0292778	0.0223889	0.0165764	0.0316459	0.0063938	0.0051021	0.0102688
Магний	0.00252506	0.0014028	0.0051904	0.0030862	0.0040682	0.003507	0.0033668	0.0023848	0.0047696	0.001386	0.001017	0.0019499
Калий	0.01076391	0.0312153	6.7898732	4.1053545	6.891054	0.0191598	0.0135625	0.0107639	0.0090417	0.0024542	0.0019784	0.0034445
Натрий	0.28755779	0.5025	1.9145104	1.1131972	1.5993587	0.4756322	0.2686777	0.2904624	0.2832009	0.1290016	0.0938557	0.2020166
Вода	0.17830568	0.1825186	0.1361324	0.1321034	0.1825533	0.1839077	0.1789923	0.1821584	0.1862008	0.0986085	0.0920496	0.0481382
Сумма	6.32003191	8.41509	16.998394	11.968332	16.12722	8.6015051	6.3089476	7.0968141	7.6182443	6.1130326	5.3026197	4.5098892
Класс опасности	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5

3.4.2. Результаты определения класса опасности образцов бурового шлама экспериментальным методом (биотестирование)

Биотестирование проводилось на следующих тест-объектах:

А) низшие ракообразные – *Daphnia magna Straus*;

Б) зеленые протококковые водоросли – *Scenedesmus quadricauda (Turp.) Bred.*

Результаты биотестирования представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты биотестирования образцов бурового шлама

Номер образца	Количество выживших дафний			Смертность дафний в опыте, в % к контролю			Численность водорослей, тыс. кл./см ³			Отклонение тест-параметра в опыте, в % к контролю			Класс опасности
	Концентрации водной вытяжки из бурового шлама												
	Контроль	100 %	1 %	Контроль	100 %	1 %	Контроль	100 %	1 %	Контроль	100 %	1 %	
1	10	10	-	-	0	-	350	308	-	-	13,7	-	5
2	10	10	-	-	0	-	370	390	-	-	5,4	-	5
3	10	0	10	-	100	0	410	0	383	-	100	6,6	4
4	10	0	10	-	100	0	410	0	435	-	100	6,1	4
5	10	0	10	-	100	0	410	0	415	-	100	1,2	4
6	10	9,3	-	-	6,7	-	350	288	-	-	17,7	-	5
7	10	10	-	-	0	-	350	300	-	-	14,3	-	5
8	10	10	-	-	0	-	350	283	-	-	19,1	-	5
9	10	10	-	-	0	-	350	318	-	-	9,1	-	5
10	10	10	-	-	0	-	315	270	-	-	14,3	-	5
11	10	10	-	-	0	-	315	258	-	-	18,1	-	5
12	10	0,7	10	-	93,4	0	315	160	308	-	49,2	2,2	4

Как видно из таблиц 3.12 и 3.13, расчетные и экспериментальные данные по оценке класса опасности совпадают между собой практически во всех случаях (кроме образца № 12), что создает основу для использования расчетных данных для оценки вклада отдельных компонентов состава буровых шламов в общую оценку показателя степени опасности.

В ходе исследования буровых шламов [130, 131] показано, что V класс опасности для окружающей природной среды сохраняется до содержания сухого остатка в водной вытяжке 33,5 г/кг и нефтепродуктов 7,08 г/кг (табл. 3.14).

Таблица 3.14 – Вклад компонентов бурового шлама в класс опасности

Образец	Класс опасности	Нефтепродукты (мг/кг)	Сухой остаток (мг/кг)
1	V	3310	21700
2	V	2050	7600
3	IV	8610	104600
4	IV	5520	65600
5	IV	8500	100890
6	V	7080	21820
7	V	3125	33500
8	V	4240	25600
9	V	2550	21570
10	V	624,22	19860
11	V	182,42	10750
12	IV	897,36	33600
Максимальное значение для V класса опасности		7080	33500

Проведенные исследования свойств и оценка влияния компонентов, входящих в состав буровых шламов показали, что шламы оказывают негативное воздействие на компоненты окружающей природной среды. Высокое содержание растворимых солей, высокая щелочность и наличие нефтепродуктов оказывают неблагоприятное влияние на растительный и животный мир. Загрязнение атмосферного воздуха происходит в основном из-за испарения с поверхности шламового амбара легких фракций нефтепродуктов, содержащихся в буровом шламе. Высокая влажность и содержание глинистых частиц является основной причиной заболачивания местности в местах расположения шламовых амбаров. Наличие растворимых солей в буровых шламах может стать причиной засоления почвенного покрова. В связи с тем, что шламовый амбар представляет собой гидроизолированный котлован, воздействие буровых шламов на подземные и поверхностные воды может произойти при нарушении гидроизоляции, а также вследствие переполнения шламового амбара и подтопления местности. Из-за наличия в почвах геохимических барьеров почвы являются наиболее подверженным загрязнению компонентом окружающей природной среды, принимающим на себя основной объем загрязнения.

3.5. Эколого-экономическая оценка ущерба, причиненного почвам как объекту окружающей среды буровыми шламами

Для оценки ущерба, нанесенного почве, как объекту окружающей среды, от которого зависят процессы почвообразования, миграции загрязнителей, состояние растительности и животного мира, произведен расчет эколого-экономического ущерба от размещения бурового шлама [132].

Согласно Инструкции по охране окружающей среды при строительстве скважин на нефть и газ на суше [133] общий объем отходов бурения складывается из объема шлама, который образуется в результате вырубki породы, отработанного бурового раствора и буровых сточных вод.

Расчет объема выбуренной породы для глубины бурения 3000 м при строительстве скважин приведен в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Расчет объема выбуренной породы

Наименование параметров	Интервалы бурения, м [134]		
	0-30	30-500	500-3000
Диаметр скважины, D_i , мм	0,394	0,295	0,215
Длина интервала ствола скважины, L_i , м	30	470	2500
Коэффициент кавернозности, k_i [135]	1,3	1,3	1,25
Объем интервала скважины, $V_i = 0.785 \cdot k_i \cdot D_i^2 \cdot L_i, \text{ м}^3$	4,75	41,74	113,4
Итого: объем выбуренной породы $V_{\text{п}} = \sum V_i, \text{ м}^3$	159,89		

При этом объем шлама рассчитывается исходя из диаметра скважины и ее глубины по формуле (3.1) [132, 133]:

$$V_{\text{ш}} = 1.2 \cdot V_{\text{п}}, \quad (3.1)$$

где $V_{\text{ш}}$ – объем шлама;

$V_{\text{п}}$ – объем выбуренной породы;

1.2 – коэффициент, учитывающий разуплотнение выбуренной породы.

$$V_{\text{ш}} = 1.2 \cdot 159.89 = 191.87 \text{ м}^3$$

Объем отработанного бурового раствора рассчитывается по формуле (3.2) [132, 133]:

$$V_{\text{обр}} = 1.2 \cdot V_{\text{п}} \cdot K_1 + 0.5 \cdot V_{\text{ц}}, \quad (3.2)$$

где $V_{\text{обр}}$ – объем отработанного бурового раствора;

K_1 – коэффициент, учитывающий потери бурового раствора, уходящего со шламом при очистке на вибросите, пескоотделителе и илоотделителе ($K_1=1,052$);

$V_{\text{ц}}$ – объем циркуляционной системы буровой установки (согласно [133]

$V_{\text{ц}} = 120$ м при глубине бурения 3000 м).

$$V_{\text{обр}} = 1.2 \cdot 159.89 \cdot 1.052 + 0.5 \cdot 120 = 261.85 \text{ м}^3$$

Объем буровых сточных вод при внедрении оборотной системы водоснабжения рассчитывается по формуле (3.3) [132, 133]:

$$V_{\text{бсв}} = 2 \cdot V_{\text{обр}}, \quad (3.3)$$

где $V_{\text{бсв}}$ – объем буровых сточных вод.

$$V_{\text{бсв}} = 2 \cdot 261.85 = 523.7 \text{ м}^3$$

Расчет объема шламового амбара производится по формуле (3.4) [132, 133]:

$$V_{\text{ша}} = 1.1 \cdot (V_{\text{ш}} + V_{\text{обр}} + V_{\text{бсв}}), \quad (3.4)$$

где $V_{\text{ш}}$ – объем шлама;

$V_{\text{ша}}$ – объем шламового амбара.

Таким образом, средний объем шламового амбара

$$V_{\text{ша}} = 1.1 \cdot (191.87 + 261.85 + 523.7) = 1075.16 \text{ м}^3$$

Предположим, что средняя глубина шламового амбара 2 м. Отсюда следует, что средняя площадь шламового амбара составляет 550 м^2 .

Согласно Методике исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды [136] исчисление в стоимостной форме

размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, осуществляется по формуле (3.5):

$$УЩ = УЩ_{загр} + УЩ_{отх} + УЩ_{порч}, \quad (3.5)$$

где $УЩ_{загр}$ – размер вреда при химическом загрязнении почв, руб;

$УЩ_{отх}$ – размер вреда в результате несанкционированного размещения отходов производства и потребления, руб;

$УЩ_{порч}$ – размер вреда при порче почв в результате самовольного (незаконного) перекрытия поверхности почв и почвенного профиля искусственными покрытиями и (или) линейными объектами, руб.

Размер вреда в результате несанкционированного размещения отходов и размер вреда при порче почв в результате самовольного (незаконного) перекрытия поверхности почв при размещении бурового шлама в шламовом амбаре отсутствует.

Вред при химическом загрязнении почв исчисляется согласно [136] в стоимостной форме по формуле (3.6):

$$УЩ_{загр} = СХВ \times S \times K_r \times K_{исх} \times T_x, \quad (3.6)$$

где $СХВ$ – степень химического загрязнения;

S – площадь загрязненного участка ($м^2$);

K_r – показатель в зависимости от глубины химического загрязнения или порчи почв;

$K_{исх}$ – показатель в зависимости от категории земель и целевого назначения, на которой расположен земельный участок;

T_x – такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при химическом загрязнении почв, руб/ $м^2$.

Показатели K_r , $K_{исх}$, T_x определяются согласно методике [136]:

- K_r при глубине шламового амбара 2 м принимаем равным 2,0;
- $K_{исх}$ для земель остальных категорий и видов целевого назначения принимаем равным 1,0;

- T_x для среднетаежной почвенно-климатической зоны принимаем равным 500.

Площадь загрязненного участка (S) принимаем равным площади шламового амбара (550 м²).

Степень химического загрязнения зависит от соотношения фактического содержания i-го химического вещества в буровом шлеме к нормативу качества окружающей среды для почв (C) (табл. 3.16).

Таблица 3.16 – Расчет соотношения (C)

Наименование вещества	Ед. изм.	Среднее содержание загрязняющих веществ в буровом шлеме (табл. 3.1)	ПДК (ОДК) в почве [106, 109, 110]	C_i
Медь	мг/кг	32,39	66	0,49
Никель	мг/кг	28,36	40	0,71
Хром	мг/кг	69,12	90	0,77
Марганец	мг/кг	602,70	1500	0,40
Цинк	мг/кг	73,67	110	0,67
Нефтепродукты	мг/кг	3890,75	5000	0,78
Хлориды	мг/кг	8596,61	360	23,88
ΣC				27,7

Согласно методике [136] при значении (C) в интервале от 20 до 30 степень химического загрязнения (СХВ) принимается равной 4,0.

Таким образом, размер вреда при химическом загрязнении почв в результате размещения отходов бурения в шламовом амбаре объемом 1075 м³ составляет:

$$УЩ_{\text{загр}} = 4 \times 550 \times 2 \times 1 \times 500 = 2200000 \text{ руб.}$$

Так как расчеты, приведенные выше, показали, что объем бурового шлама, размещенного в шламовом амбаре объемом $V_{\text{ша}} = 1075 \text{ м}^3$, составляет $V_{\text{ш}} = 192 \text{ м}^3$, то ущерб от размещения бурового шлама в шламовом амбаре составляет 384000 рублей. Таким образом, стоимостный ущерб от размещения 1 м³ бурового шлама составляет 2000 рублей.

С учетом того, что ежегодно в Западной Сибири образуется более 7 млн. м³ отходов бурения (включая 1250232,6 м³ бурового шлама), ежегодный суммарный эколого-экономический ущерб (вред) почве, как объекту окружающей среде, от

размещения бурового шлама в шламовых амбарах составляет 2500,465 млн. руб. При этом происходит деградация почв на площади 3,581 млн. м² (358,1 га) [132].

Таким образом, размещение бурового шлама в шламовом амбаре или на территории буровой может наносить значительный ущерб окружающей среде, поэтому утилизация его с получением экологически безопасного для окружающей среды материала представляется важной задачей.

Проведенная по результатам исследования оценка возможности использования буровых шламов показала, что вследствие значительного содержания глинистых частиц и солей, высоких значений рН, высокой природной влажности непосредственное использование их для возведения дорог невозможно. Однако, наличие в составе буровых шламов породообразующих компонентов, таких как оксид кремния, оксид алюминия и др. (табл. 3.1), 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 экологических и строительных характеристик.

Результаты проведенных исследований характеристик буровых шламов показали, что для получения геоэкологически устойчивой продукции на основе буровых шламов необходимо обеспечить:

- устойчивость экосистемы в виде сохранения своих функций, структуры и параметров при использовании грунтовых смесей на основе буровых шламов (экологическая устойчивость);
- устойчивость земляного полотна в виде сопротивления внутренним и внешним нагрузкам, сохранения первоначального состояния без разрушения (конструктивная устойчивость).

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 3

На основании проведенных экспериментальных исследований по определению физико-химических характеристик образцов бурового шлама выявлено следующее:

1. Фазовый состав исследованных образцов буровых шламов представлен фазами диоксида кремния и карбоната кальция. По данным химического анализа диоксид кремния является основным компонентом твердой фазы.
2. Основные различия составов водной вытяжки отдельных образцов заключаются в их минерализации (сумма содержания солей) и величине рН. Во всех образцах обнаружено присутствие ионов, соответствующих различным формам угольной кислоты (карбонатов и гидрокарбонатов).
3. Содержание тяжелых металлов в буровых шламах практически во всех исследованных образцах не превышает установленных ПДК (ОДК) в пробах почв на территориях лицензионных участков добычи нефти Западной Сибири.
4. Исследование физических характеристик образцов бурового шлама показало, что все исследованные образцы относятся к легким текучим глинам. Основными фракциями в составе буровых шламов являются пылеватая с размерами частиц от 0,05 до 0,005 мм и глинистая с размерами частиц менее 0,005 мм.
5. Определение класса опасности исследованных образцов бурового шлама расчетным и экспериментальным методами дало идентичные результаты. Образцы бурового шлама соответствуют IV и V классу опасности для окружающей природной среды.
6. Научно обоснованы граничные условия влияния содержания отдельных компонентов состава бурового шлама на выживаемость низших ракообразных и численность клеток водорослей. Показано, что V класс опасности бурового шлама, при котором негативное влияние на тест-объекты минимально, сохраняется до содержания по растворимым солям (по сухому остатку) – 33,5 г/кг; по нефтепродуктам – 7,08 г/кг.
7. Оценена экологическая нагрузка на компоненты окружающей среды от воздействия буровых шламов. Определен эколого-экономический ущерб от размещения буровых шламов в шламовом амбаре, который составляет 2000 рублей на 1 м³ бурового шлама. Ежегодный суммарный эколого-

экономический ущерб (вред) почве, как объекту окружающей среде, от размещения бурового шлама в шламовых амбарах составляет для условий Западной Сибири 2500,465 млн. руб. При этом происходит деградация почв на площади 3,581 млн. м² (358,1 га).

8. Результаты исследований буровых шламов позволили оценить и научно обосновать возможность использования их в качестве компонента для изготовления грунтовых смесей.

ГЛАВА 4 – НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ПОЛУЧЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВЫХ ГРУНТОВЫХ СМЕСЕЙ

Изготовленные с использованием бурового шлама экологически безопасные грунтовые смеси должны удовлетворять как строительным требованиям, предъявляемым к грунтам для сооружения земляного полотна, так и экологическим требованиям, обеспечивающим экологически допустимое воздействие на окружающую среду.

В качестве компонентов грунтовой смеси, использование которых при смешении с буровым шламом может обеспечить получение материала, удовлетворяющего строительным и экологическим требованиям, использованы песок и стабилизатор грунтов Polybond.

Условия, накладываемые на получение геоэкологически устойчивых смесей, предназначенных для создания элементов инженерных сооружений и проведения природоохранных мероприятий, можно разделить на две группы.

К первой группе относятся условия, вытекающие из строительных требований, предъявляемым к грунтам, используемым для возведения элементов земляного полотна (конструктивная устойчивость).

Ко второй группе относятся условия, предотвращающие воздействие изготовленной грунтовой смеси на экологическую обстановку (экологическая устойчивость). Эта группа условий формулируется как обеспечение соответствия свойств полученной продукции нетоксичности (не оказывает острого токсического действия на тест-объекты) для окружающей природной среды. Такие материалы с точки зрения токсичности могут размещаться в окружающей среде без каких-либо ограничений.

4.1. Технические решения и ограничения, обеспечивающие конструктивную устойчивость

В качестве ограничений, обеспечивающих конструктивную устойчивость грунтовых смесей на основе буровых шламов, приняты требования,

предъявляемые к грунтам земляного полотна автодорог, используемым в дорожном строительстве.

В соответствии с СП 34.13330.2012 [137] в качестве грунтов для сооружения элементов земляного полотна автодороги (рабочий слой, тело насыпи, основание насыпи и др.) могут быть использованы, наряду с природными дорожными материалами (песок), специфические грунты – засоленные и техногенные грунты.

К техногенным грунтам согласно классификации ГОСТ 25100-2011 [114] относятся: техногенно измененные в условиях естественного залегания природные грунты; техногенно перемещенные природные грунты; антропогенно образованные грунты.

В связи с тем, что буровой шлам является глинистым и засоленным отходом бурения с высоким содержанием порообразующих элементов геологической среды, он и продукция на его основе могут быть классифицированы как антропогенные грунты – грунты, созданные человеком, представленные отходами или продуктами его производственной и/или хозяйственной деятельности, являющимися компонентами геологической среды [114]. Глинистые грунты, используемые для возведения земляного полотна на местности всех типов, должны удовлетворять требованиям (табл. 4.1), приведенным в документах [138, 139].

Таблица 4.1 – Требования для талых глинистых грунтов [138, 139]

Грунт	Максимальное содержание частиц (%)		Часть насыпи (глубина слоя от низа дорожной одежды, м)	Тип дорожной одежды	Тип местности
	Пылеватых	Глинистых			
Супеси легкие	30	10	Верхняя (до 1,5)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	3
Супеси легкие	35	15	Нижняя неподтапливаемая (1,5 - 6,0)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	2
Супеси легкие	35	15	Нижняя подтапливаемая (1,5 - 6,0)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	1
Супеси легкие	35	15	Нижняя подтапливаемая (1,5 - 6,0)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	2
Супеси легкие	35	15	Нижняя подтапливаемая (1,5 - 6,0)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	3

Грунт	Максимальное содержание частиц (%)		Часть насыпи (глубина слоя от низа дорожной одежды, м)	Тип дорожной одежды	Тип местности
	Пылеватых	Глинистых			
Супеси легкие	35	15	Нижняя подтапливаемая (1,5 - 6,0)	Переходный, низший	1
Супеси легкие	35	15	Нижняя неподтапливаемая (1,5 - 6,0)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	3
Супеси легкие, суглинки легкие	35	15	Верхняя (до 1,5)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	1
Супеси легкие, суглинки легкие	35	15	Верхняя (до 1,5)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	2
Супеси легкие, суглинки легкие	35	15	Нижняя неподтапливаемая (1,5 - 6,0)	Капитальный с усовершенствованным покрытием, облегченный	1
Супеси легкие, суглинки легкие	40	20	Нижняя подтапливаемая (1,5 - 6,0)	Переходный, низший	3
Супеси легкие, суглинки легкие	40	20	Нижняя неподтапливаемая (1,5 - 6,0)	Переходный, низший	3
Супеси, суглинки	50	20	Верхняя (до 1,5)	Переходный, низший	2
Супеси, суглинки	50	20	Верхняя (до 1,5)	Переходный, низший	3
Супеси, суглинки	50	25	Верхняя (до 1,5)	Переходный, низший	1
Супеси, суглинки легкие пылеватые	55	25	Нижняя неподтапливаемая (1,5 - 6,0)	Переходный, низший	1
Супеси, суглинки легкие пылеватые	55	25	Нижняя неподтапливаемая (1,5 - 6,0)	Переходный, низший	2
Супеси, суглинки (до 70%)			Нижняя подтапливаемая (1,5 - 6,0)	Переходный, низший	2

Типы местности по условиям увлажнения и мерзлотно-грунтовым условиям (табл. 4.2) принимаются согласно документу [138].

Таблица 4.2 – Типы местности в зависимости от характеристик

Характеристика	Тип местности по условиям увлажнения		
	1-й	2-й	3-й
Условия увлажнения грунтов	Сухие места. Поверхностный сток обеспечен; надмерзлотные воды не оказывают существенного влияния на увлажнение верхней толщи грунтов	Сырые места. Поверхностный сток не обеспечен; в летний период возможно избыточное увлажнение грунтов в сезоннооттаивающем слое поверхностными и надмерзлотными водами	Мокрые места. Поверхностный сток не обеспечен; в летний период постоянное избыточное увлажнение грунтов в сезоннооттаивающем слое поверхностными и надмерзлотными водами
Характеристика рельефа	Каменистые возвышенности, сопки с крутыми склонами, гравийно-галечниковые и песчаные косы	Плоские водоразделы, горы с пологими склонами и со шлейфами	Мари, заболоченные тальвеги, замкнутые впадины с развитым моховым покровом и торфом
Мощность сезоннооттаивающего слоя, м	>2,5	1,0 - 2,5	<1
Тип грунтов	Крупнообломочные, гравийно-галечниковые, песчаные, супесчаные	Песчаные, глинистые, биогенные	Глинистые, торфяные, возможно наличие подземных льдов
Характеристика	Массивная текстура,	Массивная и слоистая текстура,	Слоистая и сетчатая текстуры,

Характеристика	Тип местности по условиям увлажнения		
	1-й	2-й	3-й
грунтов	непросадочные или талые с относительной влажностью ниже $0,77W_T$	малольдистые и малопросадочные с относительной влажностью $(0,77 \div 1)W_T$	льдистые и сильнольдистые, просадочные и сильнопросадочные с относительной влажностью выше W_T
Мерзлотные процессы и явления	Отсутствуют	Заболачивание, сезонные бугры пучения	Заболачивание, многолетние бугры пучения, торфяники, термокарст, солифлюкция

Из таблицы 4.1 следует, что для возведения земляного полотна на местности всех типов возможно использование только супесей и суглинков. При этом отношение допустимой доли пылеватых частиц к допустимой доле глинистых частиц колеблется от 2 до 3, а доля глинистых частиц, допускающая применение для любых видов работ, исключая верхние части насыпи в местностях 3 типа, составляет 15%.

Очевидно, что непосредственное использование буровых шламов для возведения насыпей недопустимо практически во всех случаях, поскольку содержание глинистых частиц в образцах бурового шлама, согласно таблице 3.6, колеблется от 25 до 45 масс. %, что выше требований, определенных в таблице 4.1.

В то же время приготовление композиций, состоящих из бурового шлама и песка, которые будут удовлетворять условиям, перечисленным в таблице 4.1, представляется возможным.

Для сооружения рабочего слоя земляного полотна и насыпей необходимо использовать согласно СП 34.13330.2012 [137] грунты нормальной влажности (диапазон влажности от 90 % оптимальной влажности до допустимой влажности).

Использование стабилизатора грунтов Polybond возможно при условии соблюдения требований по содержанию песчаных частиц. Согласно ОДМ 218.3.076-2016 [84] для стабилизации пригодны грунты с содержанием песчаных частиц не менее 20 %. Выполненная оценка пригодности буровых шламов к стабилизации с использованием стабилизаторов грунтов, применяемых в дорожном строительстве [140] показала, что в целом по совокупности физико-

химических свойств и гранулометрическому составу шламы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к грунтам для стабилизации.

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

Так, согласно СП 34.13330.2012 [137] для устройства насыпей с учетом экологических и санитарных требований разрешается применять без ограничения грунты и отходы промышленности, мало меняющие прочность и устойчивость под воздействием погодно-климатических факторов.

Таким образом, из вышесказанного можно выделить следующие основные строительные требования, предъявляемые к смесям на основе буровых шламов для использования их при возведении элементов земляного полотна автодорог:

1. Для возведения элементов земляного полотна необходимо использовать такие разновидности глинистых грунтов, как супеси легкие и суглинки.

2. Максимальная доля глинистых частиц в грунтовой смеси, допускающая ее применение для любых видов работ, исключая верхние части насыпи в местностях 3 типа, составляет 15 %.

3. Максимальная доля пылеватых частиц в грунтовой смеси, допускающая ее применение для любых видов работ, исключая верхние части насыпи в местностях 3 типа, составляет 35 %.

4. Минимальная доля песчаных частиц в смеси бурового шлама с песком, допускающая применение стабилизаторов грунтов, составляет 20 %.

5. Влажность грунтовых смесей должна соответствовать требованиям, предъявляемых к техногенным грунтам для создания элементов инженерных сооружений и проведения природоохранных мероприятий.

6. Прочностные характеристики грунтовых смесей должны соответствовать требованиям, предъявляемых к техногенным грунтам для создания элементов инженерных сооружений и проведения природоохранных мероприятий.

Для обеспечения вышеуказанных требований были проведены модельные эксперименты [131] и лабораторные исследования по подбору оптимальных соотношений бурового шлама, песка и стабилизатора грунтов Polybond.

По результатам проведенных исследований (табл. 3.7) выявлено, что отношение доли пылеватых частиц к доле глинистых частиц для исследованных образцов во всех случаях было меньше 2. Данный факт свидетельствует о том, что при смешении шлама с песком фактором, определяющим соотношение компонентов, будет содержание глинистых частиц в исходном шламе.

Для оценки возможного диапазона соотношения компонентов в грунтовой смеси были проведены модельные расчеты [131]. При расчете было принято, что:

1. Содержание в буровых шламах глинистых частиц принято в интервале от 25 до 50 масс. % (табл. 3.7).
2. Содержание в песке глинистых частиц принималось на уровне 1, 2, 3 и 5 масс. %, что соответствует требованиям по содержанию глинистых частиц в песках [82].
3. Допустимая доля глинистых частиц в грунтовой смеси принята равной 15 масс. %, что соответствует требованиям к талым глинистым грунтам, используемым для возведения земляного полотна автодорог [138, 139].
4. Доля бурового шлама в грунтовой смеси рассчитывалась по формуле (4.1):

$$\beta = \frac{W_{\text{д}} - W_{\text{п}}}{W_{\text{ш}} - W_{\text{п}}}, \quad (4.1)$$

где β – массовая доля бурового шлама (в расчете на сухой вес);

$W_{\text{ш}}$ – доля глинистых частиц в буровом шламе;

$W_{\text{п}}$ – доля глинистых частиц в песке;

$W_{\text{д}}$ – доля глинистых частиц в грунтовой смеси.

В таблице 4.3 приведена расчетная допустимая доля бурового шлама в грунтовой смеси, исходя из допустимой доли глинистых частиц в этой смеси 15 масс. %.

Таблица 4.3 – Допустимая доля бурового шлама в грунтовой смеси (на сухой вес)

Содержание глинистых частиц в буровом шламе (масс. %)	Содержание глинистых частиц в песке (масс. %)			
	1	2	3	5
25	0.583	0.565	0.545	0.500
30	0.483	0.464	0.444	0.400
35	0.412	0.394	0.375	0.333
40	0.359	0.342	0.324	0.286
45	0.318	0.302	0.286	0.250
50	0.286	0.271	0.255	0.222

Таким образом, в зависимости от содержания глинистых частиц в буровом шламе и песке допустимая доля бурового шлама в грунтовой смеси, исходя из допустимой доли глинистых частиц в этой смеси 15 масс. % может составлять от 22,2 до 58,3 масс. % в расчете на сухой вес компонентов. В пересчете на отношение шлам-песок минимально необходимая добавка песка для обеспечения допустимой доли глинистых частиц в смеси 15 масс. % может составлять от 1:0,7 до 1:3,5 [131].

Для оценки доли песка в смеси с буровым шламом, при которой будет соблюдаться требование по обеспечению допустимых концентраций тяжелых металлов, выполнены расчеты по формуле (4.2). Показано, что для максимального содержания тяжелых металлов в буровом шламе (цинк – 1,46 ОДК – табл. 3.4) соотношение шлам-песок для обеспечения допустимых концентраций тяжелых металлов в смеси будет равно 1:0,544, что ниже минимального отношения шлам-песок (1:0,7), принятого для регулировки содержания глинистых частиц.

$$n = \frac{C_i^{\text{ПДК(ОДК)}} - C_i^{\text{бш}}}{C_i^{\text{п}} - C_i^{\text{ПДК(ОДК)}}}, \quad (4.2)$$

где n – доля песка в смеси с буровым шламом;

$C_i^{\text{ПДК(ОДК)}}$ – ПДК (ОДК) i -го компонента;

$C_i^{\text{бш}}$ – содержание i -го компонента в буровом шламе;

$C_i^{\text{п}}$ – содержание i -го компонента в песке.

Для определения возможности получить на основе бурового шлама продукцию, отвечающую требованию, предъявляемому к разновидности грунта (суглинок, супесь) для образцов бурового шлама и смесей бурового шлама с песком проведены эксперименты по определению влажности на границе текучести с параллельным определением гранулометрического состава.

Зависимость влажности на границе текучести от содержания глинистых частиц в исследованных образцах представлена на рисунке 4.1.

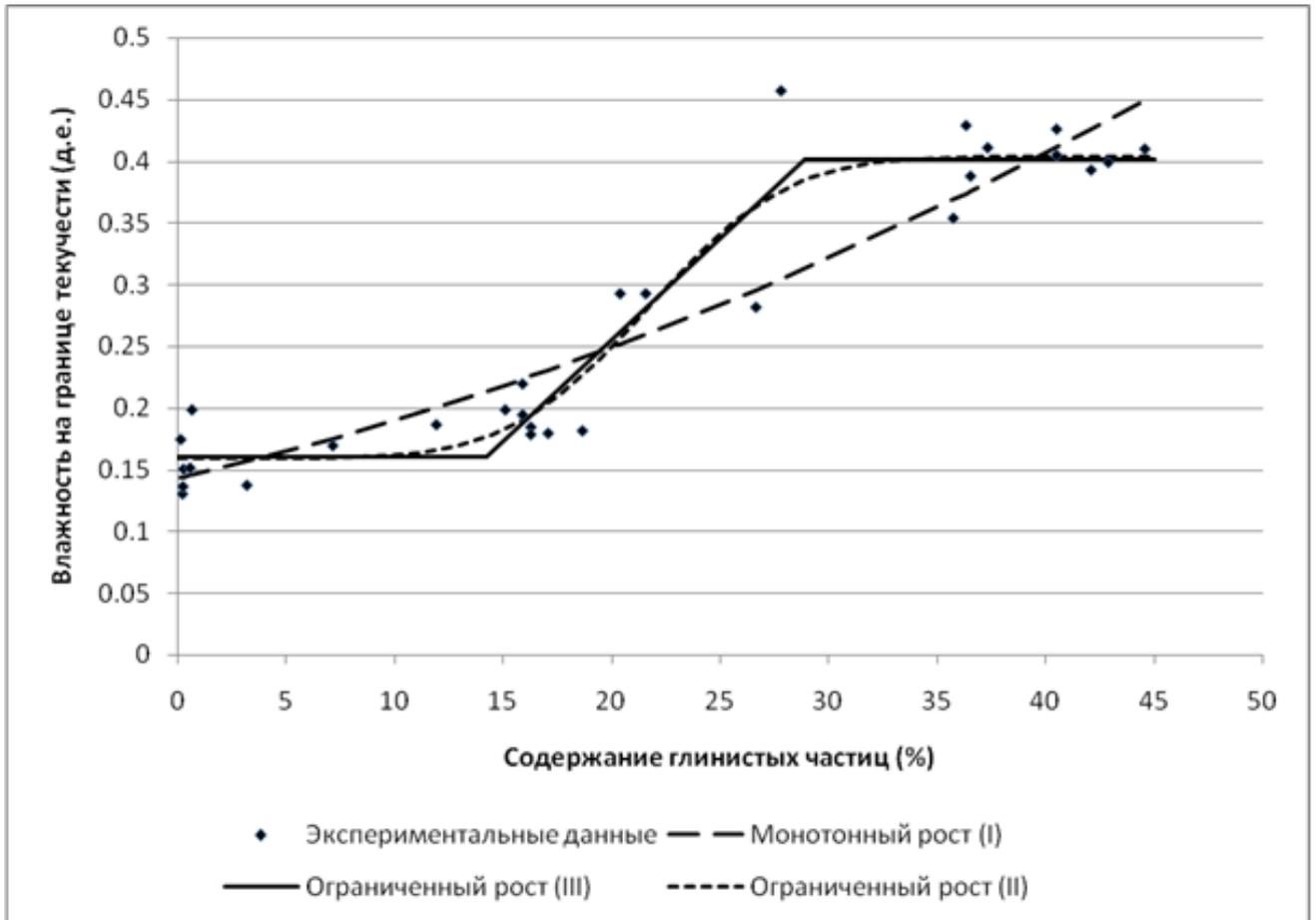


Рисунок 4.1 – Зависимость влажности на границе текучести от содержания глинистых частиц

Из рисунка 4.1 видно, что влажность материала на границе текучести возрастает с ростом содержания глинистых частиц. Рассмотрены две гипотезы о характере этого роста – гипотезы о монотонном и ограниченном росте [131]. В первом случае (I) зависимость представлялась выражением (4.3):

$$W_T = A_0 + A_1 \cdot C_T + A_2 \cdot C_T^2, \quad (4.3)$$

где W_T – влажность на границе текучести, д.е.;

C_T – содержание глинистых частиц, масс. %;

A_0, A_1, A_2 – параметры модели.

Во втором случае рассматривались два представления – гладкое (II) и представление линейными функциями в отдельных интервалах (III) [131].

В целом такая зависимость может быть описана выражениями (4.4, 4.5).

$$W_T = B_0 + B_1 \cdot G(C_T, \mu, \sigma), \quad (4.4)$$

где $G(C_T, \mu, \sigma)$ – интегральная функция нормального распределения;

B_0, B_1, μ, σ – параметры модели.

$$W_T = \begin{cases} C_0 & \text{при } C_T \leq C_2 \\ C_0 + C_1 \cdot \frac{C_T - C_2}{C_3 - C_2} & \text{при } C_2 < C_T < C_3, \\ C_0 + C_1 & \text{при } C_T \geq C_3 \end{cases} \quad (4.5)$$

где C_0, C_1, C_2, C_3 – параметры модели.

Для определения параметров вышеперечисленных моделей использовался метод наименьших квадратов. Полученные расчетные кривые представлены на рисунке 4.1.

Сравнение точности представления данных отдельными моделями проводилось, исходя из сравнения среднеквадратичных отклонений расчетных и экспериментальных значений, приведенных в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Сравнение среднеквадратичных отклонений

Модель	Среднеквадратичное отклонение	F тест
Монотонный рост (I)	0,04235	0,107
Ограниченный рост, гладкое представление (II)	0,03108	
Ограниченный рост, представление линейными функциями в отдельных интервалах (III)	0,03123	0,980

По результатам проведенного сравнения (табл. 4.4) для модели ограниченного роста с гладким представлением получено наилучшее приближение экспериментальных и расчетных значений. При этом по результатам F-теста, выявлено, что вероятность равенства дисперсий разностей

экспериментальных и расчетных данных для модели ограниченного роста (III) по сравнению с моделями ограниченного роста (II) весьма высока (0,98), а для модели монотонного роста (I) низка (0,107), то есть эти модели имеют качественное различие по признаку эффективности описания экспериментальных данных.

Следует отметить, что модели ограниченного роста с физической точки зрения являются более предпочтительными. Действительно, при малом содержании глинистых частиц деформация образца обусловлена взаимным смещением крупных частиц. При большом содержании глинистых частиц крупные частицы разобщены между собой, и деформация образца обусловлена взаимным смещением мелких частиц [131].

Для области, соответствующей допустимой доле глинистых частиц в смеси (до 15 % масс.), описание влажности на границе текучести по моделям II и III практически равноценно. В этом диапазоне среднее значение влажности на границе текучести для смесей бурового шлама с песком может быть принята равной 16 %.

Данный факт свидетельствует о том, что при содержании глинистых частиц в грунтовых смесях на основе бурового шлама на уровне менее 15 % можно получить по разновидности грунта супесь или суглинок.

В связи с тем, что влажность шламов (табл. 3.7) колеблется в интервале от 37,3 % до 88,1 %, то при разбавлении шламов песком полученные смеси могут обладать влажностью, превышающей требования СП 34.13330.2012 [137], предъявляемые к грунтам для сооружения земляного полотна автодорог.

Для обеспечения требуемой влажности разрабатываемая технология получения грунтовой смеси на основе бурового шлама должна предусматривать возможность сушки этого материала.

Проведенные в соответствии с ГОСТ 12248-2010 [101] компрессионные испытания образцов смесей бурового шлама, песка и стабилизатора грунтов Polybond в одомере с параллельным определением физических характеристик и гранулометрического состава (табл. 4.5), согласно ГОСТ 5180-2015 [100] и ГОСТ 12536-2014 [99], показали, что в образцах, обработанных стабилизатором

грунтов, с течением времени происходит изменение гранулометрического состава с увеличением доли песчаной фракции и рост прочностных характеристик. Это связано с тем, что поверхностно-активные вещества, входящие в состав стабилизатора, способствуют налипанию мелких пылеватых фракций на крупные, тем самым изменяя гранулометрический состав, а за счет наличия в стабилизаторе грунтов серной кислоты, которая взаимодействует с карбонатом кальция, присутствующем в буровых шламах в значительных количествах, возможно образование кристаллов гипса, связывающих частицы между собой (рис. 4.2). При этом различия в гранулометрическом составе между необработанным и обработанным стабилизатором образцами могут быть объяснены неоднородностью фракционного состава буровых шлам.

Таблица 4.5 – Результаты физико-механических характеристик смеси бурового шлама с песком до и после обработки кислотным стабилизатором грунтов Polybond

Наименование показателей	Образец шламо-песчаной смеси не обработанный стабилизатором	Образец шламо-песчаной смеси, обработанный стабилизатором, выдержанный 2 суток	Образец шламо-песчаной смеси, обработанный стабилизатором, выдержанный 10 суток
Влажность, %	12,3	18,5	13,5
Влажность на границе текучести, %	23,1	23,5	23,0
Влажность на границе раскатывания, %	13,1	13,7	13,0
Плотность, г/см ³	1,96	1,85	1,87
Плотность частиц грунта, г/см ³	2,69	2,7	2,7
Плотность в сухом состоянии, г/см ³	1,75	1,56	1,65
Содержание песчаных частиц (0,05-2 мм), %	72,86	53,16	65,42
Содержание пылеватых частиц (0,002-0,05 мм), %	26,35	46,05	33,79
Содержание глинистых частиц (< 0,002), %	0,79	0,79	0,79

Наименование показателей	Образец шламо-песчаной смеси не обработанный стабилизатором	Образец шламо-песчаной смеси, обработанный стабилизатором, выдержанный 2 суток	Образец шламо-песчаной смеси, обработанный стабилизатором, выдержанный 10 суток
Коэффициент пористости	0,541	0,729	0,639
Тип грунта	Суглинок легкий твердый песчанистый	Суглинок легкий тугопластичный песчанистый	Суглинок легкий полутвердый песчанистый
Компрессионный модуль деформации, МПа	2,03	2,5	3,64

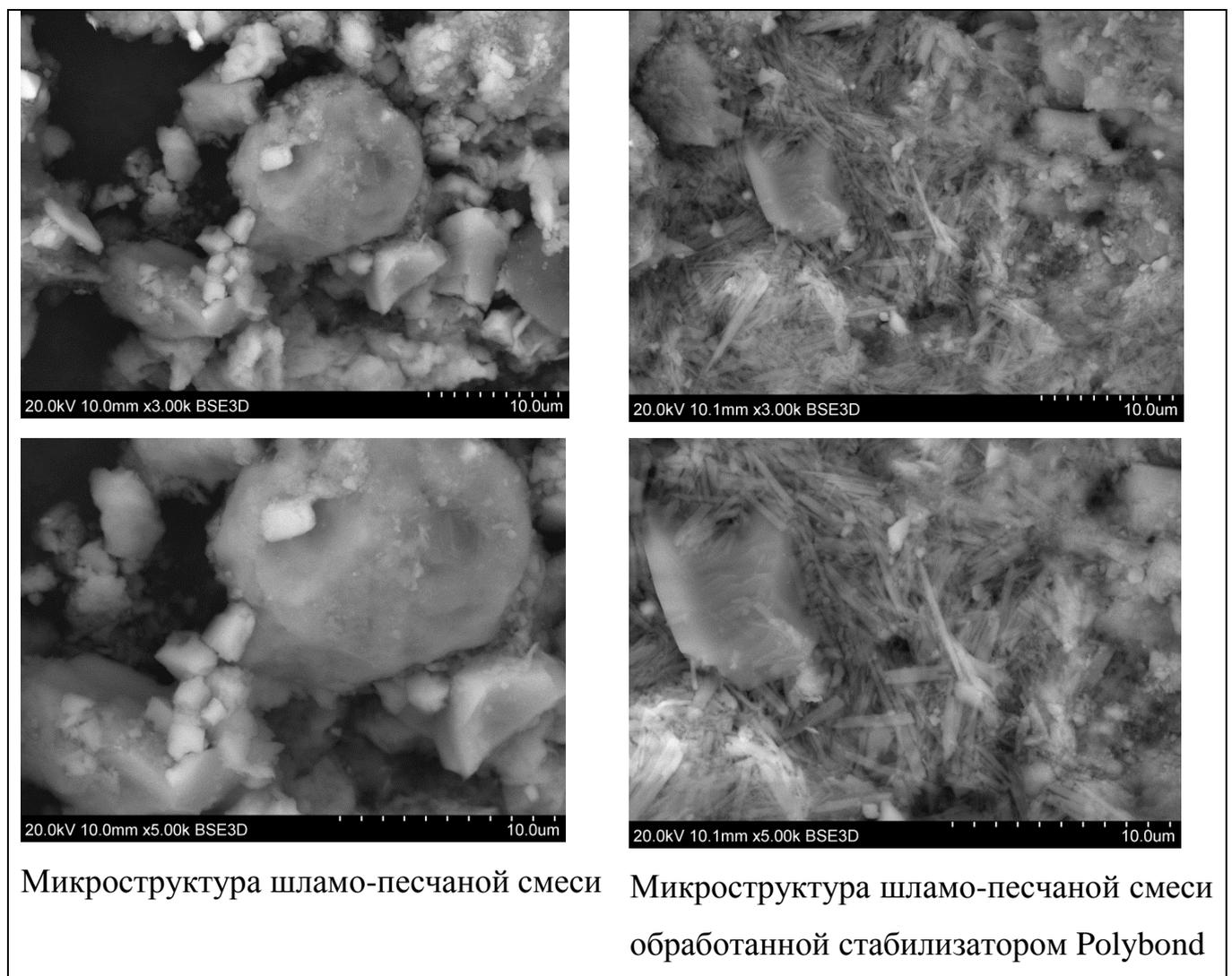


Рисунок 4.2 – Результаты исследования микроструктуры образцов смеси бурового шлама с песком до и после обработки стабилизатором грунтов

По литературным данным [141] при низких температурах при взаимодействии карбоната кальция, содержащегося в исходном буровом шламе, с серной кислотой, присутствующей в составе стабилизатора грунтов, образуется двух-водный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Проведенный рентгенофазовый анализ образца шламо-песчаной смеси обработанного стабилизатором Polybond не выявил наличия фаз сульфата кальция (с учетом кристаллогидратов). Причиной этого может быть незначительное его содержание в смеси, которое ниже предела чувствительности метода анализа. По проведенному расчету (расчет по уравнению реакции взаимодействия карбоната кальция с серной кислотой) установлено, что при добавлении 2,5 мл стабилизатора грунтов, содержащего в своем составе 50 % серной кислоты, в 1 кг бурового шлама, содержащего до 5 % карбоната кальция, образуется менее 3,5 граммов гипса.

Таким образом, по степени засоления получаемый материал на основе бурового шлама согласно ГОСТ 25100-2011 [114] может быть классифицирован: по содержанию легкорастворимых солей (хлоридное, сульфатно-хлоридное засоление) как слабозасоленный (содержание солей от 5 до 20 г/кг); по содержанию среднерастворимых солей (гипс, ангидрид) как незасоленный (содержание солей менее 50 г/кг).

С целью установления соотношения стабилизатора грунтов в смеси бурового шлама и песка, при котором происходит стабилизация прочностных характеристик продукции, проведены эксперименты по введению в буровой шлам различных дозировок стабилизатора грунтов Polybond, с определением модуля деформации. Отметим, что стабилизатор грунтов в основном изменяет свойства бурового шлама (прочностные изменения гранулометрического состава и водно-физические за счет поверхностно-активных веществ).

Компрессионные исследования проводились с использованием образца бурового шлама, который по типу грунта относится к суглинку тяжелому песчанистому. Все исследуемые пробы бурового шлама с различной дозировкой

стабилизатора грунтов выдерживались в течение 20 суток, доводились до влажности 8,8 % и уплотнялись до плотности 1,8 г/см³.

При проведении эксперимента использовался раствор стабилизатора грунтов Polybond с водой в соотношении 1:100.

Зависимость модуля деформации от количества стабилизатора грунтов, вводимого в буровой шлам, представлена на рисунке 4.3.

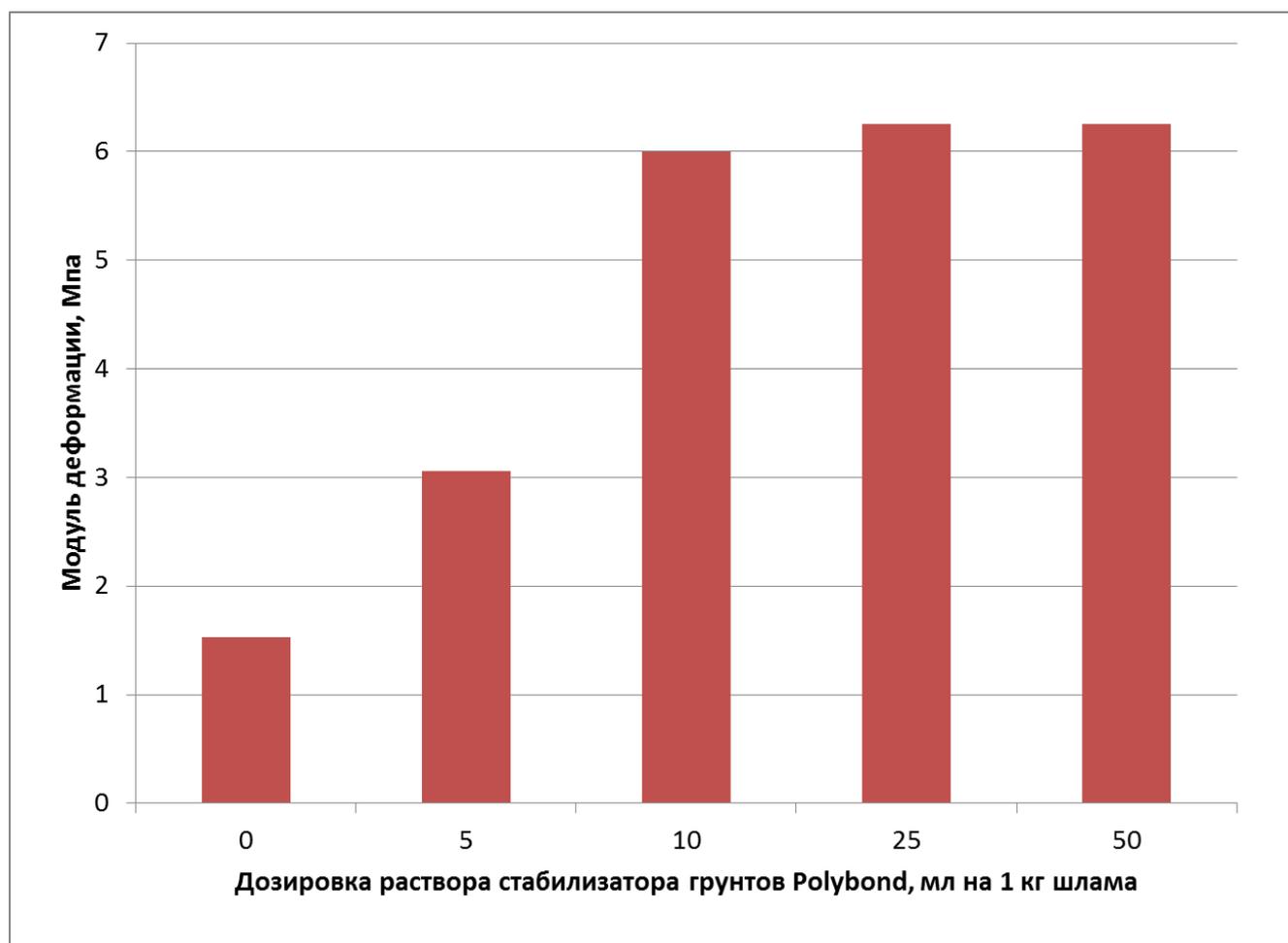


Рисунок 4.3 – Исследование деформационных характеристик бурового шлама при различных дозировках стабилизатора грунтов Polybond

Из рисунка 4.3 видно, что при введении в 1 кг шлама от 10 до 25 мл раствора стабилизатора грунтов Polybond происходит определенная стабилизация прочностных характеристик.

Таким образом, 100-250 мл (0,0001-0,00025 м³) концентрата или 10-25 л (0,01-0,025 м³) раствора стабилизатора грунтов Polybond на 1 т бурового шлама может быть рекомендовано для получения продукции с мало изменяющимися

прочностными свойствами, которые будут обеспечивать конструктивную устойчивость земляного полотна автодороги.

Стоит отметить, что песок, используемый в производстве грунтовой смеси для регулировки доли глинистых частиц, будет способствовать улучшению деформационных характеристик продукции при использовании стабилизатора грунтов Polybond.

Проведенные исследования набухания грунтовых смесей на основе буровых шламов по ГОСТ 12248-2010 [101] показали, что относительная деформация набухания грунта под нагрузкой не превышала 0,001 д.е., что согласно ГОСТ 25100-2011 [114] говорит о том, получаемый материал на основе буровых шламов можно классифицировать как ненабухающий.

Материал на основе бурового шлама может быть использован в качестве техногенного грунта для сооружения элементов земляного полотна при соблюдении специальных мероприятий (осушение, доувлажнение, уплотнение, устройство дренажей и прослоек из зернистых или армирующих геосинтетических материалов и др.), приведенных в СП 34.13330.2012 [137], обеспечивающих необходимую устойчивость автодороги.

При дополнительном обосновании получаемый материал (грунтовая смесь) может быть использован в качестве грунта: для ликвидации и технической рекультивации объектов размещения отходов (шламохранилищ, хвостохранилищ, полигонов и т.п.), отработанных карьеров, провалов, оврагов; для обустройства площадочных объектов нефтегазового комплекса, в том числе, кустовых площадок; для укрытия и изоляции отходов.

Проведенные исследования показали, что предложенные требования, применяемые материалы и технологические решения позволяют достичь показателей, при которых грунтовая смесь на основе буровых шламов может обеспечить конструктивную устойчивость элементов земляного полотна автодорог.

4.2. Технические решения и ограничения, обеспечивающие экологическую устойчивость

Водные вытяжки из буровых шламов не содержат высокотоксичных веществ. Однако, общая минерализация этих растворов может оказывать токсическое воздействие на гидробионты, используемые в качестве тест-объектов при биотестировании. Механизм этого воздействия связан, скорее всего, с тем, что по мере увеличения концентраций растворимых солей в этих растворах возрастает осмотическое давление, что способствует обезвоживанию внутриклеточных жидкостей тест-объектов. Как известно, осмотическое давление в растворах электролитов определяется не столько химическими свойствами ионов, сколько их общим количеством [130]. Поэтому в качестве характеристики водной вытяжки, определяющей ее токсическое действие, нами использовалась величина сухого остатка, которая наиболее точно характеризует общую минерализацию раствора.

При проведении биотестирования с использованием водорослей *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bred наблюдалась зависимость числа колоний от свойств исследуемого образца. Этот факт был использован для уточнения положения границы, разделяющей IV и V классы опасности [105]. При этом результат биотестирования представлен в виде отношения числа колоний водорослей в соответствующем образце к этой величине в контрольном эксперименте, то есть в эксперименте, в котором вместо водной вытяжки из образца используется дистиллированная вода. Данная величина представлена в виде зависимости от концентрации солей (сухого остатка водной вытяжки). Эту зависимость аппроксимировали логнормальным распределением. Результаты такой обработки экспериментальных данных представлены на рисунке 4.4.

Согласно полученным данным [142], содержание сухого остатка в водной вытяжке, при котором сокращение числа колоний не превышает 15 % от исходного значения, составляет 27,8 г/кг, что достаточно близко к максимальному значению для V класса опасности, приведенному в таблице 3.14.

С учетом экспериментальных погрешностей, максимально допустимое значение величины сухого остатка в продукте следует принять, с целью обеспечения минимального воздействия на тест-объекты, на уровне 25 г/кг. Для оценки возможности засоления почв и уточнения допустимого содержания сухого остатка в продукции на основе бурового шлама проведена оценка эмиссии загрязняющих веществ (в т.ч. растворимых солей по сухому остатку), приведенная далее.

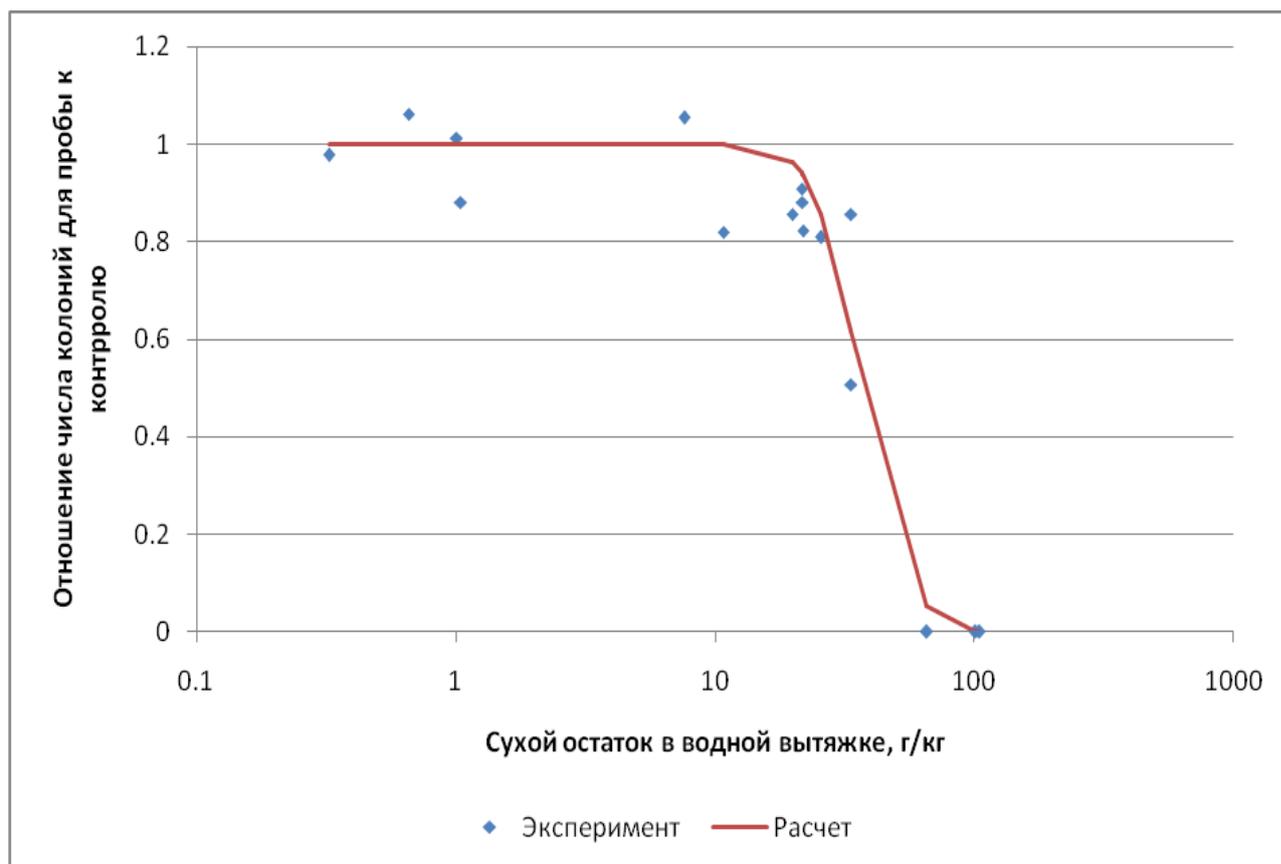


Рисунок 4.4 – Результаты биотестирования в зависимости от минерализации образцов бурового шлама

Вклад нефтепродуктов в степень опасности изменяется в достаточно широком диапазоне (табл. 3.12, 3.14), однако заметного влияния нефтепродуктов в исследованных пределах их содержания на класс опасности буровых шламов не обнаружено [130].

В настоящее время в Российской Федерации отсутствует установленный норматив (ПДК) содержания нефтепродуктов в почве. Тем не менее, учитывая,

что в настоящее время уделяется большое внимание проблеме загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами, необходимо ввести определенные ограничения по содержанию нефтепродуктов в грунтовых смесях на основе буровых шламов. При этом система нормирования в Российской Федерации основана на представлениях о допустимых остаточных концентрациях нефти и нефтепродуктов в почвах. Наиболее полное обобщение современных представлений об уровнях допустимых остаточных концентраций нефти и нефтепродуктов в почвах содержится в нормативном документе [106]. Этот документ устанавливает допустимые остаточные концентрации в зависимости от направления использования земель, гранулометрического состава почв и их типа.

Согласно документу [106] допустимое остаточное содержание нефтепродуктов для строительного использования земель составляет 5 г/кг, что на 30 % ниже определенного экспериментально максимального значения для V класса опасности (7,08 г/кг). Большинство исследованных образцов бурового шлама имеют содержание нефтепродуктов ниже допустимого остаточного содержания. Величина 5 г/кг может быть рекомендована в качестве максимально допустимого содержания нефтепродуктов в грунтовых смесях на основе буровых шламов.

Учитывая тот факт, что содержание нефтепродуктов в почвах для водоохраных зон должно находиться на уровне не более 1 г/кг, отметим, что использование грунтовой смеси при строительстве дорог, пересекающих водоохраные зоны возможно при соблюдении мероприятий, обеспечивающих охрану водных объектов от загрязнения (статья 65 Водного кодекса Российской Федерации [143]). При строительстве дорог согласно СП 34.13330.2012 [137] для предохранения земляного полотна от переувлажнения поверхностными водами и размыва предусматривается система поверхностного водоотвода (планировка территории, устройство канав, лотков и др.). Грунтовые поверхностные воды, которые могут влиять на прочность и устойчивость земляного полотна перехватывают дренажными устройствами.

Как было показано выше, даже при минимальном соотношении шлам:песок (1:0,7), обеспечивающем содержание глинистых частиц в грунтовой смеси на уровне менее 15 %, соблюдаются требования по содержанию в смеси тяжелых металлов на допустимом уровне.

Немаловажным фактором, затрудняющим использование буровых шламов в качестве компонента грунтовой смеси, является высокая щелочность.

Ранее отмечено, что щелочная реакция среды ($\text{pH} > 9$) отрицательно влияет на компоненты окружающей среды, в том числе на растительный и животный мир.

В то же время известно, что значения $\text{pH} = 6,0-8,8$ представляются оптимальными для жизнедеятельности тест-объектов, используемых при биотестировании [97, 98].

Таким образом, для возможного использования грунтовых смесей на основе буровых шламов, которые не будут представлять опасность для окружающей природной среды, необходимо, чтобы водородный показатель был ниже 9 ед. pH. Возможность достижения заданного значения может быть осуществлена корректировкой кислотно-основных характеристик продукции за счет введения кислотных агентов в состав грунтовых смесей на основе буровых шламов.

Были проведены эксперименты по изучению динамики изменения pH суспензии шлам-вода и исследования по влиянию добавок кислотного стабилизатора грунтов Polybond, содержащего в своем составе серную кислоту.

Исследование динамики изменения pH при контакте бурового шлама с водой (рис. 4.5) проводилось для суспензии, находившейся в контакте с атмосферным воздухом. Для приготовления суспензии использовалась дистиллированная вода, находившаяся в контакте с атмосферным воздухом и имевшая значение $\text{pH}=5,5$ за счет растворенного диоксида углерода. Как видно из рисунка 4.5, при контакте шлама с дистиллированной водой значение pH сначала растет, а затем уменьшается.

Рост величины pH на начальной стадии процесса может быть объяснен взаимодействием жидкой фазы с находящимся в твердой фазе карбонатом

кальция, который согласно данным рентгенофазового анализа (табл. 3.5) присутствует в большинстве образцов бурового шлама, а также ионным обменом с участием алюмосиликатов. С другой стороны, повышение значения рН стимулирует растворение в жидкой фазе диоксида углерода, содержащегося в атмосферном воздухе, что способствует снижению рН. Судя по характеру зависимости, представленной на рисунке 4.5, в течение первой тысячи секунд от начала измерения доминирует первый процесс, а в последующий период – второй.

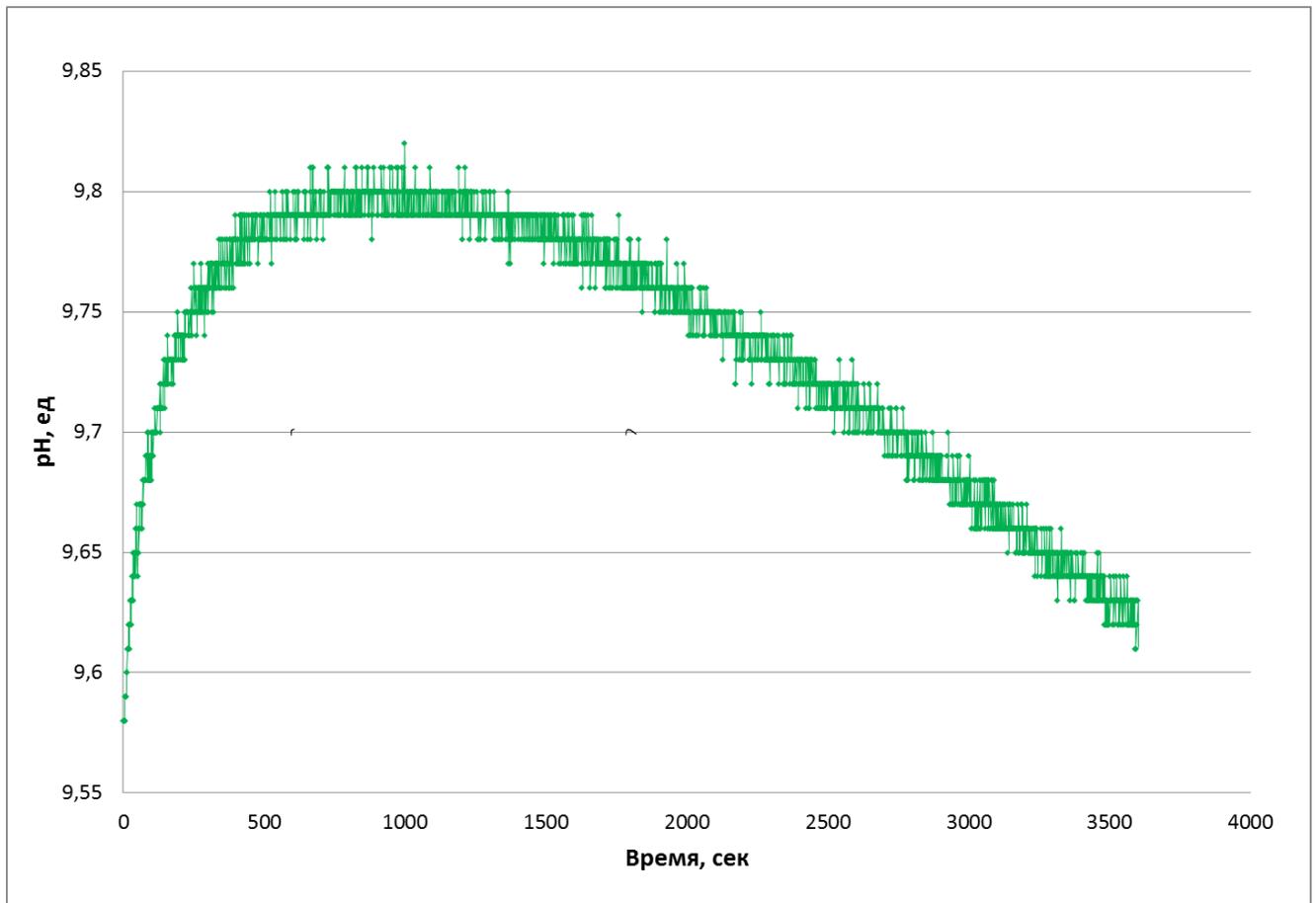


Рисунок 4.5 – Динамика изменения рН суспензии шлам - вода

С целью получения заданного значения рН водной вытяжки ($\text{pH} < 9$) изучено влияние кислотного стабилизатора грунтов Polybond.

На рисунке 4.6 приведены кривые потенциметрического титрования двух образцов бурового шлама №№ 3, 6 раствором кислотного стабилизатора грунтов Polybond, содержащим в своем составе серную кислоту. В этих исследованиях

навески бурового шлама массой 10 г помещали в сосуды, в которые наливали 100 мл дистиллированной воды и определенное количество раствора стабилизатора грунтов Polybond, в котором соотношение стабилизатор : вода = 1:10. Сосуды помещали во вращающуюся кассету и перемешивали в течение 48 часов. По окончании перемешивания измеряли pH суспензии.

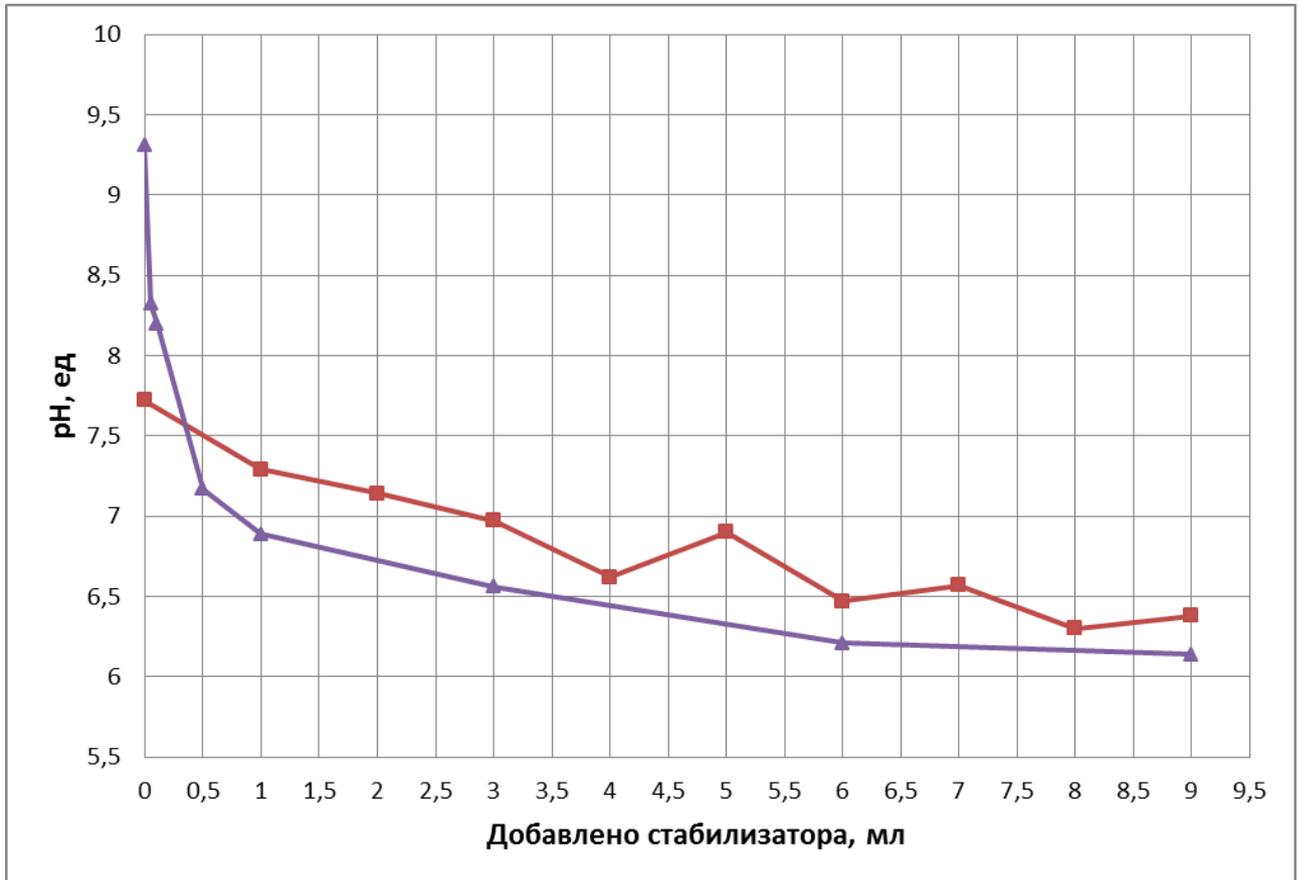


Рисунок 4.6 – Образцы бурового шлама (№№ 3, 6) после 48 часов контакта с раствором стабилизатора грунтов Polybond

Из рисунков 4.6 видно, что для образцов с исходным значением pH более 8 добавление малых количеств кислотного агента приводит к резкому изменению величины pH. Зависимость pH от дозировки кислотного агента в интервале pH от 8 до 6 во всех случаях является слабой.

Это связано тем, что высокие значения pH водной вытяжки для буровых шламов объясняются присутствием в их составе растворимых щелочных агентов – карбонатов и (возможно) гидроксидов щелочных металлов, которые взаимодействуют с первыми порциями добавляемого кислотного агента. После

нейтрализации растворимых щелочных агентов добавляемая кислота начинает реагировать с компонентами твердой фазы, проявляющей буферные свойства.

Известно, что буферные свойства почвы связаны с процессами физико-химического (обменного) поглощения ионов, перехода соединений в ионные и молекулярные формы, с нейтрализацией и выпадением в осадок вновь образующихся соединений. Величина буферности почв зависит от содержания почвенных коллоидов (чем больше коллоидов, тем выше буферность), их качества (чем больше глини группы монтмориллонита, минеральных коллоидов с широким отношением кремнезема к глинозему, тем буферность выше), состава обменно-поглощенных катионов (наличие в почвенном поглощающем комплексе катионов кальция, магния, калия, натрия препятствует подкислению почв) [115].

Представления об основных реакциях и механизмах взаимодействия почв с кислотными реагентами (концепция «буферных зон») были разработаны Ульрихом и Швертманом. Согласно данной концепции в диапазоне $pH = 6-8$ в почве происходят следующие химические реакции [144] (табл. 4.6).

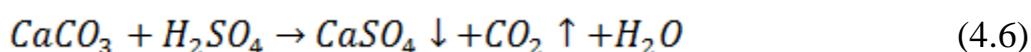
Таблица 4.6 – Возможные химические реакции, протекающие в почве в диапазоне $pH = 6-8$

Компоненты почвы, определяющие буферность к кислоте	Основная реакция	Диапазон значений pH	Изменение химических свойств почв
Карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов	$CaCO_3 + H^+ \rightarrow HCO_3^- + Ca^{2+}$	8-6,5	Выщелачивание карбоната кальция из почвы в форме гидрокарбоната
	$HCO_3^- + H^+ \rightarrow CO_2 + H_2O$	7-4,5	
Глинистые минералы, носители зависящего от pH заряда	$GM - OHM + H^+ \rightarrow GM - OH_2 + M^+$	8-<5	Потеря обменных катионов, протонирование зависящего от pH заряда
Первичные силикаты и глинистые минералы без постоянного заряда	$-(SiO_2)M + H^+ \rightarrow SiOH + M^+$	<7	Освобождение катионов
	$-(SiO)_3Al + 3H^+ \rightarrow Si(OH)_3 + Al^{3+}$		Разрушение глинистых минералов, снижение емкости катионного обмена

В связи с тем, что в буровых шламах присутствуют и глинистая составляющая, и карбонат кальция, при взаимодействии с кислотным агентом в

диапазоне рН = 6-8 возможно протекание всех реакций, приведенных в таблице 4.6.

При этом на первом этапе будут происходить химические реакции взаимодействия кислотного агента (серной кислоты, содержащейся в составе стабилизатора грунтов) с карбонатом кальция, который присутствует в буровых шламах в достаточно больших количествах (является порообразующим компонентом почв Западной Сибири) с образованием гипса по формуле (4.6), и стоит ожидать, что расход кислоты на это взаимодействие будет существенно больше, чем на нейтрализацию растворимых щелочных агентов.



На рисунке 4.7 приведена микроструктура поверхности бурового шлама, обработанная кислотным стабилизатором Polybond, на которой отчетливо видны выпадения кристаллов игольчатого габитуса. Проведённый рентгенофлуоресцентный анализ показал, что основными элементами, входящими в состав кристаллов являются Ca, S, O. Данный факт говорит о том, что выпавшие кристаллы представляют собой гипс.

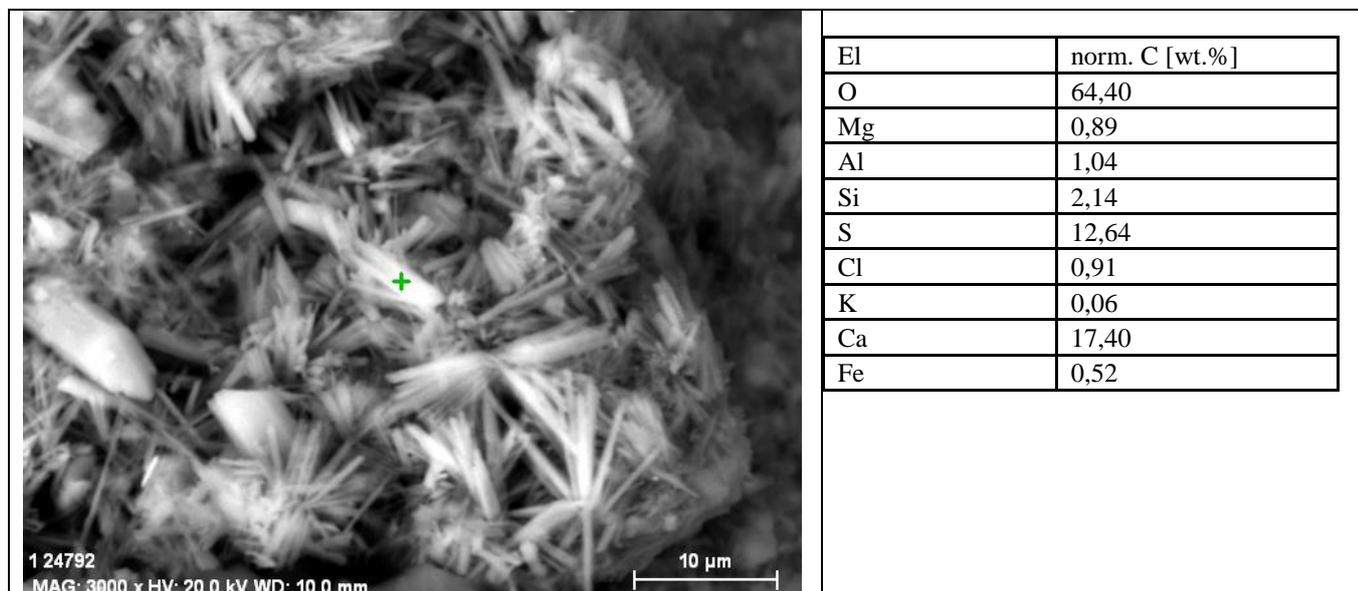


Рисунок 4.7 – Поверхность бурового шлама, обработанная кислотным стабилизатором Polybond

Выделение гипса по реакции (4.6), как показано выше, способствует улучшению физико-механических характеристик грунтовых смесей за счет укрупнения гранулометрического состава смеси и вяжущих свойств гипса.

Таким образом, при регулировании рН грунтовой смеси на основе буровых шламов с использованием кислотного агента, передозировать этот агент практически невозможно, что говорит о высокой устойчивости технологического процесса в отношении получения экологически безопасной продукции со стабильным значением рН водной вытяжки.

Для уточнения границ влияния отдельных компонентов продукции на основе буровых шламов на окружающую среду проведена корректировка требований по экологическим параметрам.

Оценка и корректировка экологических требований, предъявляемых к грунтовым смесям, содержащим загрязняющие вещества в виде растворимых солей, нефтепродуктов и поллютантов, при строительстве дорог проведена на основе критериальных показателей оценки техногенного загрязнения почвенного покрова (табл. 4.7).

По содержанию нефтепродуктов (менее 5 г/кг в смеси – 0,5 вес. %) и поллютантов (на уровне ПДК (ОДК) даже при минимальном соотношении шлам-песок 1:0,7) в грунтовой смеси загрязненность почвенного покрова относится к промежуточному состоянию между зоной экологической нормы и зоной экологического риска.

Таблица 4.7 – Показатели оценки техногенной загрязненности почвенного покрова [145, 146]

№ п/п	Показатели	Зона экологической нормы, или класс удовлетворительного благоприятного состояния среды (Н)	Зона экологического риска, или класс условно удовлетворительного (неблагоприятного) состояния среды (Р)	Зона экологического кризиса, или класс неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) состояния среды (К)	Зона экологического бедствия – катастрофы, или класс катастрофического состояния сред (Б)
1	Содержание легко	Менее 0,6	0,6-1,0	1,0-3,0	Более 3,0

№ п/п	Показатели	Зона экологической нормы, или класс удовлетворительного благоприятного состояния среды (Н)	Зона экологического риска, или класс условно удовлетворительно (неблагоприятного) состояния среды (Р)	Зона экологического кризиса, или класс неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) состояния среды (К)	Зона экологического бедствия – катастрофы, или класс катастрофического состояния сред (Б)
	растворимых солей, %				
2	Содержание поллютантов (в ПДК)	Менее 0,1	1,0-3,0	3,0-10,0	Более 10,0
3	Содержание нефти и нефтепродуктов, %	Менее 0,1	1,0-5,0	5,0-10,0	Более 10,0

Примечание:

(Н) – Территории без заметного снижения продуктивности и устойчивости экосистем (Обычное использование территории с учетом всех природоохранных требований)

(Р) – Территории с заметным снижением продуктивности и устойчивости экосистем, их нестабильным состоянием, но еще с обратимыми нарушениями (Территории требуют разумного хозяйственного использования и планирования мероприятий по их улучшению)

(К) – Территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости экосистем и трудно обратимыми нарушениями (Необходимо выборочное хозяйственное использование территорий и планирование их глубокого улучшения)

(Б) – Территории с полной потерей продуктивности, практически необратимыми нарушениями экосистем (Территории исключаются из хозяйственного использования)

Согласно вышеуказанным требованиям, предъявляемым к грунтовым смесям, содержание сухого остатка в водной вытяжке должно быть на уровне не более 25 г/кг, что составляет 2,5 вес. %. Из таблицы 4.7 видно, что при таком содержании растворимых солей в продукции могут происходить процессы сильного снижения продуктивности почвенного покрова и потери устойчивости экосистем (зона экологического кризиса). Для таких территорий необходимо выборочное хозяйственное использование. В этой связи нами выполнено моделирование и оценка распространения солей в почве [111, 147, 148].

Специфика засоления почв по данным авторов [149] заключается в том, что оно имеет место в почвах, где находится большая часть нефтепромыслов России. Накопление солей в почвах определяется не только их высокой концентрацией в загрязнителях, но и природными факторами (заболоченностью, слабой дренированностью таежных и тундровых почв).

Кроме того, высокая миграционная способность солей определяет динамичность техногенного засоления во времени. После поверхностного загрязнения соли концентрируются в верхних горизонтах почв, постепенно

распространяясь вглубь. При этом изменяется количество и состав солей, как во времени, так и по почвенному профилю. Это объясняется сложностью процесса техногенного засоления, мозаичностью его пространственных проявлений и разнообразием формирующихся химически-трансформированных почв [149].

Использование засоленных грунтовых смесей на основе бурового шлама при создании дороги сопряжено с возможным загрязнением природных сред, примыкающих к созданной строительной конструкции. Схематически ситуация изображена на рисунке 4.8.

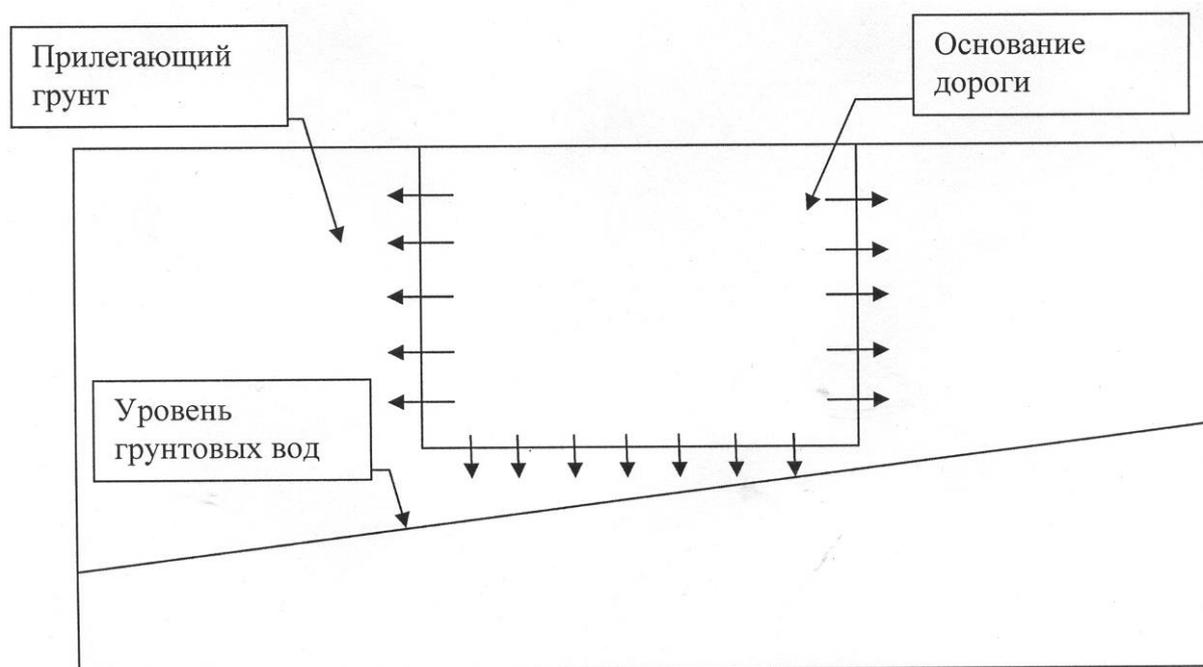


Рисунок 4.8 – Схематичное изображение возможного загрязнения природной среды при строительстве основания дороги

Если процесс распространения загрязняющих веществ от полотна дороги рассматривать с точки зрения охраны природы, то основные эффекты, подлежащие учету, сводятся к загрязнению грунтовых вод с последующим попаданием этих веществ в водные объекты и загрязнению почвенного покрова вблизи дорожного полотна.

Распространение загрязняющего вещества из полотна дороги в окружающий грунт может осуществляться как за счет упорядоченного движения подвижной фазы (воды), так и за счет диффузионных эффектов. Строгое решение

этой задачи предполагает расчет поля скоростей фильтрации и далее решение задачи массопереноса.

В целом такая строгая постановка задачи требует учета широкого круга факторов, включая геологическое строение территории, интенсивность осадков, поверхностного и подземного стоков, сезонное распределение этих величин и многое другое.

Рассмотрим некоторые упрощения поставленной задачи.

Одним из таких упрощений является упрощение, основанное на представлениях о том, что вынос загрязняющего вещества из полотна дороги происходит только в вертикальном направлении, а горизонтальное перемещение воды происходит только ниже уровня стояния грунтовых вод.

Представим себе в плане некоторый участок водосбора, на котором размещена дорога, построенная с использованием грунтовой смеси, содержащей растворимые соли (рис. 4.9).

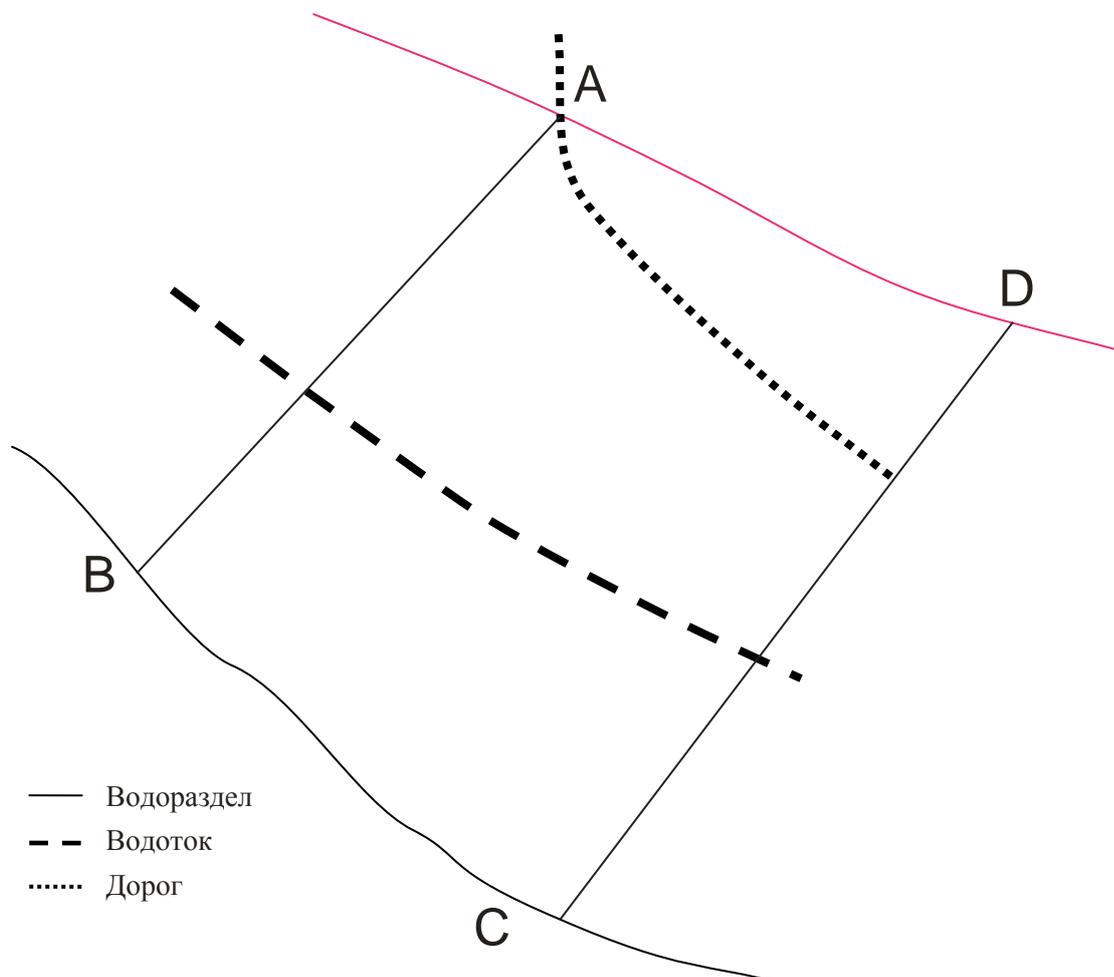


Рисунок 4.9 – План участка водосбора, на котором размещена автодорога

Питание водотока на участке, ограниченном линиями АВ и CD, стоком с территории, ограниченной этими линиями и водоразделами AD и BC, то есть количество воды, поступающей в водоток с данной территории, определяется произведением модуля подземного стока на площадь территории.

В этом случае дополнительное засоление грунтовых вод, поступающих в водоток, обусловленное вымыванием солей из полотна дороги, может быть оценено, исходя из соотношения площадей дорожного полотна и площади водосбора (4.7), на котором размещено это дорожное полотно:

$$C_2 = C_1 \cdot \alpha + C_0 \cdot (1 - \alpha), \quad (4.7)$$

где C_2 – концентрация солей в грунтовых водах, питающих водный объект;

C_1 – концентрация солей в полотне дороги;

C_0 – фоновая концентрация солей в грунтовых водах;

α – доля площади полотна дороги от площади водосбора.

Оценка (4.7) является оценкой сверху, поскольку она не учитывает горизонтальной миграции солей. Кроме того, эта оценка получена, исходя из предположения о равенстве модуля стока подземных вод для полотна дороги и остальной территории водосбора. Учитывая, что технология строительства предполагает уплотнение грунта, используемого в качестве полотна дороги, следует ожидать, что его проницаемость, а, следовательно, и модуль стока, окажется ниже, чем для остальной территории водосбора. Таким образом, оценка (4.7) может оказаться завышенной и по этой причине.

В соответствии с [150], к пресным грунтовым водам относятся воды с фоновой концентрацией солей не более 1 г/л. Согласно [151] на Крайнем Севере, большей части лесных равнин и облесенных предгорий в Европейской и в Азиатской части России развиты пресные грунтовые воды с минерализацией, не превышающей 0,5 г/л.

Известно [152], что модуль подземного стока в пределах Западно-Сибирской низменности изменяется от 2-3 л/с км² в низовьях Оби до 0,3-0,5 л/с км² в Барабинской и Кулундинской степях.

В таблице 4.8 приведены данные пересчета модуля подземного стока в вертикальную скорость фильтрации и оценки времени существования полотна дороги как источника засоления, полученные в предположении, что время полного вымывания солей из слоя грунта равно толщине этого слоя, деленной на скорость фильтрации.

Таблица 4.8 – Оценки времени существования полотна дороги как источника засоления (лет)

Модуль стока (л/с км ²)	Вертикальная скорость фильтрации (м/год)	Толщина основания дороги			
		1	2	3	4
0.25	0.0079	127	254	381	507
0.5	0.0158	63	127	190	254
0.75	0.0237	42	85	127	169
1	0.0315	32	63	95	127
1.25	0.0394	25	51	76	101
1.5	0.0473	21	42	63	85
1.75	0.0552	18	36	54	72
2	0.0631	16	32	48	63
2.25	0.0710	14	28	42	56
2.5	0.0788	13	25	38	51
2.75	0.0867	12	23	35	46
3	0.0946	11	21	32	42

Как видно из таблицы 4.8, эти оценки сильно зависят от модуля подземного стока и толщины основания дороги.

Проведенное совместно с сотрудниками Института водных проблем РАН [31] моделирование и анализ особенностей миграции загрязняющих веществ в безнапорных горизонтах при различных режимах питания грунтовых вод показали, что с учетом толщины земляного полотна автодороги 0,5 м, величины среднегодового инфильтрационного питания 0,1 м/год (что соответствует модулю подземного стока 3 л/с км²), режима поступления питания (постоянное по году) и глубины залегания грунтовых вод 2,5 и 6,8 м, достижение 5 % концентрации загрязняющих веществ от исходной (100 %-ной) произойдет через 460-480 суток. С учетом того, что содержание растворимых солей (по сухому остатку) в грунтовой смеси на основе буровых шламов, как будет показано ниже,

ограничено на уровне менее 20 г/кг, вымывание солей до допустимого уровня загрязнения грунтовых вод (1 г/л) произойдет менее чем через 1,5 года.

Второе возможное упрощение сводится к тому, что перенос солей из основания дороги осуществляется только в горизонтальном направлении за счет процесса диффузии.

Отметим, что это упрощение позволяет учесть только факторы, связанные с загрязнением почвы, поскольку вертикальное вымывание солей, и, следовательно, загрязнение грунтовых вод исключается.

В этом случае задача сводится к задаче одномерной диффузии, которая описывается уравнением Фика (4.8):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (4.8)$$

где C – концентрация;

D – коэффициент диффузии;

t – время;

x – координата, направленная параллельно поверхности дороги и перпендикулярно ее оси.

Если считать, что в начальный момент времени соли равномерно распределены по ширине дороги, то данная задача сводится к задаче диффузии из слоя конечной толщины в бесконечную среду.

Согласно [153], такая задача имеет аналитическое решение (4.9), определяющее концентрацию солей в зависимости от расстояния от оси дорожного полотна и времени:

$$C(x,t) = \frac{C_0}{2} \cdot \left(\operatorname{erf} \left(\frac{h+x}{2 \cdot \sqrt{Dt}} \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{h-x}{2 \cdot \sqrt{Dt}} \right) \right), \quad (4.9)$$

где C_0 – начальная концентрация солей;

h – расстояние от оси до границы дороги;

x – расстояние от оси дорожного полотна;

D – коэффициент диффузии ;

t – время;

erf – функция ошибок, определяемая выражением (4.10):

$$\text{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^y e^{-z^2} dz \quad (4.10)$$

В дальнейших расчетах мы принимали ширину дороги равной 10 метрам, что согласно СП 37.13330.2012 [154] соответствует величине проезжей части межплощадочных дорог I-в категории для перевозки грузов и подъезду к отдельным нефтяным и газовым скважинам (более 0,7 млн. тонн/год в обоих направлениях). Ширина обочин при этом составляет 2 метра.

Коэффициент диффузии приняли равным $10^{-5} \text{ см}^2/\text{сек}$, что по порядку величины соответствует коэффициентам диффузии однозарядных ионов в водных растворах.

Предположим, что в начальный момент времени концентрация солей в основании дороги превышала допустимое содержание в почве. С течением времени концентрация солей будет размываться, причем мера этого размыва определяется критерием Фурье (4.11):

$$Fo = \frac{D \cdot t}{L^2}, \quad (4.11)$$

где Fo – критерий Фурье ;

D – коэффициент диффузии ;

t – время;

L – линейный размер, равный половине ширины дороги.

Схематически последовательность изменения профиля концентраций при горизонтальной диффузии от оси дороги в бесконечную среду представлена на рисунке 4.10. На этом рисунке результаты расчетов изображены в безразмерном виде, то есть по вертикальной оси отложена концентрация, рассчитанная для определенного момента времени, деленная на начальную концентрацию (C/C_0), а на горизонтальной оси – отношение расстояния от оси дороги к ширине дорожного полотна (X/L). Кроме того, предполагалось, что допустимая концентрация солей в почве ($C_{\text{доп}}$) соответствует 10 г/кг (зона экологического риска, класс условно удовлетворительного состояния среды – табл. 4.7). Индексы

у кривых ($Fo=0$, $Fo=0.3$ и т.д.) соответствуют величине критерия Фурье, для которого проводился расчет.

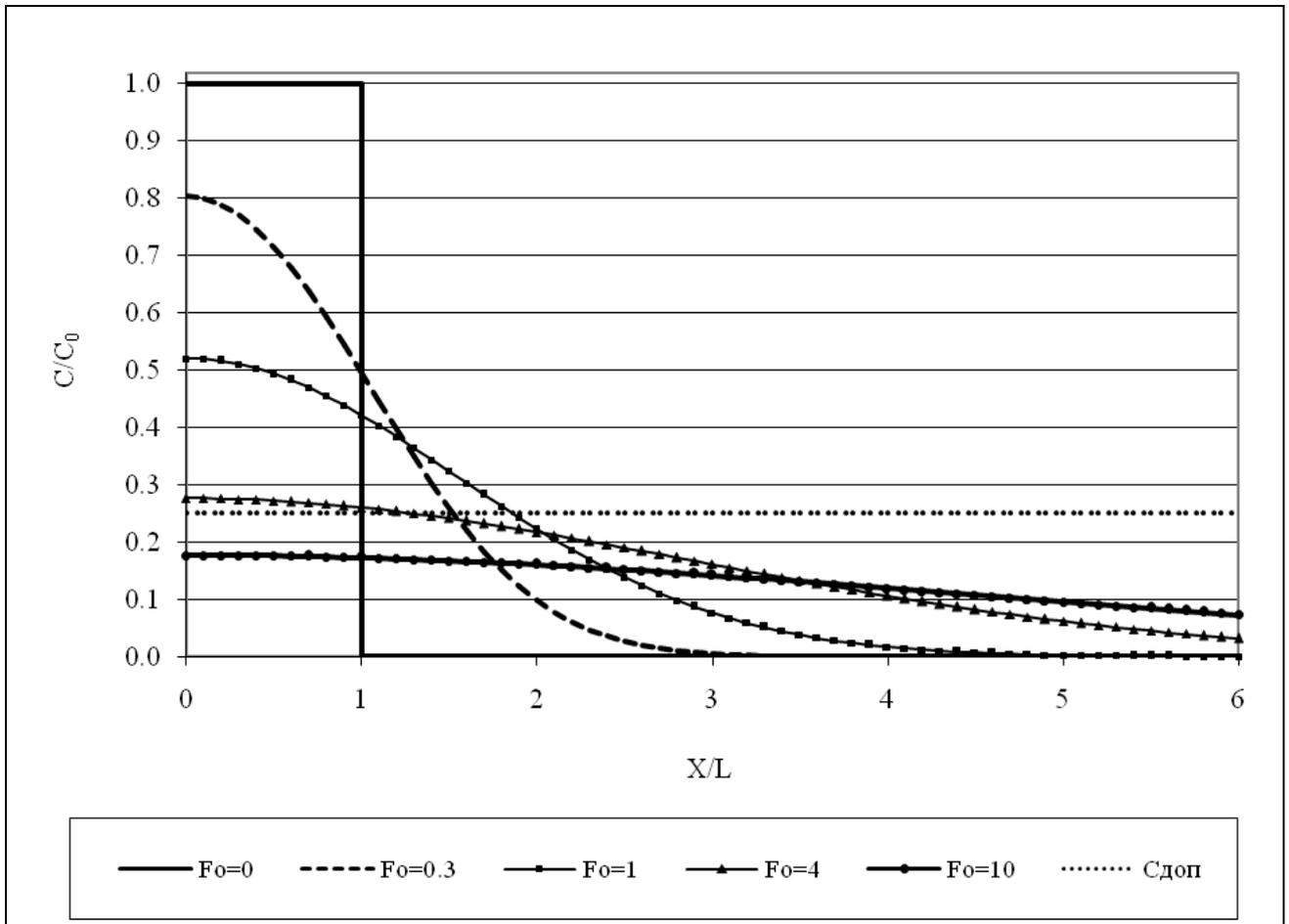


Рисунок 4.10 – Расчетные значения концентраций для различных моментов времени

В начальный момент времени засоленная область с концентрацией C_0 полностью совпадает с границами основания дороги. Далее концентрация начинает размываться в соответствии с кривыми $C(Fo)$, при этом внутри дорожного полотна и в области, прилегающей к дороге, она в течение некоторого времени будет превышать допустимое значение. При дальнейшем размывании наступит момент, когда концентрация солей как внутри дорожного полотна, так и за его пределами окажется меньше допустимой.

На рисунке 4.11 показано изменение концентрации солей на границе дорожного полотна и ширины загрязненной зоны от критерия Фурье. При этом

ширина загрязненной зоны определялась как разность между максимальным удалением от оси дороги точки, в которой на данный момент времени концентрация превышала допустимую, и расстоянием от оси дороги до ее границы.

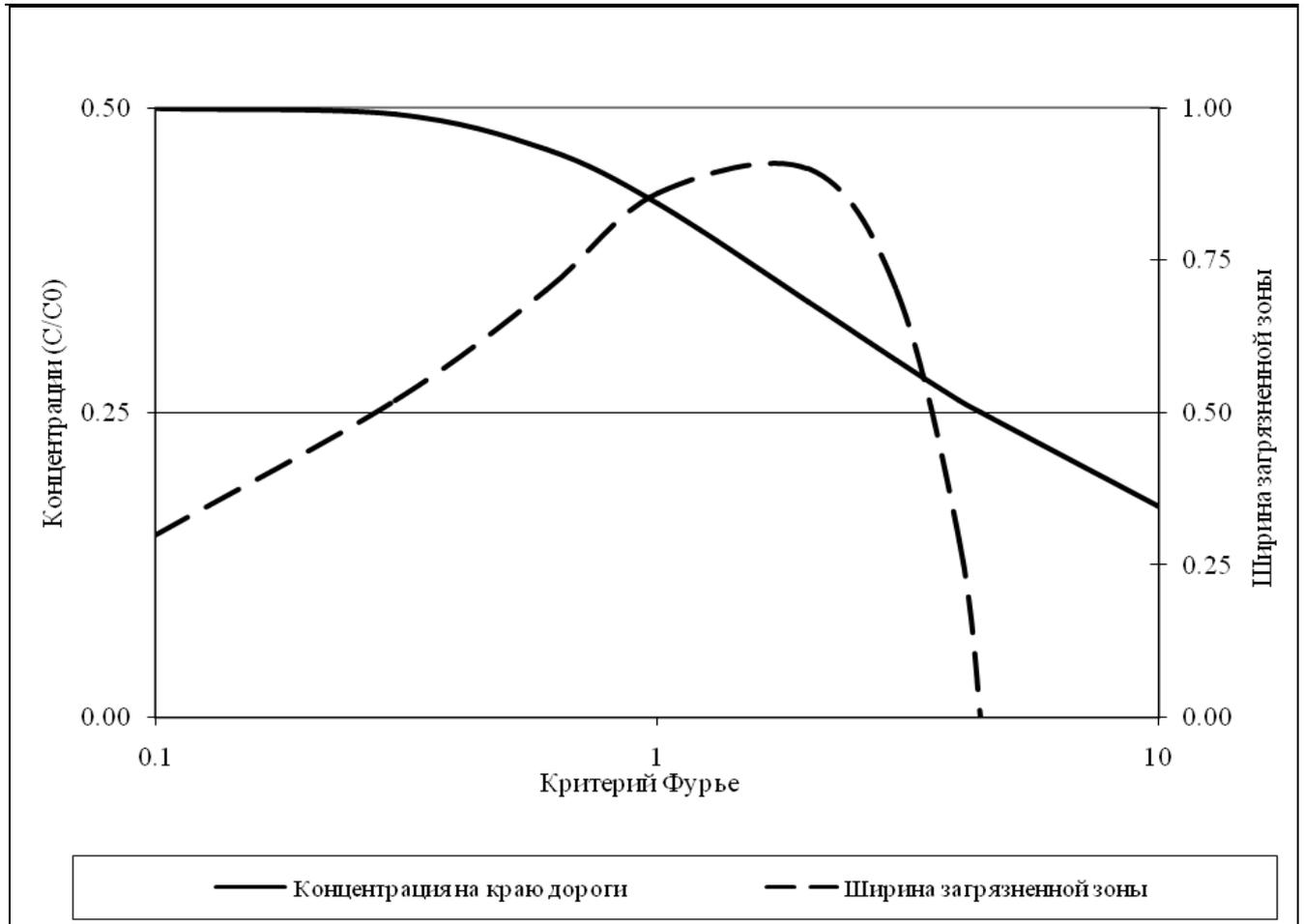


Рисунок 4.11 – Изменение концентрации на границе дороги и ширины загрязненной зоны в зависимости от величины критерия Фурье

Как видно из рисунка 4.11, концентрация на границе дорожного полотна по мере роста значения критерия Фурье уменьшается. При этом малым значениям критерия Фурье соответствуют значения концентрации, близкие к величине 0.5. Из этого следует, что вне зоны дорожного полотна концентрация солей всегда будет в два или более раз меньше исходной концентрации солей в полотне дороги. Ширина загрязненной зоны вначале растет до некоторого максимального значения, затем начинает уменьшаться и с определенного момента загрязненная

зона исчезает. Момент исчезновения загрязненной зоны совпадает с тем моментом, когда концентрация солей на границе полотна дороги становится равной допустимой концентрации.

Уравнение (4.9) может быть использовано для прогноза реального времени существования зоны превышения концентрации, зависимости от времени ее ширины и средних и максимальных концентраций солей в этой зоне.

На рисунке 4.12 представлена зависимость максимальной ширины загрязненной зоны от кратности превышения содержания солей в основании дороги по сравнению с допустимым.

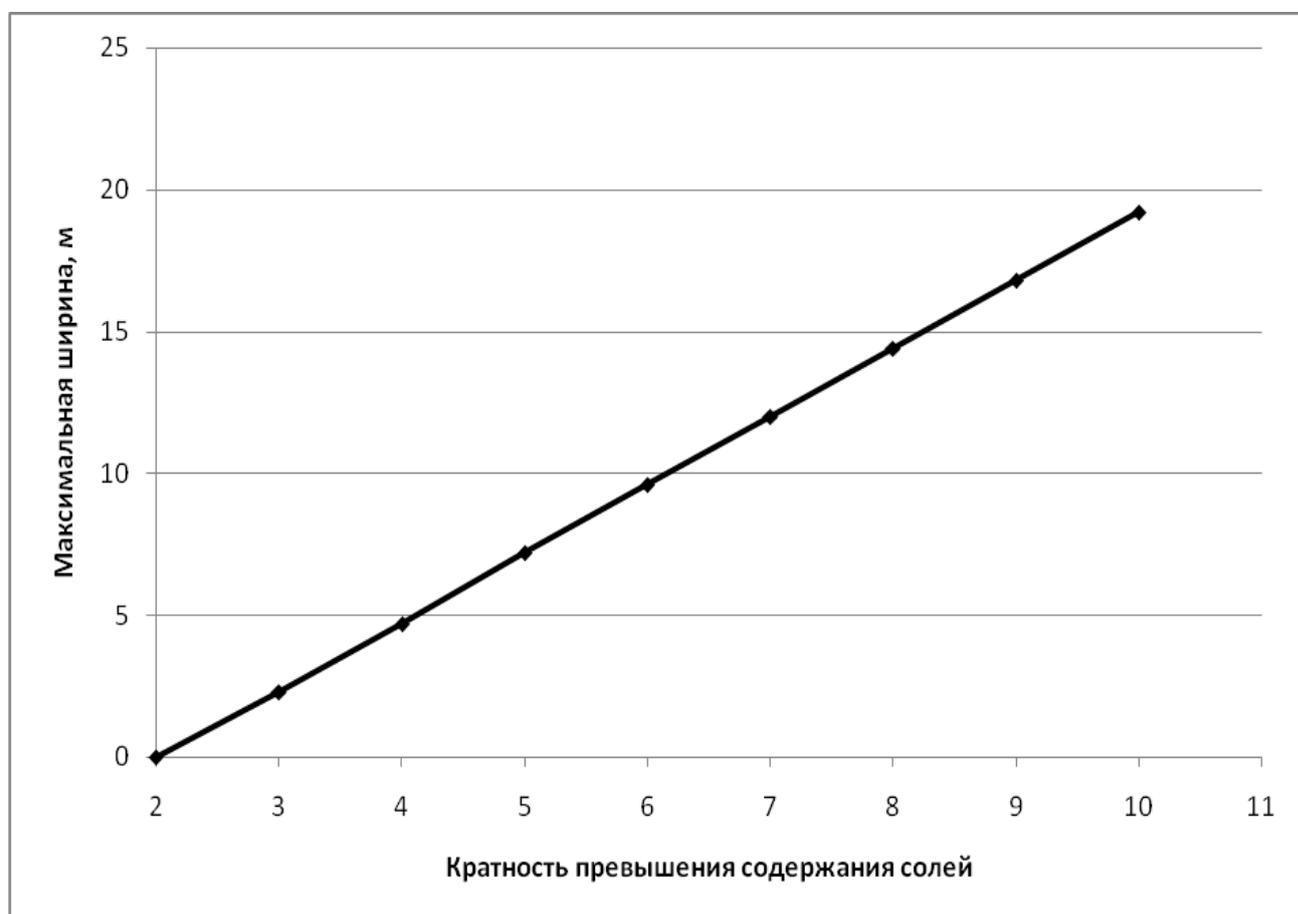


Рисунок 4.12 – Зависимость максимальной ширины загрязненной зоны от кратности превышения содержания солей в основании дороги

Как видно из рисунка 4.12, максимальная ширина загрязненной зоны не превышает 20 метров даже при 10-кратном превышении солесодержания в основании дороги.

На рисунке 4.13 представлена зависимость средней концентрации солей в загрязненной зоне за все время ее существования.

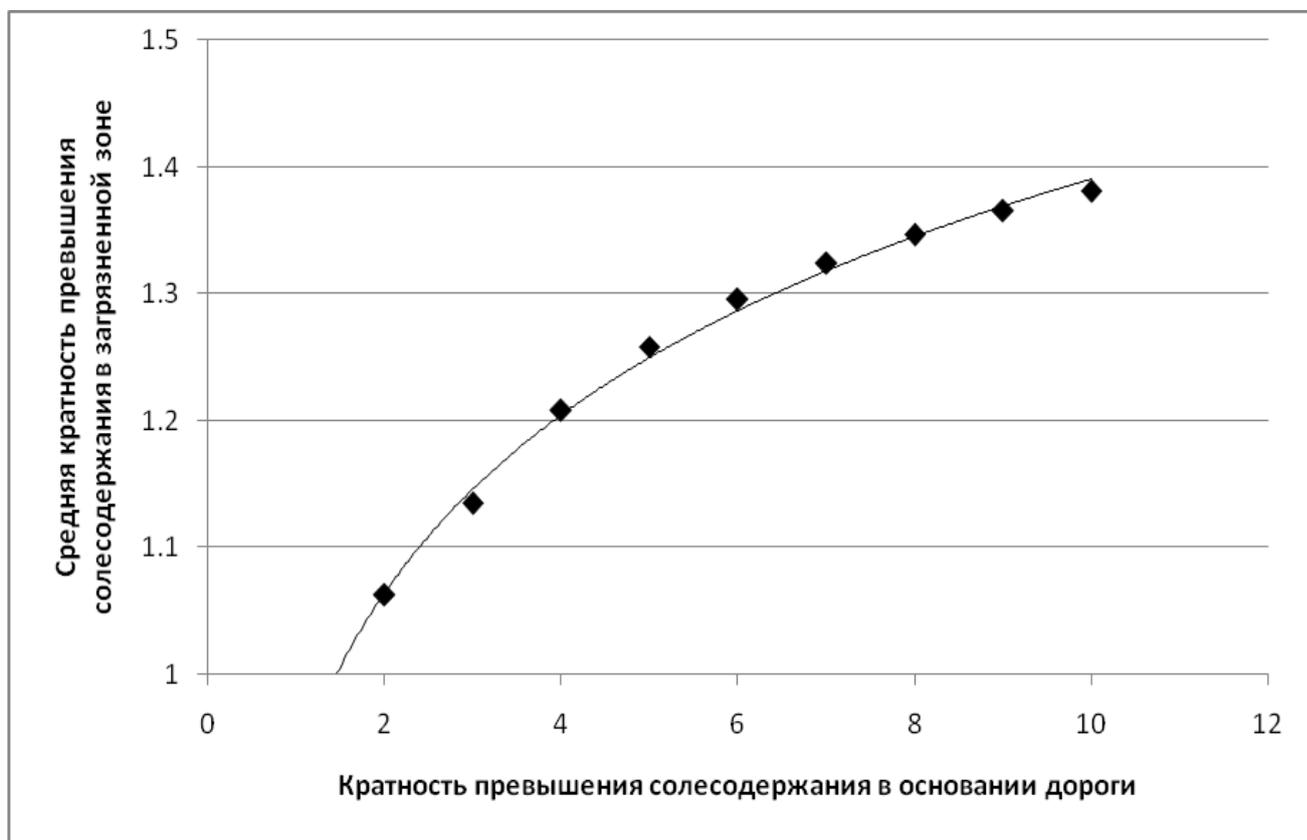


Рисунок 4.13 – Среднее превышение соледержания в загрязненной зоне

Как видно из рисунка 4.13, среднее содержание солей в загрязненной зоне за все время ее существования не превышает допустимого более чем в 1.4 раза даже при превышении кратности соледержания в основании дороги в 10 раз по сравнению с допустимым.

На рисунке 4.14 представлена зависимость максимальной и средней концентрации солей на фиксированном расстоянии от края дорожного полотна (2 метра).

Как видно из рисунка 4.14, на расстоянии 2 метра от края дорожного полотна максимальная кратность превышения соледержания растет линейно и примерно в 3 раза медленнее роста кратности превышения соледержания в основании дорожного полотна. Рост средней кратности соледержания на этом

расстоянии аналогичен росту средней кратности, усредненной по всей загрязненной зоне (рис. 4.13), однако несколько опережает его.

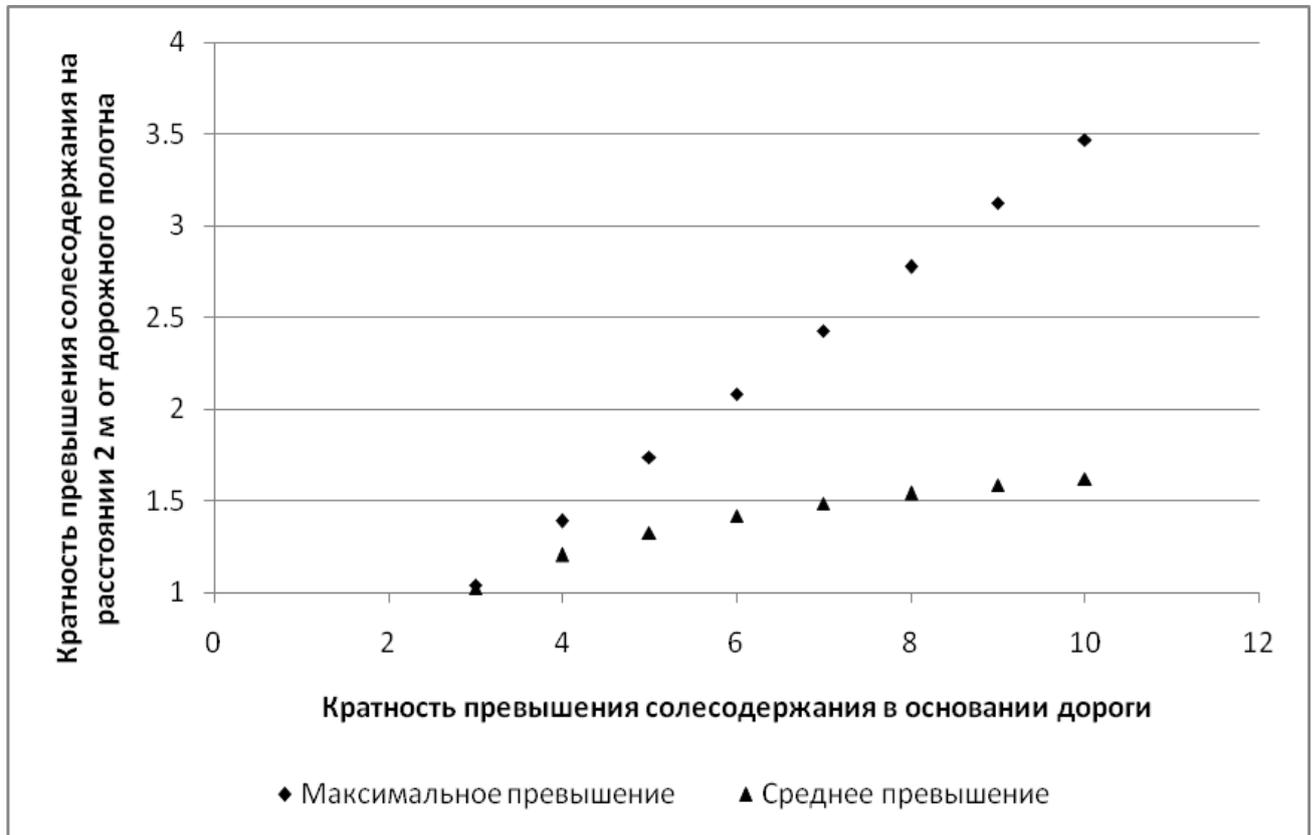


Рисунок 4.14 – Среднее и максимальное превышение соледержания на расстоянии 2 м от дорожного полотна

В целом приведенные расчеты позволяют оценить возможную зону загрязнения почв растворимыми солями на территории линейного объекта (дороги), построенного с использованием засоленного грунта, за счет диффузии солей в горизонтальном направлении.

Если взять за допустимое содержание солей в почвенном покрове величину 10 г/кг (зона экологического риска), то засоление почвы за счет диффузионных процессов начнет проявляться в виде зоны загрязнения при двукратном превышении содержания солей в основании дороги, что составляет 20 г/кг. Такое содержание солей в грунтовой смеси на основе бурового шлама может быть рекомендовано с точки зрения устойчивости экосистемы к техногенному воздействию.

С учетом вышесказанного и с учетом того, что грунтовая смесь, используемая в качестве материала для создания элементов инженерных сооружений и проведения природоохранных мероприятий, должна представлять собой суглинок или супесь [138, 139] с коэффициентами фильтрации от 0,005 м/сутки (весьма слабо водопроницаемые грунты) до 0,5 м/сутки (слабо водопроницаемые грунты) соответственно, и того факта, что работы по доведению земляного полотна до требуемых параметров предусматривают уплотнение тела насыпи с созданием по существу противофильтрационного экрана, предотвращающего проникновение водорастворимых солей вглубь почвы и подземные воды, можно предположить, что загрязненность почвенного покрова растворимыми солями в этом случае можно принять как соответствующую зоне (Р).

Для исключения снижения продуктивности и устойчивости экосистемы и предотвращения загрязненности почвенного покрова нефтепродуктами, растворимыми солями, поллютантами необходимо соблюдать экологические и строительные требования, предъявляемые к грунтовым смесям, а также мероприятия по хозяйственному использованию и планированию территорий.

Таким образом, с точки зрения обеспечения экологической устойчивости грунтовая смесь на основе бурового шлама должна удовлетворять следующим характеристиками:

- Содержание сухого остатка в водной вытяжке – не более 20 г/кг.
- Содержание нефтепродуктов – не более 5 г/кг.
- рН водной вытяжки – от 6 до 8,8 ед. рН.
- Содержание тяжелых металлов – не более ПДК (ОДК) в почве.
- Токсичность – не оказывает острого токсического действия на тест-объекты.

В целом научно-обоснованные требования, определяющие качество и геоэкологическую устойчивость грунтовых смесей на основе буровых шламов, представлена в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Требования к производимой продукции

№ 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

В связи с тем, что в грунтовые смеси на основе бурового шлама вводится песок для регулирования доли глинистых, песчаных частиц и содержания сухого остатка в количестве 0,7-3,5 доли песка к 1 доле бурового шлама, то для получения продукции, обеспечивающей геоэкологическую устойчивость, предъявляются определенные ограничения к составу бурового шлама, который может быть использован для этих целей:

- содержание нефтепродуктов – не более 17,5 г/кг;
- содержание растворимых солей (по сухому остатку) – не более 70 г/кг;
- содержание тяжелых металлов – не более 3,5 ПДК (ОДК);
- доля глинистых частиц – не более 52,5 % по массе.

Таким образом, по результатам проведенных исследований для достижения указанных в таблице 4.9 требований к грунтовым смесям на основе буровых шламов, обеспечивающим получение геоэкологически устойчивую продукцию, установлены следующие оптимальные соотношения исходных компонентов – буровой шлам : песок : стабилизатор грунтов Polybond (раствора стабилизатора) =

1 т : 0,7-3,5 т : 0,0001-0,00025 м³ (0,01-0,025 м³) или 1 : 0,7-3,5 : 0,0002-0,0004 (0,02-0,04) (в объёмных долях).

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 4

1. Показано, что при смешении шлама с песком фактором, определяющим соотношение компонентов, является содержание глинистых частиц в буровом шламе. Максимальная доля глинистых частиц в грунтовой смеси, допускающая ее применение, составляет 15 масс. %.

2. Установлено, что получение грунтовой смеси на основе буровых шламов, которая соответствует требованию по содержанию глинистых частиц, как одного из факторов получения конструктивно устойчивой продукции, обеспечивается добавлением инертного материала (песка) в соотношении шлам-песок в пределах 1:0,7 – 1:3,5.

3. Установлено, что добавление 100-250 мл концентрата стабилизатора грунтов Polybond в 1 т бурового шлама приводит к улучшению его деформационных характеристик.

4. Установлено, что содержание сухого остатка в водной вытяжке продукции на основе буровых шламов, при котором обеспечивается экологическая устойчивость по отношению к тест-объекту водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bred, составляет 27,8 г/кг.

5. Показано, что при введении в буровой шлам кислотного стабилизатора грунтов Polybond обеспечиваются оптимальные значения pH водной вытяжки. Высокие буферные свойства буровых шламов позволяют получить экологически безопасную продукцию со стабильным значением pH.

6. С использованием критериальных показателей оценки техногенного загрязнения почвенного покрова проведена оценка и корректировка экологических требований, предъявляемых к грунтовым смесям. Установлено, что загрязненность почвенного покрова при использовании грунтовой смеси не выходит за пределы зоны экологического риска.

7. Показано, что для обеспечения экологической устойчивости продукции на основе бурового шлама допустимое содержание отдельных компонентов в смеси не должно превышать следующих значений: по растворимым солям (по сухому остатку) – 20 г/кг; по нефтепродуктам – 5 г/кг; по тяжелым металлам – ПДК (ОДК) в почве; по pH – 6,0-8,8.

8. Разработаны и научно обоснованы требования, обеспечивающие получение геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов.

9. Определены ограничения к составу бурового шлама, который может быть использован для получения геоэкологически устойчивой продукции.

10. По результатам проведенных исследований установлен оптимальный состав грунтовой смеси на основе буровых шламов, обеспечивающий получение геоэкологически устойчивой продукции. Соотношения исходных компонентов – буровой шлам : песок : стабилизатор грунтов Polybond (раствора стабилизатора) = 1 : 0,7-3,5 : 0,0002-0,0004 (0,02-0,04) (в объёмных долях).

ГЛАВА 5 – ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ БУРОВЫХ ШЛАМОВ. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ШЛАМОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ГРУНТОВЫХ СМЕСЕЙ

На основании результатов выполненных экспериментальных исследований и основных требований, предъявляемых к исходному сырью и готовой продукции проведена оценка геоэкологической устойчивости грунтовых смесей оптимального состава по химическим, токсикологическим, физико-механическим характеристикам и разработана технология утилизации буровых шламов с получением геоэкологически устойчивых грунтовых смесей [155, 156]. Проведена оценка воздействия на окружающую среду производства грунтовых смесей, составлен алгоритм расчета основных характеристик процесса и его математическое описание. Произведены расчеты материального и теплового балансов процесса. Выполнен расчет технико-экономических показателей производства.

5.1. Оценка геоэкологической устойчивости грунтовых смесей на основе буровых шламов с использованием научно обоснованных требований

Для оценки геоэкологической устойчивости грунтовых смесей на основе буровых шламов выполнена проверка адекватности предложенных требований и оптимального состава. Были приготовлены и исследованы 1 смесь бурового шлама с песком и 1 смесь бурового шлама с песком и стабилизатором грунтов Polybond в оптимальных соотношениях, определенных в разделе 4.1. Смеси готовились на основе образца бурового шлама, который соответствовал IV классу опасности для окружающей природной среды.

Расчетное соотношение шлам-песок, при котором соблюдается требование по глинистым частицам (менее 15 %) для образца бурового шлама № 12 равно 1 : 0,8 (на влажный шлам).

Физические характеристики полученных смесей, для обеспечения конструктивной устойчивости, представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Физико-механические характеристики смесей

Соотношение шлам:песок:стабилизатор	Влажность смеси, д.е.	Влажность на границе текучести, д.е.	Влажность на границе раскалывания, д.е.	Число пластичности, д.е.	Плотность грунта, г/см ³	Плотность частиц грунта, г/см ³	Плотность сухого грунта, г/см ³	Коэффициент пористости	Гранулометрический состав, доля фракций (%)			Тип грунта
									Песчаная	Пылеватая	Глинистая	
1 кг :0.80 кг :0,0 мл	0,234	0,220	0,095	0,125	1,840	2,700	1,491	0,810	58,71	27,79	13,50	суглинок тяжелый текучий песчанистый
1 кг :0.80 кг :25 мл	0,087	0,210	0,189	0,132	1,800	2,700	1,656	0,631	66,73	24,52	8,73	суглинок тяжелый твердый песчанистый

Как видно из таблицы 5.1, требования к содержанию глинистых частиц (менее 15 % масс.) и типу грунта удовлетворяются для всех образцов. При этом видно, что при добавлении стабилизатора происходит укрупнение гранулометрического состава с увеличением доли песчаной фракции.

Для образца, обработанного стабилизатором, проведены компрессионные испытания, которые показали, что при влажности 8,8 % и плотности 1,8 г/см³ модуль деформации составил 6,5 МПа.

В таблице 5.2 представлены результаты химического анализа и биотестирования смесей, обеспечивающие экологическую устойчивость.

Таблица 5.2 – Показатели состава грунтовых смесей

Образец шлама	Соотношение шлам:песок:стабилизатор (раствор)	Содержание нефтепродуктов (мг/кг)	pH водной вытяжки	Сухой остаток (мг/кг)	Токсичность
№12	1 кг :0.80 кг :0,0 мл	442	7.9	6250	Не оказывает острого токсического действия на тест- объект <i>Daphnia magna Straus</i>
	1 кг :0.80 кг :25 мл	520	8,7	350	

Как видно из таблицы 5.2, все полученные смеси не оказывает острого токсического действия на тест-объект *Daphnia magna Straus*. Все образцы имеют

относительно низкие значения pH ($\text{pH} < 8,8$). Содержание растворимых солей в указанных смесях не превышает 20 г/кг, а нефтепродуктов 5 г/кг. При этом видно, что при добавлении стабилизатора происходит резкое снижение содержания сухого остатка в водной вытяжке. Это объясняется тем, что стабилизатор грунтов, включающий в своем составе поверхностно-активные вещества, обладает свойствами гидрофобизаторов и изменяет водно-физические свойства смеси, частицы которой становятся более устойчивыми к проникновению воды и вымыванию растворимых солей.

Содержание тяжелых металлов в валовой форме в исходном образце бурового шлама находятся в пределах установленных допустимых концентраций. В связи с тем, что буровой шлам обладает высокими буферными свойствами по отношению к кислотному стабилизатору грунтов, содержание подвижных форм металлов в грунтовой смеси будет значительно ниже установленных допустимых концентраций (табл. 5.3).

Таблица 5.3 – Содержание тяжелых металлов в грунтовой смеси на основе буровых шламов

Наименование	ПДК подвижные формы, мг/кг [82]	Содержание подвижных форм тяжелых металлов
		Соотношение шлам:песок:стабилизатор (раствор) 1 кг :0.80 кг :25 мл
Хром	6,0	0,82
Кобальт	5,0	0,89
Медь	3,0	0,87
Свинец	6,0	1,4
Никель	4,0	2,6
Марганец	100,0	90
Цинк	23,0	2,6

На основании проведенных исследований установлено, что предложенные требования являются эффективными.

5.2. Описание технологического процесса производства грунтовых смесей на основе буровых шламов

Технология получения грунтовых смесей включает следующие стадии:

1. Приемка исходного сырья.

2. Дозирование сырья.
3. Смешение сырья в требуемых соотношениях с получением шламо-песчаной смеси.
4. Сушка шламо-песчаной смеси.
5. Дозирование кислотного стабилизатора грунтов.
6. Смешение шламо-песчаной смеси в требуемых соотношениях со стабилизатором грунтов с получением грунтовой смеси.
7. Дожигание и очистка отходящих газов.
8. Складирование и хранение готовой продукции.

Технологическая схема установки приведена на рисунке 5.1.

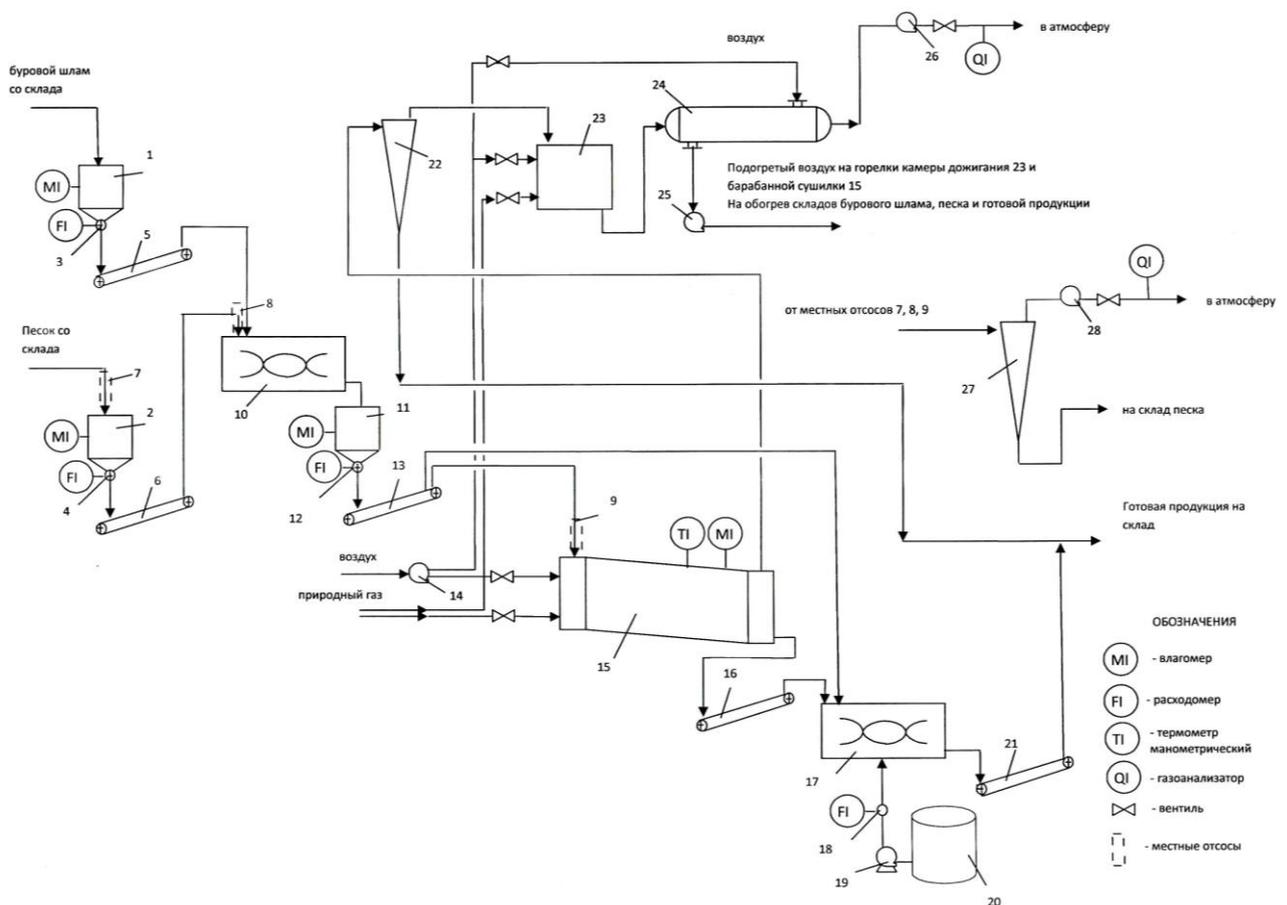


Рисунок 5.1 – Технологическая схема производства грунтовой смеси на основе буровых шламов 1, 2, 11 – бункеры; 3, 4, 12 – шнековые дозаторы; 5, 6, 13, 16, 21 – шнековые транспортеры; 7, 8, 9 – местные отсосы; 10 – смеситель лопастной непрерывного действия; 14, 26, 28 – вентиляторы; 15 – барабанная сушилка; 17 – смеситель лопастной периодического действия, выполненный в антикоррозионном исполнении; 18 – дозатор кислоты; 19 – насос; 20 – емкость с кислотным стабилизатором грунтов Polybond; 22, 27 – циклоны; 23 – камера дожигания отходящих газов из барабанной сушилки; 24 – кожухотрубчатый теплообменник 25 – компрессор

Размещение установки производства грунтовой смеси из бурового шлама предполагается на земельных участках месторождений добычи нефти и газа.

Производительность установки по производимой продукции составляет 40000 т/год. Работа установки предполагается 340 дней в год.

Исходное сырье доставляется на рабочую площадку с помощью автотранспорта (самосвалов). Для равномерного складирования бурового шлама, песка и готовой продукции предназначены бульдозеры. Проезд на объект работ предполагается круглогодичный по асфальтированной дороге до населенных пунктов и далее по щебеночным промысловым дорогам до предполагаемого места размещения установки.

Перед использованием бурового шлама в производстве грунтовой смеси осуществляется отбор проб шлама на складе бурового шлама из 4 произвольных точек склада, в результате чего составляют объединённую пробу с последующим квартованием (прием механического усреднения пробы почвы [157]), масса которой должна быть достаточной для определения всех контролируемых показателей. Пробы бурового шлама, отобранные на складе, анализируются на следующие основные параметры: содержание нефтепродуктов; содержание растворимых солей (по сухому остатку); содержание тяжелых металлов; доля глинистых частиц. Проведение анализа бурового шлама необходимо прежде всего для определения минимального количества песка для смешения с шламом с целью достижения содержания глинистых в грунтовой смеси не более 15 % (согласно ограничениям, определенным в главе 4) и содержания сухого остатка не более 20 г/кг.

На складе песка осуществляется отбор проб песка на основные параметры, определенные в документах [82, 83] (модуль крупности, содержание глинистых частиц и т.п.). При определении параметров учитывается, что для получения грунтовой смеси может использоваться песок с содержанием глинистых частиц до 5 %.

Буровой шлам из склада с помощью экскаватора подается в бункер поз. 1, оснащенный шнековым дозатором поз. 3, который предназначен для равномерного дозирования бурового шлама.

Песок природный из склада с помощью экскаватора подается в бункер поз. 2, оснащенный шнековым дозатором поз. 4, который предназначен для равномерного дозирования песка.

Затем буровой шлам и песок с помощью шнековых транспортеров поз. 5, 6 перемещаются и выгружаются в требуемом соотношении в засыпную воронку смесителя поз. 10, где происходит равномерное смешение компонентов смеси.

Использование в процессе лопастных смесителей, предназначенных для перемешивания сыпучих и тестообразных тел, обусловлено технологической необходимостью, так как буровой шлам по своим физическим характеристикам, в том числе по показателю текучести и консистенции, относится к текучим глинистым грунтам.

После смесителя поз. 10 производится отбор проб смеси на содержание влаги (влажность) в бункере поз. 11, оснащенным шнековым дозатором поз. 12. Если смесь удовлетворяет требуемым параметрам по влажности (глава 4), то она через шнековый транспортер поз. 13 поступает в смеситель поз. 17, в который из емкости поз. 20 с помощью насоса поз. 19 вводится методом распыления через форсунки определенное количество (с использованием дозатора поз. 18) раствора кислотного стабилизатора грунтов Polybond.

Смеситель поз. 17 представляет собой аппарат периодического действия, выполненный в противокоррозионном исполнении для работы в агрессивных средах.

Если смесь не удовлетворяет требуемым параметрам по влажности, то она через шнековый транспортер поз. 13 поступает в барабанную сушилку поз. 15 для доведения смеси до оптимальной влажности. В качестве топлива для сушки смеси может быть использован природный или попутный газ, образующийся на нефтегазодобывающих месторождениях. Подача воздуха в горелку барабанной сушилки осуществляется вентиляторами поз. 14. Температура газа, при которой

происходит сушка смеси, составляет 200 °С. Обоснование выбора температуры сушки представлено в разделе 5.3.

Барабанная сушилка оснащена автоматической контрольно-измерительной аппаратурой.

Готовая смесь оптимальной влажности через шнековый транспортер поз. 16 поступает в смеситель поз. 17, в который из емкости поз. 20 с помощью насоса поз. 19 вводится методом распыления через форсунки определенное количество (с использованием дозатора поз. 18) раствора кислотного стабилизатора грунтов Polybond.

После смесителя поз. 17 готовая грунтовая смесь через шнековый транспортер поз. 21 поступает на склад готовой продукции

В связи с тем, что при температуре топочных газов в барабанной сушилке 200 °С происходит неполное окисление углеводородов, которые могут десорбироваться при нагревании смеси, предусмотрено дожигание отходящих из барабанной сушилки газов для исключения загрязнения окружающей среды.

Отходящие газы из барабанной сушилки поз. 15 поступают в циклон поз. 22, где происходит их очистка от пыли. Далее газы из циклона поз. 22 поступают в камеру дожигания поз. 23, где происходит дожигание углеводородов при температуре 1000 °С. Подача воздуха в горелку камеры дожигания осуществляется вентилятором поз. 14.

После камеры дожигания поз. 23 нагретые газы после разбавления воздухом до 800 °С поступают в кожухотрубчатый теплообменник поз. 24, в котором происходит нагрев воздуха в межтрубном пространстве и охлаждение отходящих газов в трубном пространстве. Подогретый воздух из межтрубного пространства кожухотрубчатого теплообменника поз. 24 может использоваться для обогрева складов бурового шлама, песка и готовой продукции в зимний период, либо может быть направлен на горелки камеры дожигания поз. 23 и барабанной сушилки поз. 15. Охлажденные отходящие газы из трубного пространства кожухотрубчатого теплообменника поз. 24 через вентилятор поз. 26 выбрасываются в атмосферу.

Для исключения выбросов загрязняющих веществ от перевалки материалов предусмотрены местные отсосы поз. 7, 8, 9 в циклон поз. 27. Далее отходящие газы через вентилятор поз. 28 выбрасываются в атмосферу.

Эксплуатация установки предусмотрена в две смены по 12 часов. Средняя численность рабочих, одновременно находящихся на площадке, составляет 9 человек.

Для отдыха и приема привозной готовой пищи персоналом предусмотрена вагон-бытовка.

Обеспечение хозяйственно-питьевых нужд персонала, занятого в период строительства и осуществления процесса изготовления грунтовых смесей на основе буровых шламов, будет осуществляться привозной водой питьевого качества по договору со специализированной организацией.

Для хозяйственно-бытовых целей персонала предусмотрен туалет с выгребной ямой (либо биотуалет), расположенный на территории площадки. Сбор отходов предполагается осуществлять в контейнеры для сбора мусора и отходов, расположенные на специальной площадке с твердым бетонным покрытием. Осуществление вывоза отходов предполагается по договору со специализированной организацией.

Заправка дорожной спецтехники осуществляется с помощью бензовоза. На технологической площадке предусмотрено место стоянки бензовоза. Для исключения проливов горюче-смазочных материалов при заправке техники подставляется поддон, опорожнение которого производится в соответствующие устройства самой дорожной техники.

Контроль готовой продукции осуществляется путем отбора проб из 4 произвольных точек места накопления продукта, в результате чего составляют объединённую пробу с последующим квартованием, масса которой должна быть достаточной для определения всех контролируемых показателей качества продукции.

Осуществление лабораторного контроля за качеством приготовления грунтовой смеси предусматривается по договору с аккредитованной лабораторией.

Техническое обслуживание и ремонт технических устройств и транспорта планируется осуществлять по договорам со специализированными организациями.

Буровые шламы естественной влажности хранят на складе размерами 30х20х6 м. Запас шлама должен составлять не менее 1000 тонн. Песок природный естественной влажности хранят в штабельном складе размерами 40х30х6 м. Запас песка должен составлять не менее 5000 тонн при естественной влажности. Склады бурового шлама и песка представляют собой сборно-разборные здания ангарного типа с возможностью обогрева в зимний период подогретым воздухом из межтрубного пространства кожухотрубчатого теплообменника поз. 24.

Полученную грунтовую смесь необходимо хранить в сухом, закрытом помещении, не допуская попадания прямых солнечных лучей и атмосферных осадков для исключения высыхания и переувлажнения. Для этих целей предусмотрен отапливаемый склад, представляющий собой сборно-разборное здание ангарного типа размерами 40х35х6 м.

Срок хранения приготовленной грунтовой смеси устанавливается изготовителем с учетом соблюдения требований к качеству продукции.

По истечению срока хранения смесь должна быть приведена в соответствие с требованиями. В случае соответствия требованиям смесь может быть использована по назначению.

Вывоз смеси потребителю осуществляют автотранспортом (самосвалом). Транспортирование грунтовых смесей должно исключать возможность попадания в них атмосферных осадков и обеспечивать предохранение смеси в пути от воздействия ветра и солнечных лучей.

Исполнение технологии может быть осуществлено как в стационарном, так и в мобильном варианте.

С использованием методики комплексной оценки экологичности и качества природозащитных технологий [158] произведена оценка технологии производства грунтовых смесей на основе буровых шламов, которая показала, что по совокупности геоэкологических, технологических и эксплуатационных аспектов разработанная технология не окажет значительного воздействия на компоненты окружающей среды [159].

Результаты обоснования и разработки технологии утилизации буровых шламов с получением грунтовых смесей использованы при разработке технических условий на материал «Техногрунт-S» и технологического регламента на процесс изготовления «Техногрунт-S», получаемого в результате утилизации буровых шламов по разработанной технологии.

Разработанная экологически безопасная технология утилизации буровых шламов с получением грунтовых смесей принята ООО «ЭкологияНефтьСервис» как техническое решение на проектирование технологической линии утилизации бурового шлама производительностью 40 тыс. тонн в год дорожно-строительного материала. Акт внедрения приведен в Приложении А.

Результаты диссертационной работы использованы Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации при подготовке материалов в части обобщения существующей практики ликвидации и рекультивации шламовых амбаров и рекомендаций по переработке нефтезагрязненных отходов в целях минимизации влияния хозяйственной деятельности на экосистемы (Приложение Б).

5.3. Оценка воздействия на окружающую среду технологии производства грунтовых смесей на основе буровых шламов

Согласно [160] оценка воздействия на окружающую среду – вид деятельности по выявлению, анализу и учету прямых, косвенных и иных последствий воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной и иной деятельности в целях принятия решения о возможности или невозможности ее осуществления.

К видам негативного воздействия на окружающую среду согласно [161] относятся:

- выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ;
- сбросы загрязняющих веществ и микроорганизмов в поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и на водосборные площади;
- загрязнение недр, почв;
- размещение отходов производства и потребления;
- загрязнение окружающей среды шумом, теплом, электромагнитными, ионизирующими и другими видами физических воздействий;
- иные виды негативного воздействия на окружающую среду.

Воздействие установки на атмосферный воздух и характеристика источников выбросов загрязняющих веществ

Загрязнение атмосферного воздуха в период строительства установки возможно от ряда неорганизованных стационарных и передвижных источников.

Источниками загрязнения атмосферы при строительстве преимущественно являются двигатели внутреннего сгорания автотранспорта и спецтехники и выбросы при транспорте сыпучих материалов, отсыпке и планировке площадок, при проведении сварочных и покрасочных работ.

В период строительства в атмосферный воздух поступают такие загрязняющие вещества, как оксиды азота (NO , NO_2), серы (SO_2), углерода (CO), бензин, сажа, сероводород (H_2S), формальдегид, бенз(а)пирен, керосин, пыль неорганическая (с различным содержанием SiO_2), сварочный аэрозоль, пары растворителей и реагентов, углеводороды предельные.

Учитывая кратковременный характер и нестационарность работы источников выделения и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в период строительства, преимущественное расположение участка проведения работ вдали от населенных пунктов, степень воздействия на атмосферный воздух в период строительства можно считать низкой и допустимой.

В период эксплуатации установки в атмосферный воздух будут выделяться вредные примеси от семи стационарных источников выбросов.

Источник выбросов № 1. Открытая стоянка автотранспорта склада буровых шламов. Источник выделения загрязняющих веществ – двигатели автомашины (самосвал), перевозящей буровые шламы. Выделяемые загрязняющие вещества: оксиды азота (NO, NO₂); оксид серы (SO₂), оксид углерода (CO); сажа; керосин.

Источник выбросов № 2. Склад буровых шламов. Выделяемое загрязняющее вещество – углеводороды C₁₂-C₁₉ (остаточные в составе буровых шламов). Отходы имеют высокую влажность, поэтому пыления от склада происходить не будет.

Источник выбросов № 3. Открытая стоянка автотранспорта склада песка. Источник выделения загрязняющих веществ – двигатели автомашины (самосвал), перевозящей песок. Выделяемые загрязняющие вещества: оксиды азота (NO, NO₂); оксид серы (SO₂), оксид углерода (CO); сажа; керосин.

Источник выбросов № 4. Склад песка. Источники выделения загрязняющих веществ: работа бульдозера (отвалообразование), работа экскаватора, пыление при отвалообразовании и перегрузке песка, при транспортировке песка на склад, при перегрузке песка с самосвала и пыление при хранении песка. Выделяемые загрязняющие вещества: оксиды азота (NO, NO₂); оксид серы (SO₂), оксид углерода (CO); сажа; керосин; пыль неорганическая: 70-20% SiO₂.

Источник выбросов № 5. Барабанная сушилка для сушки шламо-песчаной смеси. В ней происходит выделение углеводородов C₁₂-C₁₉, которые дожигаются в камере поз. 23 и пыли неорганической: 70-20% SiO₂.

Источник выбросов № 6. Перегрузки песка. Происходит пыление при перегрузке песка (пересыпке). Пересыпки оборудованы укрытием, местными отсосами, объединенными в систему аспирации пыли. В атмосферу выделяется пыль неорганическая: 70-20% SiO₂.

Источник выбросов № 7. Склад готовой продукции. На складе происходит хранение и перегрузка готовой продукции. Выбросы выделяются при перегрузке продукции на автомашину (самосвал), при работе бульдозера, при хранении на

складе продукции, при работе экскаватора. Склад является закрытым отдельным помещением, не оснащенным системой вентиляции. Выброс в атмосферу происходит через неплотности, окна, ворота. Выделяемые загрязняющие вещества: оксиды азота (NO, NO₂); оксид серы (SO₂), оксид углерода (CO); сажа; керосин, пыль неорганическая: 70-20% SiO₂.

Источник выбросов № 8. Открытая стоянка автотранспорта склада готовой продукции. Здесь выделение загрязняющих веществ происходит при транспортировке смеси автомашиной (самосвалом) и от автостоянки автомашин (самосвал). Выделяемые загрязняющие вещества: азот (IV) оксид; азот (II) оксид; углерод (сажа); сера диоксид-ангидрид сернистый; углерод оксид; керосин; пыль неорганическая: 70-20% SiO₂.

Для оценки воздействия разработанной установки на атмосферный воздух с использованием унифицированной программы УПРЗА «Эколог» фирмы «Интеграл», версия 3.00 произведен расчет рассеивания.

Расчет рассеивания проведен по веществам и группам веществ, обладающих комбинированным воздействием: диоксид азота (NO₂); оксид азота (NO); углерод (Сажа); диоксид серы (SO₂); оксид углерода (CO); углеводороды предельные C₁₂-C₁₉; керосин; пыль неорганическая: 70-20% SiO₂; группа суммации: диоксид азота (NO₂), диоксид серы (SO₂); группа суммации 1: оксид углерода (CO) и пыль цементного производства; группа суммации 2: диоксид азота (NO₂), диоксид серы (SO₂).

Результаты расчета рассеивания приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Анализ величин концентраций загрязняющих веществ в расчетных точках

Загрязняющее вещество	Максимальная расчетная концентрация на границе СЗЗ, доли ПДК	Источники, дающие максимальный вклад в загрязнение		Принадлежность источника
		№ источника	% вклада	
Диоксид азота (NO ₂)	0,69	4	62,26	Склад песка
Оксид азота (NO)	0,06	4	62,31	Склад песка
Углерод (Сажа)	0,10	7	47,96	Склад готовой продукции
Диоксид серы (SO ₂)	0,006	4	51,12	Склад песка

Загрязняющее вещество	Максимальная расчетная концентрация на границе СЗЗ, доли ПДК	Источники, дающие максимальный вклад в загрязнение		Принадлежность источника
		№ источника	% вклада	
Оксид углерода (СО)	0,03	4	44,75	Склад песка
Керосин	0,08	7	49,89	Склад готовой продукции
Углеводороды предельные C ₁₂ -C ₁₉	<i>Расчет нецелесообразен</i>			
	<i>Сумма Cm/ПДК = 0,0754274 < E3 = 0,1</i>			
Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	0,68	4	69,00	Склад песка
Группа суммации 1	0,71	4	67,97	Склад песка
Группа суммации 2	0,44	4	62,17	Склад песка

По результатам расчета рассеивания установлено следующее:

- по углеводородам предельным C₁₂-C₁₉ расчет не целесообразен, так как для данного загрязняющего вещества сумма Cm/ПДК менее критерия целесообразности расчета E3 = 0,1;
- максимальный уровень загрязнения на границе санитарно-защитной зоны достигается по диоксиду азота – 0,69 долей ПДК и по Пыли неорганической: 70-20% SiO₂ – 0,68 долей ПДК;
- по остальным загрязняющим веществам уровень загрязнения находится в диапазоне от 0,10 доли ПДК по Углероду (Сажа) до 0,006 доли ПДК по диоксиду серы;
- для веществ, обладающих эффектом суммарного воздействия, максимальный уровень загрязнения достигается по группе веществ 1 (группа суммации 1) и составляет 0,71 долей ПДК.

Из таблицы 5.4 видно, что основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха в расчетных точках вносят источники выбросов:

№ 4 (Склад песка) – по оксидам азота (NO, NO₂), оксиду серы (SO₂), оксиду углерода (СО), пыли неорганической: 70-20% SiO₂ и по группам суммации 1, 2;

№ 7 (Склад готовой продукции) – по Углероду (Сажа) и Керосину.

Расчет рассеивания загрязняющих веществ показал, что уровень загрязнения атмосферного воздуха, создаваемый источниками выбросов в расчетных точках на границе рекомендуемой санитарно-защитной зоны, не превышает гигиенические нормативы ни по одному из веществ. Воздействие

установки производства грунтовых смесей на основе буровых шламов на атмосферный воздух будет безопасным.

По всем загрязняющим веществам произведен расчет суммарного выброса от всех источников установки, на основании которого были установлены нормативы предельно допустимого воздействия (ПДВ) (табл. 5.5).

Таблица 5.5 – Нормативы выбросов вредных веществ в целом по установке

Наименование вещества	П Д В	
	г/с	т/год
Диоксид азота (NO ₂)	0,292	4,788
Оксид азота (NO)	0,047	0,778
Углерод (Сажа)	0,031	0,389
Диоксид серы (SO ₂)	0,008	0,033
Оксид углерода (CO)	0,389	4,040
Керосин	0,187	2,606
Углеводороды предельные C ₁₂ -C ₁₉	0,011	0,360
Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	0,699	54,963
Всего веществ:	1,664	67,957
В том числе твердых:	0,729	55,352
Жидких/газообразных:	0,935	12,605

Для минимизации негативного воздействия установки производства грунтовых смесей на основе буровых шламов на атмосферный воздух необходимо предусмотреть выполнение следующих природоохранных мероприятий:

- размещение рабочей площадки конкретной установки к селитебной территории на расстоянии, не меньшем, чем размер установленной санитарно-защитной зоны;
- производственный контроль за состоянием циклонов и вытяжных систем;
- контроль соблюдения нормативов предельно допустимых выбросов;
- проведение систематических текущих осмотров используемой техники для сокращения выбросов загрязняющих веществ двигателями внутреннего сгорания и регулирование системы топливоподачи для обеспечения оптимального выхлопа вредных газов.

Воздействие установки на состояние поверхностных и подземных вод

В процессе проведения работ по монтажу и эксплуатации установки воздействие на водные объекты не прогнозируется. Вода в технологическом процессе используется для приготовления раствора стабилизатора грунтов Polybond. Завоз воды осуществляется с помощью спецтранспорта по договору со специализированной организацией.

Для предотвращения смыва почвы и минимизации воздействия на подземные воды должен быть предусмотрен организованный отвод дождевых и талых вод с рассматриваемой территории по системе лотков на рельеф местности.

В процессе производства грунтовой смеси воздействие на поверхностные и подземные воды будет на допустимом уровне при соблюдении технологического процесса и следующих природоохранных мероприятий:

- размещение рабочей площадки вне зон санитарной охраны водозаборов, вне водоохраных зон водных объектов, вне рыбоохраных зон;
- проведение мероприятий для исключения фильтрации в подземные горизонты;
- уплотнение основания рабочей площадки;
- организованный отвод дождевых и талых вод с территории рабочей площадки;
- устройство дренаж-осушителей на участках наиболее неблагоприятных с точки зрения водоотведения;
- гидроизоляция основания склада буровых шламов с использованием материалов с коэффициентом фильтрации не менее 0,0001 и гидроизоляционных покрытий;
- обвалование территории складирования буровых шламов и склада горюче-смазочных материалов.

Воздействие установки на геологическую среду и почву

Воздействие на геологическую среду и почву планируется минимальное и только в процессе проведения работ при строительстве и монтаже установки (снятие почвенно-растительного слоя для размещения установки, работа техники при строительстве и монтаже установки).

В процессе производства грунтовой смеси воздействие на геологическую среду и почву будет на допустимом уровне при соблюдении технологического процесса и следующих природоохранных мероприятий:

- проведение работ строго в границах отведенной под строительство территории;
- использовать гидроизоляционный материал при обустройстве площадки складирования буровых шламов;
- производить своевременную уборку бытового и строительного мусора при проведении работ;
- осуществлять стоянку техники только на площадках, оборудованных твердым покрытием;
- складировать сырье и материалы в специальных местах, оборудованных твердым покрытием.

Отходы, образующиеся при строительстве и эксплуатации установки

В период проведения работ по строительству и эксплуатации установки планируется образование следующих видов отходов: мусор от бытовых помещений несортированный; электрические лампы накаливания, отработанные и брак; грунт, образовавшийся при проведении землеройных работ, не загрязненный опасными веществами; древесные отходы из натуральной чистой древесины несортированные; обувь и спецодежда, утратившие потребительские свойства.

На технологической площадке предусмотрено устройство туалета и металлических контейнеров объемом 1 м³, для накопления твердых бытовых отходов.

Отходы из выгребной ямы дворового туалета вывозятся по договору со специализированной организацией на ближайшие очистные сооружения.

Вывоз отходов производства и потребления производится специализированными предприятиями на санкционированные полигоны.

В процессе производства грунтовой смеси воздействие на окружающую среду при размещении отходов будет на допустимом уровне при соблюдении технологического процесса и следующих природоохранных мероприятий:

- обеспечить своевременное заключение договоров на вывоз и размещение отходов производства и потребления;
- обеспечить сбор отходов отдельно по классам опасности в специально предназначенные для этих целей емкости (контейнеры, бочки и др.);
- обеспечить временное хранение отходов в соответствии с требованиями и инструкциями, не допускать сверхлимитного накопления отходов производства и потребления;
- утилизировать образующиеся отходы в специализированных организациях, имеющих лицензию на соответствующий вид деятельности;
- транспортировать отходы специализированным или специально оборудованным для этих целей транспортом;
- соблюдать график вывоза отходов.

Шумовое воздействие

Работа строительной техники и транспорта на период строительства и на эксплуатации рассматриваемой технологии не приведет к значимому ухудшению акустической обстановки как в районе проведения работ, так и на селитебных территориях в связи с тем, что установку производства грунтовых смесей на основе буровых шламов планируется организовать вблизи действующих

нефтегазовых месторождений, которые расположены на значительном расстоянии от населенных пунктов.

Разработка дополнительных шумозащитных мероприятий – не требуется.

Воздействие установки на состояние растительного и животного мира

В процессе проведения работ по монтажу установки по производству грунтовых смесей на основе буровых шламов воздействие на состояние растительного и животного мира прогнозируется минимальное, обусловленное производственной необходимостью.

В период проведения работ по организации и обустройству площадки, монтажу установки происходит отчуждение земель, сведение кустарниковой и древесной растительности, изменение рельефа.

Данное воздействие носит вынужденный характер. Воздействие является временным, срок воздействия незначительный.

В процессе производства грунтовой смеси воздействие на состояние растительного и животного мира будет на допустимом уровне при соблюдении технологического процесса и следующих природоохранных мероприятий:

- размещение рабочей площадки вне ареалов распространения редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений, подлежащих охране государства;
- рекультивация территории временного отвода на период строительства и монтажа оборудования и временных автодорог;
- компенсационно-восстановительные меры по охране среды обитания растительного и животного мира;
- обустройство ограждений и приспособлений для защиты животных на путях миграций;
- работы по восстановлению растительного покрова (травянистого яруса).

Проведенная оценка воздействия на окружающую среду установки производства грунтовых смесей на основе буровых шламов использована при подготовке материалов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) в составе проектной документации. Разработанный ОВОС в составе проектной документации был представлен на государственную экологическую экспертизу, по результатам рассмотрения которой получено положительное заключение на «Новую технологию использования отходов от добычи нефти и газа с получением «Техногрунт–S», пригодного в качестве инертного строительного материала» (Приложение В).

5.4. Математическое описание и расчет материального и теплового балансов процесса получения грунтовых смесей

Математическая модель процесса (алгоритм) содержит уравнения материального и теплового балансов и кинетики и ограничения на диапазон изменения некоторых переменных. Математическое описание основывается на результатах выполненных исследований и состоит из основных уравнений и вспомогательных зависимостей с использованием литературы [162-165].

На основании разработанного алгоритма (Приложение Г) составлена программа расчета в среде Microsoft Excel в пакете Visual Basic (VBA).

Разработанная программа расчета позволяет изменять достаточно большое количество переменных (состав газа, влажность, температура, расход).

В качестве исходных данных для расчета приняты:

- соотношение шлам : песок : Polybond : вода (m^3) – 1 : 2 : 0,0004 : 0,04.
- тип грунта – суглинок легкий (число пластичности $I = 10$);
- расход влажной смеси ($G_{в.лн} = 5000$ кг/ч);
- начальная влажность смеси ($W_n = 25$ %);
- влажность смеси на пределе текучести ($W_T = 16$ %);
- начальная температура смеси ($t_n^M = 10$ °C);
- температура топочных газов в барабанной сушилке ($t_{газ} = 200$ °C).

В качестве газообразного топлива при сушке смеси в барабанной сушилке используется природный газ следующего состава (об. %): $\text{CH}_4 = 87$; $\text{C}_2\text{H}_6 = 6$; $\text{C}_3\text{H}_8 = 3$; $\text{C}_4\text{H}_{10} = 2$; $\text{C}_5\text{H}_{12} = 0,8$; $\text{CO}_2 = 0,1$; $\text{H}_2 = 1,1$. Состав атмосферного воздуха принят следующий: влагосодержание – 10 г/кг; температура – 20 °С; относительная влажность – 70 %.

Остальные исходные данные и расчетные характеристики приведены в Приложении Д.

Материальный баланс процесса выражается уравнением (5.1):

$$\Sigma G_{\text{вх}} = \Sigma G_{\text{вых}} + \Sigma G_{\text{пот}}, \quad (5.1)$$

где $\Sigma G_{\text{вх}}$ – сумма входящих потоков, кг/ч;

$\Sigma G_{\text{вых}}$ – сумма выходящих потоков, кг/ч;

$\Sigma G_{\text{пот}}$ – сумма потерь, кг/ч.

Материальные потоки процесса получения грунтовой смеси можно выразить уравнением (5.2):

$$G_{\text{бш}} + G_{\text{п}} + G_{\text{стаб}} + G_{\text{воды}} + G_{\text{газ}} + G_{\text{пар}} = G_{\text{высстаб}} + G_{\text{отх}} + G_{\text{CO}_2}, \quad (5.2)$$

где $G_{\text{бш}}$ – количество бурового шлама;

$G_{\text{п}}$ – количество песка;

$G_{\text{стаб}}$ – количество концентрированного стабилизатора грунтов Polybond;

$G_{\text{воды}}$ – количество воды для приготовления раствора стабилизатора грунтов;

$G_{\text{газ}}$ – количество сухих дымовых газов на сушку;

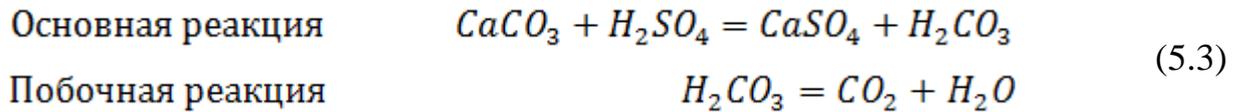
$G_{\text{пар}}$ – количество водяных паров в дымовых газах, поступающих на сушку;

$G_{\text{высстаб}}$ – количество грунтовой смеси после стабилизации;

$G_{\text{отх}}$ – количество влажных отходящих газов на выходе из барабана.

G_{CO_2} – количество диоксида углерода, выделяемого в процессе взаимодействия карбоната кальция, содержащегося в буровых шламах со стабилизатором грунтов, содержащем в своем составе серную кислоту.

Расчет количества образовавшихся продуктов проводился на основе стехиометрических уравнений реакции (5.3) и известных молекулярных масс реагирующих компонентов.



Масса образовавшихся продуктов рассчитывается по уравнению (5.4):

$$m_{\text{прод}} = \frac{m_{\text{исх}} \cdot \nu_{\text{прод}} \cdot M_{\text{прод}}}{\nu_{\text{исх}} \cdot M_{\text{исх}}}, \quad (5.4)$$

где $m_{\text{прод}}$ – масса продукта реакции;

$m_{\text{исх}}$ – масса исходного вещества;

$\nu_{\text{исх}}, \nu_{\text{прод}}$ – стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции;

$M_{\text{исх}}, M_{\text{прод}}$ – молекулярные массы исходного вещества и продукта реакции.

Материальный баланс процесса получения грунтовой смеси представлен в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Материальный баланс

Приход	кг/ч	%	Расход	кг/ч	%
Буровой шлам	1666,67	14,493	Грунтовая смесь после сушки и стабилизации	4356,12	37,879
Песок	3333,33	28,985	Влажные отходящие газы из барабана	7156,00	62,226
Стабилизатор грунтов Polybond	0,71	0,006	Диоксид углерода, выделяемый в процессе стабилизации	0,16	0,001
Вода для приготовления раствора стабилизатора грунтов	70,83	0,616	Невязка баланса	-12,21	-0,106
Сухие газы	6237,64	54,240			
Водяные пары в дымовых газах, поступающих на сушку	190,88	1,660			
Итого	11500,06	100,000	Итого	11500,06	100,000

Расчет теплового баланса процесса произведен для процесса сушки смеси в барабанной сушилке. Тепловой баланс барабанной сушилки представлен уравнением (5.5). Приход тепла включает тепло от сгорания топлива (попутного природного газа), а также тепло, вносимое воздухом, подаваемым на горение и для разбавления дымовых газов. Расход тепла включает тепло на нагрев

материала, на нагревание и испарение влаги материала, а также расход тепла с отходящими дымовыми газами, теплотери в топке и в окружающую природную среду.

$$Q_{\text{гор}} + Q_{\text{в}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{отх}} + Q_{\text{пот}} + Q_{\text{окр}}, \quad (5.5)$$

где $Q_{\text{гор}}$ – тепло от сгорания топлива;

$Q_{\text{в}}$ – тепло, вносимое воздухом, подаваемым на горение и разбавление дымовых газов;

$Q_{\text{м}}$ – тепло на нагрев смеси;

$Q_{\text{исп}}$ – тепло на нагревание и испарение влаги;

$Q_{\text{отх}}$ – тепло с отходящими дымовыми газами;

$Q_{\text{пот}}$ – потери тепла в топке;

$Q_{\text{окр}}$ – потери тепла в окружающую среду.

Тепловой баланс процесса сушки смеси представлен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Тепловой баланс сушки смеси

Приход	кДж/ч	%	Расход	кДж/ч	%
Тепло от сгорания топлива	3099302,6	96,225	Тепло на нагрев смеси	299003,2	9,283
Тепло вносимое воздухом, подаваемым на горение и разбавление дымовых газов	121583,9	3,775	Потери тепла в окружающую среду	70757,1	2,197
			Тепло на нагревание и испарение влаги	1894021,9	58,804
			Тепло с отходящими дымовыми газами	649512,2	20,166
			Потери тепла в топке	309930,3	9,623
			Невязка баланса	-2338,2	-0,073
Итого	3220886,5	100,00	Итого	3220886,5	100,00

Для выбора оптимального режима сушки смеси были проведены модельные расчеты параметров процесса сушки при различной температуре. Для этого использовались уравнения кинетики сушки (5.6, 5.7) [165]:

$$\vartheta_{\text{суш}} = \frac{\beta_{\text{м}} \cdot F_{\text{исп}} \cdot \Delta X_{\text{ср}} \cdot 3600}{G_{\text{вм}}}, \quad (5.6)$$

$$\tau_{\text{суш}} = \frac{W_{\text{н}} - W_{\text{кр}}}{\vartheta_{\text{суш}}} + \frac{W_{\text{кр}}}{\vartheta_{\text{суш}}} \cdot 2,3 \cdot \log \frac{W_{\text{кр}}}{W_{\text{к}}}, \quad (5.7)$$

где $W_{\text{н}}$ – начальная влажность смеси, д.е.;

$W_{\text{кр}}$ – критическое влагосодержание, д.е.;

W_k – конечная влажность смеси, д.е.;

$G_{вм}$ – количество высушенной смеси, кг/ч;

$F_{исп}$ – площадь поверхности испарения, м²;

β_m – объемный коэффициент массоотдачи, с⁻¹;

$\Delta X_{ср}$ – средняя движущая сила, кг/кг;

$\vartheta_{суш}$ – скорость сушки, кг/кг·с;

$\tau_{суш}$ – продолжительность сушки, ч.

Кинетика сушки устанавливает связь между изменениями влажности материала во времени и параметрами процесса (свойства и структура материала, его размеры, температура, гидродинамические условия обтекания материала сушильным агентом и др.). Уравнение кинетики сушки характеризует процесс удаления влаги из материала во времени и используется для определения продолжительности и режима сушки [165].

На основании модельных расчетов получены расчетные кривые скорости сушки и времени сушки в зависимости от температуры сушильного агента в барабанной сушилке (рис. 5.2).

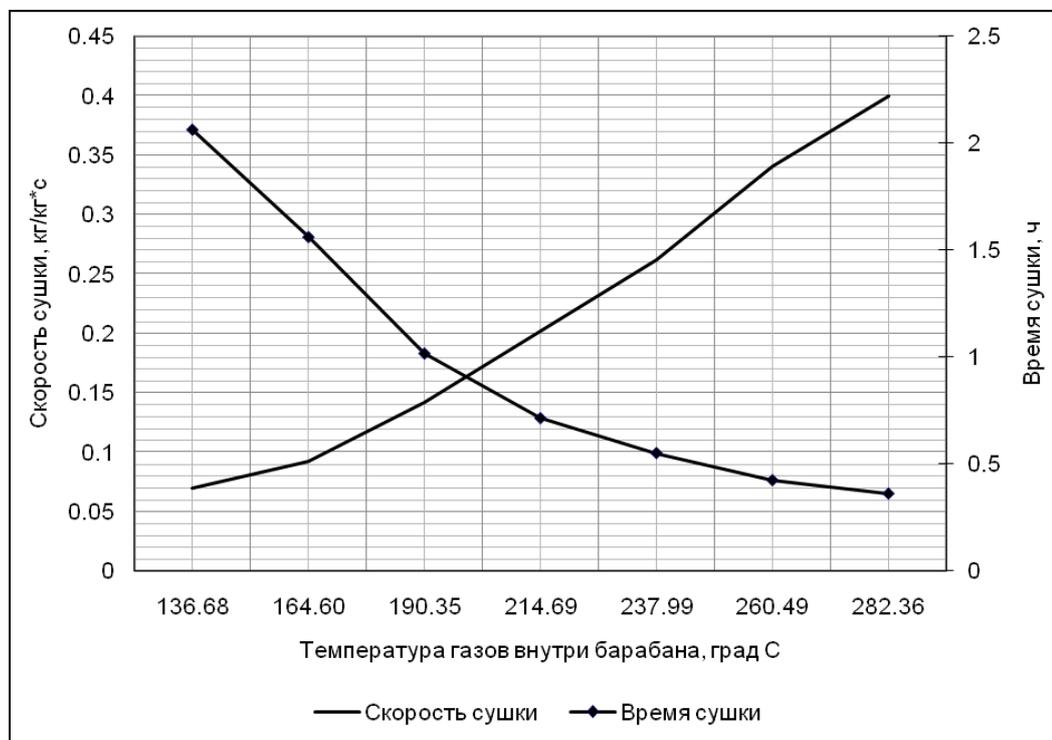


Рисунок 5.2 – Зависимость скорости сушки и продолжительности сушки от температуры

Из рисунка 5.2 видно, что оптимальные значения скорости и времени сушки достигаются при температуре сушильного агента в барабанной сушилке около 200 °С.

Результаты определения основных характеристик процесса (в т.ч. времени сушки) представлены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Основные расчетные характеристики процесса

Наименование	Ед. изм.	Значение
Общий объем продуктов горения природного газа	м ³ /м ³	14,409
Температура газов внутри барабана	°С	202,667
Расход топлива	кг/ч	74,846
Удельное количество теплоты на 1 кг испаренной влаги	кДж/кг	4333,082
Удельный расход топлива на 1 кг испаренной влаги	м ³ /кг	0,105
Тепловое КПД сушилки		0,611
Число оборотов барабана	об./мин	1,382
Мощность барабана	кВт/ч	2,55
Скорость газа на выходе из барабана	м/с	1,512
Действительный объем отходящих газов на выходе из барабана	м ³ /ч	7561,436
Площадь поверхности испарения	м ²	3,4
Объемный коэффициент массоотдачи	с ⁻¹	0,213
Средняя движущая сила	кг/кг	0,241
Скорость сушки	кг/кг·с	0,146
Продолжительность сушки	ч	0,986

Для оценки экономической эффективности разработанной технологии проведены технико-экономические расчеты строительства установки утилизации бурового шлама с получением грунтовой смеси мощностью производства 40 тыс. т/год (Приложение Е).

Расчет технико-экономических показателей показал, что капитальные вложения в строительство установки составят 39762,345 тыс. рублей, прибыль с учетом налога (24 %) – 7600,0 тыс. рублей. Срок окупаемости установки получения грунтовой смеси составит 5 лет.

5.5. Эколого-экономическая оценка предотвращенного ущерба почвам, как объекту окружающей среды, при утилизации буровых шламов с получением грунтовых смесей

Производительность установки по производимой продукции составляет 40000 т/год или с учетом плотности грунтовой смеси $1800 \text{ кг/м}^3 - 22222,22 \text{ м}^3/\text{год}$.

С учетом того, что среднее соотношение шлам:песок в технологии производства грунтовой смеси составляет 1:2, соответственно бурового шлама для производства требуемого объема продукции необходимо $7407,4 \text{ м}^3/\text{год}$. Предотвращенный экологический ущерб почве в результате снижения негативного воздействия буровых шламов на окружающую среду за счет их утилизации с получением грунтовой смеси ($УЩ_{\text{пред}}$), определяется по формуле (5.8):

$$УЩ_{\text{пред}} = V_{\text{бш}} \times ЦУЩ_{\text{бш}}, \quad (5.8)$$

где $УЩ_{\text{сумм}}$ – суммарный эколого-экономический ущерб (вред) почве, как объекту окружающей среде, от размещения бурового шлама в шламовых амбарах, млн. руб;

$V_{\text{бш}}$ – объем бурового шлама, использованный в технологии утилизации с получением грунтовой смеси, м^3 ;

$ЦУЩ_{\text{бш}}$ – стоимостный ущерб от размещения 1 м^3 бурового шлама в шламовом амбаре, млн. руб;

$$УЩ_{\text{пред}} = 7407,4 \times 2000 = 14,814 \text{ млн.руб.}$$

Эколого-экономическая эффективность природоохранного проекта утилизации буровых шламов по разработанной технологии с получением грунтовой смеси рассчитывается по формуле (5.9) [166]:

$$E = \frac{УЩ_{\text{пред}}}{C + E_N \cdot K}, \quad (5.9)$$

где $УЩ_{\text{пред}}$ – суммарный эколого-экономический ущерб (вред) почве;

C – текущие затраты в течение года (3874,328 тыс. руб. табл. Е. 11 Приложения Е);

E_N – норматив эффективности для приведенных капитальных вложений к годовой размерности (согласно Приказу Минстроя от 14.09.1992 № 209 [167] для промышленности строительных материалов показатель равен 0,15);

K – капитальные вложения, определившие эффект (39762,345 тыс. руб. табл. Е.12 Приложения Е).

$$E = \frac{14814}{3874,328 + 0,15 \cdot 39762,345} = 1,505$$

Таким образом, технология получения грунтовой смеси на основе буровых шламов эффективна с эколого-экономической точки зрения, так как 1 рубль капитальных вложений дает 1,5 рубля экологического эффекта.

При этом освобождаются и возвращаются в хозяйственный оборот земли (после проведения необходимых восстановительных мероприятий) на площади 21,219 тыс. м² (2,12 га).

ВЫВОДЫ К ГЛАВЕ 5

1. 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.

2. Разработана принципиальная технологическая схема процесса производства геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов. Технология использована при разработке технических условий и технологического регламента на процесс изготовления «Техногрунт-S», получаемого в результате переработки отходов добычи нефти и газа.

3. Разработанная технология принята как техническое решение на проектирование технологической линии утилизации бурового шлама производительностью 40 тыс. тонн в год дорожно-строительного материала.

4. Проведена оценка воздействия на окружающую среду производства грунтовой смеси из бурового шлама, получено положительное заключение государственной экологической экспертизы.

5. Составлен алгоритм и математическое описание процесса производства грунтовой смеси. Разработана программа расчета основных характеристик процесса в среде Microsoft Excel в пакете Visual Basic (VBA), выполнен расчет основных параметров процесса.

6. Разработано технико-экономическое обоснование строительства установки производства грунтовой смеси из бурового шлама мощностью 40000 т/год с капитальными вложениями в размере 39762,345 тыс. рублей и прибылью – 7600,0 тыс. рублей.

7. Оценена эколого-экономическая эффективность разработанной технологии, которая составляет 1,5 рубля на 1 рубль капитальных вложений.

8. Рассчитан предотвращенный ущерб почве как объекту окружающей среды при изготовлении грунтовых смесей из буровых шламов, который составляет 14,814 млн. руб. в год. При этом возвращаются в хозяйственный оборот земли на площади 21219 м².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании анализа научно-технической литературы выявлено, что исследования, посвященные оценке степени опасности компонентов, входящих в буровые шламы, на класс опасности отходов с установлением граничных условий их влияния, исследования по геоэкологической устойчивости буровых шламов и продукции на их основе, а также исследования по установлению ограничений к составу продукции по химическим, токсическим и физическо-механическим свойствам для обеспечения данной устойчивости не проводились.

2. Научно обоснованы граничные условия влияния содержания отдельных компонентов состава бурового шлама на выживаемость низших ракообразных и численность клеток водорослей. Показано, что V класс опасности бурового шлама, при котором негативное влияние на тест-объекты минимально, сохраняется до содержания по растворимым солям (по сухому остатку) – 33,5 г/кг; по нефтепродуктам – 7,08 г/кг.

3. Определен эколого-экономический ущерб от размещения буровых шламов в шламовом амбаре, который составляет 2000 рублей на 1 м³ бурового шлама. Ежегодный суммарный эколого-экономический ущерб (вред) почве, как объекту окружающей среде, от размещения бурового шлама в шламовых амбарах составляет для условий Западной Сибири 2500,465 млн. руб. При этом происходит деградация почв на площади 3,581 млн. м² (358,1 га).

4. Результаты исследований буровых шламов позволили оценить и научно обосновать возможность использования их в качестве компонента для изготовления грунтовых смесей.

5. Показано, что при смешении шлама с песком фактором, определяющим соотношение компонентов, является содержание глинистых частиц в буровом шламе. Максимальная доля глинистых частиц в грунтовой смеси, допускающая ее применение, составляет 15 масс. %.

6. Установлено, что получение грунтовой смеси на основе буровых шламов, которая соответствует требованию по содержанию глинистых частиц, как одного из факторов получения конструктивно устойчивой продукции,

обеспечивается добавлением инертного материала (песка) в соотношении шлам-песок в пределах 1:0,7 – 1:3,5.

7. Установлено, что добавление 100-250 мл концентрата стабилизатора грунтов Polybond в 1 т бурового шлама приводит к улучшению деформационных характеристик.

8. Установлено, что содержание сухого остатка в водной вытяжке продукции на основе буровых шламов, при котором обеспечивается экологическая устойчивость по отношению к тест-объекту водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bred, составляет 27,8 г/кг.

9. Показано, что при введении в буровой шлам кислотного стабилизатора грунтов Polybond, обеспечиваются оптимальные значения pH водной вытяжки. Высокие буферные свойства буровых шламов позволяют получить экологически безопасную продукцию со стабильным значением pH.

10. С использованием критериальных показателей оценки техногенного загрязнения почвенного покрова проведена оценка и корректировка экологических требований, предъявляемых к грунтовым смесям. Установлено, что загрязненность почвенного покрова при использовании грунтовой смеси не выходит за пределы зоны экологического риска.

11. Показано, что для обеспечения экологической устойчивости продукции на основе бурового шлама допустимое содержание отдельных компонентов в смеси не должно превышать следующих значений: по растворимым солям (по сухому остатку) – 20 г/кг; по нефтепродуктам – 5 г/кг; по тяжелым металлам – ПДК (ОДК) в почве; по pH – 6,0-8,8.

12. Разработаны и научно обоснованы требования, обеспечивающие получение геоэкологически устойчивых грунтовых смесей на основе буровых шламов.

13. Определены ограничения к составу бурового шлама, который может быть использован для получения геоэкологически устойчивой продукции.

14. По результатам проведенных исследований установлен оптимальный состав грунтовой смеси на основе буровых шламов, обеспечивающий получение

геоэкологически устойчивой продукции. Соотношения исходных компонентов – буровой шлам : песок : стабилизатор грунтов Polybond (раствора стабилизатора) = 1 : 0,7-3,5 : 0,0002-0,0004 (0,02-0,04) (в объёмных долях).

15. Предложенные требования и оптимальный состав продукции по результатам проведенной оценки геоэкологической устойчивости грунтовых смесей на основе бурового шлама, показали свою эффективность.

16. Разработана экологически безопасная технология производства грунтовой смеси на основе буровых шламов, принятая как техническое решение на проектирование технологической линии утилизации бурового шлама производительностью 40 тыс. тонн в год дорожно-строительного материала.

17. Техническая документация (технические условия, технологический регламент и оценка воздействия на окружающую среду) подготовленная с использованием полученных в диссертации результатов, получила положительное заключение государственной экологической экспертизы.

18. Разработано математическое описание и выполнены технологические расчеты процесса получения грунтовой смеси. Произведены расчеты основных характеристик процесса и технико-экономического обоснования строительства установки производства грунтовой смеси из бурового шлама мощностью 40000 т/год с капитальными вложениями в размере 39762,345 тыс. рублей и прибылью 7600,0 тыс. рублей.

19. Оценена эколого-экономическая эффективность разработанной технологии, которая составляет 1,5 рубля на 1 рубль капитальных вложений. Рассчитан предотвращенный ущерб почве как объекту окружающей среды при изготовлении грунтовых смесей из буровых шламов, который составляет 14,814 млн. руб. в год. При этом возвращаются в хозяйственный оборот земли на площади 21219 м².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 10.05.2016 № 868-р (ред. от 23.11.2016). – Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».
2. Косаревич, И.В. Экология бурения/ И.В. Косаревич, В.Ю. Шеметов, А.П. Гончаренко; под ред. В.И. Рябченко. – Мн.: Наука и техника, 1994. – 119 с.
3. Балаба, В.И. Обеспечение экологической безопасности строительства скважин на море/ В.И. Балаба // Бурение и нефть. – 2004. – № 1. – С. 18-21.
4. Булатов, А.И. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности/ А.И. Булатов, П.П. Макаренко, В.Ю. Шеметов. – М.: Недра, 1997. – 483 с.: ил.
5. Буровой раствор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Буровой_раствор (дата обращения 20.05.2013).
6. Химические реагенты для буровых растворов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.drillings.ru/himreg> (дата обращения 08.08.2013).
7. Доклады об экологической ситуации в Ханты-мансийском автономном округе – Югре за 2010-2017 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/> (дата обращения 13.02.2019).
8. Годовой отчет ПАО «Сургутнефтегаз» за 2017 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.surgutneftegas.ru/investors/reporting/> (дата обращения 10.04.2019).
9. Барахнина, В.Б. Основы технологии очистки отходов нефтегазового комплекса и оценка ущерба окружающей среде: учеб. пособие / В.Б. Барахнина, И.Р. Киреев, В.В. Свиначев. – Уфа: РИО РУНМЦ МО РБ, 2009. – 242 с.
10. 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.

11. Шламовый амбар (шламохранилище) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geoplenka.ru/articles/oil-industry/shlamohranilischa/> (дата обращения 14.05.2019).
12. Некрасова, И.Л. Эколого-геохимическая характеристика отходов строительства нефтяных скважин (на примере Пермского Прикамья): дис.... канд. техн. наук: 25.00.36 / Некрасова Ирина Леонидовна. – Пермь, 2003. – 186 с.
13. Пичугин, Е.А. Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду / Е.А. Пичугин // Молодой ученый. – 2013. – № 9(56). – С. 122-123.
14. 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.
15. Гайрабеков, У.Т. Экологическая оценка буровых работ на территории Чеченской и Ингушской республик: дис.... канд. биол. наук: 11.00.11 / Гайрабеков Умар Ташалиевич. – Махачкала, 1998. – 185 с.
16. Тетельмин, В.В. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе / В.В. Тетельмин, В.А. Язев. – Долгопрудный. Издательский дом «Интеллект», 2009. – 352 с.: ил.
17. Ежов, М.Ю. Влияние отходов бурения на свойства почв и урожай люцерны/ М.Ю. Ежов, В.И. Терпелец, В.Ю. Шеметов и др. – М.: ВНИИКРнефть., 1988. – 9 с.
18. Ежов, М.Ю. Влияние отработанных буровых растворов на загрязнение почв/ М.Ю. Ежов, В.И. Терпелец, В.Ю. Шеметов и др. – М.: ВНИИКРнефть., 1986. – 10 с.
19. Мартыненко, Е.Г. Геоинженерная защита территорий с использованием материалов на основе отходов бурения: дис.... канд. техн. наук: 25.00.36 / Мартыненко Елена Геннадьевна. – Самара, 2017. – 135 с.
20. 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.

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

22. 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.

23. 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: автореф. дис.... канд. геол.-минер. наук: 25.00.36 / Светличная Татьяна Вячеславовна. – М., 2004. – 25 с.

24. Макаренко, И.Ю. Экологическая оценка воздействия нефтегазодобывающей деятельности на водные объекты среднего Приобья: автореф. дис.... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Макаренко Ирина Юрьевна. – Ростов-на-Дону, 2007. – 26 с.

25. Малышкин, М.М. Геоэкологическое обоснование размещения буровых шламов в насыпи площадок скважин: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36 / Малышкин Михаил Михайлович. – СПб., 2010. – 181 с.

26. Nguyen, TT. Perturbation of seafloor bacterial community structure by drilling waste discharge /Nguyen TT., Cochrane SKJ., Landfald B. // Marine pollution bulletin. – 2018. – № 2(129). – pp. 615-622.

27. 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.

28. Kujawska, J. Earthworms as bio-indicators of chemical pollution in soils with drilling waste /Kujawska J., Pawlowska M. // 9th conference on interdisciplinary

problems in environmental protection and engineering (eko-dok 2017), Boguszow Gorze, Poland, apr. 23-25, 2017.

29. Saint-Fort, R. Effect of a water-based drilling waste on receiving soil properties and plants growth /Saint-Fort R., Ashtani S. // Journal of environmental science and health part a-toxic/hazardous substances & environmental engineering. – 2014. – № 1 (49). – pp. 10-17.

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

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

32. 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.

33. Установка термической утилизации буровых шламов КЭБ ТДУ-500 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://otrabotka.com/goods/detail.php?id=2098> (дата обращения 09.10.2014).

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

35. Ягафарова, Г.Г. Утилизация опасных отходов бурения/ Г.Г. Ягафарова, В.Б. Барахнина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vitusltd.ru/shlam_ufa.html (дата обращения 14.05.2014).

36. Механизированная линия термической переработки бурового шлама и нефтезагрязненных грунтов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mz-orisk.ru/products/sobstvennye-razrabotki/mekhanizirovannaya-liniya-termicheskoy-pererabotki/> (дата обращения 16.05.2014).

37. Оборудование для утилизации экологически опасных буровых отходов // Сфера Нефтегаз. – 2010. – № 2. – С. 114.

38. Технологический комплекс термической утилизации отходов бурения (буровых шламов) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.strommash.ru/catalog/tekhnologicheskii-kompleks-termicheskoi-utilizatsii-otkhodov-bureniya-burovykh-shlamov> (дата обращения 16.05.2014).

39. Пат. 2330731 Российская Федерация, МПК, В07В9/00, Е21В21/06. Установка для сухой обработки бурового шлама /Рядинский В.Ю.; патентообладатель Рядинский В.Ю. – № 2006120255/03; заявл. 08.06.2006; опубл. 10.08.2008, Бюл. № 22. – 8 с.

40. Пат. 2389564 Российская Федерация, МПК В09В3/00, С04В33/132, С04В33/32. Способ обезвреживания бурового шлама с получением из него строительного материала /Горин В.М., Кабанова М.К., Казмалы И.К., Карташов А.А., Токарева С.А., Уксюзов В.Л.; патентообладатель Закрытое акционерное общество «НИИКерамзит». – № 2009122101/03; заявл. 10.06.2009; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14. – 8 с.

41. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс]: федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 25.12.2018). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

42. Пат. 2422218 Российская Федерация, МПК, В09В 5/00, В65D 5/00. Способ подземного захоронения буровых отходов в многолетнемерзлых породах /Гафаров Н.А., Рябоконт А.А., Савич О.И. и др.; патентообладатель ООО «Подземгазпром». – № 2009148160/21; заявл. 25.12.2009; опубл. 27.06.2011, Бюл. № 18 – 7 с.

43. Буровые отходы. Исследование буровых растворов, используемых на морских месторождениях нефти, и технологий их удаления, снижающих воздействие на морскую среду сбросов в море [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ecosakh.ru/wp-content/uploads/2000/05/106_Doklad_Dzhonatana_Uillsa.pdf (дата обращения 21.05.2014).

44. Томас Гихэн, Алан Гилмор, Гуань Го. На острие проблемы утилизации буровых отходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/36329591-Na-ostrie-problemy-utilizacii-burovyh-othodov.html> (дата обращения 23.01.2019).

45. Комплекс технических средств отверждения бурового шлама (модульная установка переработки буровых шламов) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tmc.su/produkcija/kompleks-tehnicheskikh-sredstv-otverzhdeniya-burovogo-shlama-modulnaya-ustanovka> (дата обращения 20.05.2014).

46. Пат. 2199569 Российская Федерация, МПК, С09К7/00, В09С1/08. Смесь для обезвреживания и литификации буровых шламов и нефтезагрязненных грунтов / Кнатько В.М., Кнатько М.В., Гончаров А.В.; патентообладатель Кнатько В.М., Кнатько М.В., Гончаров А.В. – № 2001132552/03; заявл. 23.11.2001; опубл. 27.02.2003. – 9 с.

47. Пат. 2198142 Российская Федерация, МПК, С02F11/00, С02F11/12, С02F11/14. Смесь обезвреживания бурового шлама, содержащегося в отработанном буровом растворе /Кнатько В.М., Кнатько М.В., Гончаров А.В.; патентообладатель Кнатько В.М., Кнатько М.В., Гончаров А.В. – № 2001136050/12; заявл. 28.12.2001; опубл. 10.02.2003.

48. Liu, DS. An effective treatment method for shale gas drilling cuttings solidified body / Liu DS., Wang, CQ., Mei, XD., Qian-Huang, Ding SM. // Environmental science and pollution research. – 2019. – № 17. – pp. 17853-17857.

49. Leonard, SA. Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings / Leonard SA., Stegemann JA. // Journal of hazardous materials. – 2010. – № 1-3 (174). – pp. 463-472.

50. Leonard, SA. Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings: Leaching studies / Leonard SA., Stegemann JA. // Journal of hazardous materials. – 2010. – № 1-3 (174). – pp. 484-491.

51. Технологический регламент. Обезвреживание отходов бурения с получением строительного материала. ООО «Сервисный Центр СБМ». – М.: 2012.– 136 с.

52. Техническая документация. Технология обезвреживания отходов бурения методом реагентного капсулирования. Оценка воздействия на окружающую среду. – М.: 2014. – 314 с.

53. Piszcz-Karas, K. Utilization of shale cuttings in production of lightweight aggregates /Piszcz-Karas K., Klein M., Hupka J., Luczak J. // Journal of environmental management. – 2019. – Т. 231. – pp. 232-240.

54. Ayati, B. Manufacture and performance of lightweight aggregate from waste drill cuttings /Ayati B., Molineux C., Newport D., Cheeseman C. // Journal of cleaner production. – 2019. – Т. 208. – pp. 252-260.

55. Wang, CQ. Performance of non-fired bricks containing oil-based drilling cuttings pyrolysis residues of shale gas / Wang CQ., Lin XY., Mei XD., Luo XG. // Journal of cleaner production. – 2019. – Т. 206. – pp. 282-296.

56. Гасымлы, Л. Э. Биоремедиация бурового шлама в процессе химической фиксации/ Л.Э. Гасымлы, и др. // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2005. – № 4. – С. 86–90.

57. Материалы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) новой технологии «Использование бурового шлама для производства грунта техногенного», АНО «Экотерра». – Тюмень, 2013.– 103 с.

58. Пат. 2492943 Российская Федерация, МПК, В09В3/00; В09С1/00. Способ восстановления земель с использованием буровых шламов, образованных в результате нефтегазодобычи /Габасов Т. Х.; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Аристей». – № 2012123636/13; заявл. 08.06.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26 – 5 с.

59. Пат. 2379137 Российская Федерация, МПК, В09С1/10. Способ обезвреживания отработанных буровых шламов /Бурлака В.А., Бурлака И.В., Бурлака Н.В.; патентообладатель Бурлака В.А., Бурлака И.В., Бурлака Н.В. – № 2008125905/12; заявл. 25.06.2008; опубл. 20.01.2010, Бюл. № 2 – 5 с.

60. Пат. 2347629 Российская Федерация, МПК В09В3/00, Е21С41/32. Способ утилизации бурового шлама /Рядинский В.Ю., Антропов А.А.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет». – № 2007127968/03; заявл. 20.07.2007; опубл. 27.02.2009, Бюл. № 6 – 4 с.

61. Пат. 2491135 Российская Федерация, МПК, В09В1/00. Смесь почвенная шламово-грунтовая (варианты) для рекультивации нарушенных земель и способ рекультивации карьеров и нарушенных земель /Кольцов И. Н., Митрофанов Н. Г., Петухова В. С., Скипин Л. Н.; патентообладатель Салым Петролеум Девелопмент Н.В. – № 2011152564/13; заявл. 23.12.2011; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24 – 11 с.

62. Петухова, В.С. Формирование оптимальных условий для культур-фитомелиорантов на буровых шламах: дис.... канд. биол. наук: 03.02.08 / Петухова Вера Сергеевна. – Тюмень, 2015. – 124 с.

63. Максимов, М.Д. Комплексная переработка нефтеотходов в контексте антикризисной политики/ М.Д. Максимов, С.В. Максимова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2010. – № 4. – С. 37–41.

64. Пат. 2450865 Российская Федерация, МПК, В03В 9/06, С02F 11/14. Установка мобильная по переработке и обезвреживанию буровых шламов /Курченко А. Б.; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Специализированное профессиональное аварийно-спасательное формирование «ПРИРОДА». – № 2010128637/03; заявл. 09.07.2010; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14 – 11 с.

65. Комплексная система обращения с буровыми шламами с использованием геоконтейнерной обработки / Н.А. Сафонова и др. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 4. – С. 274–285 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ogbus.ru/authors/Safonova/Safonova_1.pdf (дата обращения 20.05.2014).

66. Пат. 93304 Российская Федерация, МПК, В03В9/06, С04В18/04. Комплекс для переработки и обезвреживания буровых нефтесодержащих шламов

/Шарафутдинов Р.Г., Василенко И.А., Захаров Е.С.; патентообладатель Закрытое акционерное общество «Полигон-ЛТД». – № 2009146685/22; заявл. 15.12.2009; опубл. 27.04.2010, Бюл. № 12 – 2 с.

67. Пат. 2179621 Российская Федерация, МПК7, E21B21/06. Установка для обработки бурового раствора и бурового шлама /Енсен О.Д., Кальвенес Э.; заявитель и патентообладатель МЕРКУР САБСИ ПРОДАКТС АСА. – № 99118583/03; заявл. 27.11.1998; опубл. 20.02.2002. – 6 с.

68. Пат. 2145580 Российская Федерация, МПК, C02F11/14, B01F7/08. Установка для обезвреживания и утилизации бурового шлама /Басарыгин Ю.М., Будников В.Ф., Гераськин В.Г., Мандель А.Я., Шабров С.Н.; патентообладатель Предприятие «Кубаньгазпром». – № 98120761/12; заявл. 10.11.1998; опубл. 20.02.2000.

69. Чеботаев, А.Н. Геоэкологическая оценка утилизации бурового шлама в производстве строительных материалов (на примере Бованенковского месторождения): дис.... канд. техн. наук: 25.00.36 / Чеботаев Александр Николаевич. – М., 2015. – 149 с.

70. Рахматуллин, Д.В. Разработка комплексного метода утилизации буровых шламов: дис.... канд. техн. наук: 25.00.36 / Рахматуллин Дамир Валерьевич. – Уфа, 2011. – 146 с.

71. Савельев, А. А. Оценка и обеспечение геоэкологической устойчивости массивов твердых коммунальных отходов для строительно-хозяйственного освоения: автореф. дис.... канд. техн. наук: 25.00.36 / Савельев Алексей Александрович. – М., 2016. – 22 с.

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

73. Пат. 2426708 Российская Федерация, МПК, C04B33/06, B09B3/00. Строительный материал /Уткина Н.Н., Ахмедсафин С.К., Арабский А.К., Андреев О.П., Петров Г.Ф., Чеснов И.П.; патентообладатель ООО «Научно-производственное предприятие «Союзгазтехнология», ООО «Газпромдобыча

Ямбург». – № 2010127162/03; заявл. 05.07.2010; опубл. 20.08.2011, Бюл. № 23. – 14 с.

74. Пат. 2323293 Российская Федерация, МПК, E01C3/04. Способ утилизации буровых шламов /Рядинский В.Ю.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный университет». – № 2006135005/03; заявл. 03.10.2006; опубл. 27.04.2008, Бюл. № 12. – 6 с.

75. Пат. 2298567 Российская Федерация, МПК, C08O11/00, C04B18/04, B09B3/00. Способ переработки бурового шлама /Сивков В.П., Рядинский В.Ю.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет». – № 2005124786/04; заявл. 03.08.2005; опубл. 10.05.2007, Бюл. № 13 – 4 с.

76. Пат. 2303011 Российская Федерация. МПК, C04B28/04, C04B16/08; C04B18/04; E01C3/04. Строительный материал «Буролит» /Пыталев С. В.; патентообладатель Пыталев С. В. – № 2006135850/03; заявл. 11.10.2006; опубл. 20.07.2007, Бюл. № 20. – 7 с.

77. Технологическая карта утилизации бурового шлама Озерного месторождения нефти в Красновишерском районе Пермской области. Пермь: Пермавтодор, 2001.

78. Федулов, А.А. Применение поверхностно-активных веществ (стабилизаторов) для улучшения свойств связных грунтов в условиях дорожного строительства: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.11 / Федулов Андрей Александрович. – М., 2005. – 24 с.

79. Дмитриева, Т.В. Стабилизированные глинистые грунты КМА для дорожного строительства: автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.23.05 / Дмитриева Татьяна Владимировна. – Белгород, 2011. – 24 с.

80. Новый политехнический словарь / Гл. ред. А.Ю. Ишлинский. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2000. – 671 с.: ил.

81. ПНДФ 12.4.2.1-99. Отходы минерального происхождения. Рекомендации по отбору и подготовке проб. Общие положения. – М., 1999. – 18 с.
82. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия (с поправкой). – М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.
83. ГОСТ 3344-83. Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия (с Изменением № 1). – М.: Стандартинформ, 2007. – 11 с.
84. ОДМ 218.3.076-2016. Методические рекомендации по подбору стабилизаторов грунтов и грунтовых смесей для дорожного строительства. – М.: Росавтодор, 2017. – 37 с.
85. STO 69646750-001-2011. «Soil and asphalt-granules – concrete mixtures reinforced with soil stabilizer polybond for use during automobile road, railroad, and airfield construction. specifications» Limited Liability Company «SuperRoadsRus», Moscow, 2011 [Электронный ресурс]. – <http://www.superroads.ch/sert.html> (дата обращения 19.03.2019).
86. ГОСТ 31870-2012 Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии (с Поправками). – М.: Стандартинформ, 2013. – 25 с.
87. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. – М., 1998. – 31 с.
88. 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.
89. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. – М.: Стандартинформ, 2011. – 6 с.

90. ГОСТ 26424-85. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке: Сб. ГОСТов. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 4 с.

91. ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке: Сб. ГОСТов. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 9 с.

92. ГОСТ 26426-85. Почвы. Методы определения иона сульфата в водной вытяжке: Сб. ГОСТов. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 7 с.

93. ГОСТ 26427-85. Почвы. Метод определения натрия и калия в водной вытяжке: Сб. ГОСТов. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 4 с.

94. Ковба, Л.А. Рентгенофазовый анализ/ Л.А. Ковба, В.К. Трунов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 183 с.

95. Об утверждении Критериев отнесения отходов к I-V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду [Электронный ресурс]: приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536 – Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс.

96. Методическое пособие по применению «Критериев отнесения опасных отходов к классам опасности для окружающей природной среды». – М.: ФГУ «ЦЭКА», 2003. – 38 с.

97. ФР.1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. – М.: Акварос, 2007. – 51 с.

98. ФР.1.39.2007.03223. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. – М.: Акварос, 2007. – 47 с.

99. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартинформ, 2015. – 22 с.

100. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2016. – 23 с.

101. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартинформ, 2012. – 82 с.

102. Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных/ А.А. Халафян. –3-е изд. Учебник – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.: ил.

103. Вуколов, Э.А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованиям операций с использованием пакетов Statistica и Excel/ Э.А. Вуколов. – Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ, 2008. – 464 с.

104. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика/ Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 573 с.

105. 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.

106. Об утверждении регионального норматива «Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ханты-мансийского автономного округа – Югры» [Электронный ресурс]: постановление Правительства ХМАО-Югры от 10.12.2004 № 466-п. – Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

107. Дикунец, В.А. Рекультивация – стимул к самоочищению (нефтедобыча)/ В.А. Дикунец, О.П. Федоров, Л. Жегалина // Технадзор. – 2010. – № 10 (47).

108. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999.

109. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.

110. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 10 с.

111. 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.

112. 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.

113. Иогансен, К.В. Спутник буровика: Справочник/ К.В. Иогансен. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990 – 303 с.: ил.

114. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2013. – 42 с.

115. Белоусова, Е. Н. Агрочвоведение электронный учебно-методический комплекс/ Е.Н. Белоусова, А.А. Белоусов. – Красноярск: ФГОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет, 2016. – 325 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kgau.ru/distance/2013/a2/010/02_02.html (дата обращения 17.04.2019).

116. Ковриго, В.П. Почвоведение с основами геологии/ В.П. Ковриго, И.С. Кауричев, Л.М. Бурлакова. – М.: Колос, 2000. – 416 с.

117. Булатов, А.И. Промывочные жидкости и тампонажные растворы (Физико-химия и основы применения)/ А.И. Булатов, Н.Н. Круглицкий, Н.А. Мариампольский, В.И. Рябченко. – Киев.: Техніка, 1974. – 232 с.

118. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и

культурно-бытового водопользования. – М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 154 с.

119. ГН 2.1.5.2307-07. Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 48 с.

120. ГН 2.1.5.2280-07. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 11 с.

121. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [Электронный ресурс]: приказ Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 № 20. – Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс.

122. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений [Электронный ресурс]: постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 22.12.2017 № 165. – Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

123. ГН 2.1.6.2309-07. Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 134 с.

124. Справочник химика. Основные свойства неорганических и органических соединений. т.2/ под ред. Б.П. Никольского. – Л.: Химия, 1963. – 1168 с.

125. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочник. т.2/ под ред. В.П. Глушко. – М.: Наука, 1979. – 440 с.

126. Несмеянов, А.Н. Давление пара химических элементов/ А.Н. Несмеянов. – М.: Издательство Академии Наук СССР. 1961. – 396 с.

127. Грушко, Я.М. Вредные органические соединения в промышленных сточных водах: Справочник/ Я.М. Грушко.– 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982 – 216 с.

128. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп. Справочник/ А.Л. Бандман, Г.А. Гудзовский, Л.С. Дубейковская и др.; под ред. В.А. Филова. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.

129. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V-VIII групп. Справочник/ А.Л. Бандман, Н.В. Волкова и др.; под ред. В.А. Филова. – Л.: Химия, 1989. – 592 с.

130. 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.

131. 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.

132. 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.

133. РД 39-133-94. Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на нефть и газ на суше. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1994.

134. Единые нормы времени на бурение скважин на нефть, газ и другие полезные ископаемые [Электронный ресурс]: постановление Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам и Секретариата ВЦСПС от 07.03.1986 № 81/5-86. – Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

135. Проектирование рецептур буровых растворов по интервалам бурения для Приобского месторождения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://knowledge.allbest.ru/geology/2c0a65635a2ad78a4d43a88421316d27_0.html (дата обращения 23.01.2019).

136. Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды [Электронный ресурс]: приказ МПР РФ от 08.07.2010 № 238. – Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс.

137. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (с Изменением № 1). – М.: Минрегион России, 2013. – 112 с.

138. ВСН 84-89. Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты [Электронный ресурс]: письмо Министерства транспортного строительства от 13.03.1989 № АВ-110. – Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

139. ОДМ 218.2.094-2018. Методические рекомендации по проектированию земляного полотна автомобильных дорог общего пользования из местных талых и мерзлых переувлажненных глинистых и торфяных грунтов в зонах распространения многолетнемерзлых грунтов. – М.: Росавтодор, 2018. – 49 с.

140. 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.

141. Шаров, В.Н. Оператор по химической обработке скважин/ В.Н. Шаров, В.И. Гусев. – Учебник для рабочих. – М.: Недра, 1983. – 141 с.

142. 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.

143. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 3.06.2006 № 73-ФЗ (с изм. от 02.08.2019). – Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс.

144. Соколова, Т.А. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе/ Т.А. Соколова, И.И. Толпешта, С.Я. Трофимов. – изд. 2-е, испр. и доп.– Тула: Гриф и К, 2012. – 124 с.

145. Новиков, В.П. Экологическое проектирование и экспертиза. Уч. пособие. часть 1/ В.П. Новиков, Т.И. Лелеко. – Ханты-Мансийск: ЮГУ, 2008. – 112 с.

146. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду планируемой деятельности: Методические указания к практическим работам Часть 1/ сост. М.В. Бузаева, В.В. Савиных, О.В. Чемаева – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 32 с.

147. 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.

148. Пичугин, Е.А. Оценка экологических последствий использования дорожно-строительных материалов на основе буровых шламов при строительстве дорог / М.В. Зильберман, Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд, М.В. Черепанов // Сборник научных трудов 10-ой международной научно-практической конференции «Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии», Москва. Изд-во ГИИЦВЕТМЕТ, октябрь 2014 г. – С. 39-43.

149. Герасимова, М.И. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Учебное пособие/ М.И. Герасимова, М.Н. Строганова, Н.В. Можарова, Т.В. Прокофьева; под ред. академика РАН Г.В. Добровольского. – Смоленск: Ойкумена, 2003. – 268 с.

150. ГОСТ Р 54316-2011. Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011. – 70 с.

151. Учебно-методический комплект дисциплины: Геоэкология России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.podelise.ru/docs/index-4421.html?page=4> (дата обращения 09.04.2014).

152. Гавич, И.К. Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика/ И.К. Гавич, В.С. Ковалевский, Л.С. Язвин и др. – Новосибирск: Наука, 1983. – 242 с.

153. Решение диффузионных уравнений методом Фурье. Диффузия из слоя конечной толщины в бесконечную среду [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://profbeckman.narod.ru/MDL4.pdf> (дата обращения 09.04.2014).

154. СП 37.13330.2012. Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91*. – М.: Минрегион России, 2012. – 202 с.

155. 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.

156. 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.

157. РД 52.18.156-99. Методические указания. Охрана природы. Почвы. Методы отбора объединенных проб почвы и оценки загрязнения сельскохозяйственного угодья остаточными количествами пестицидов [Электронный ресурс]: утв. Росгидрометом, введен в действие 01.09.1999. – Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

158. Титова, Т.С. Методика комплексной оценки экологичности и качества природозащитных технологий, индекс IEQ/ Т.С. Титова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – № 2. – 2005.

159. Пичугин, Е.А. Комплексная оценка экологичности и качества технологий сооружения земляного полотна автодорог с использованием шламопесчаной смеси – продукта утилизации отходов / Е.А. Пичугин, Б.Е.

Шенфельд, А.А. Кетов // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 2. – С. 86-97.

160. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (с изм. от 27.12.2018). – Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс.

161. Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации [Электронный ресурс]: приказ Госкомэкологии РФ от 16.05.2000 № 372. – Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс.

162. Левченко, П.В. Расчеты печей и сушил силикатной промышленности/ П.В. Левченко. – Уч. пособие для вузов, 2-е изд. – М.: ООО ИД «Альянс», 2007. – 366 с.

163. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии/ К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Уч. пособие для вузов, 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.

164. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии/ А.Г. Касаткин. – 7-е изд. – М.: Государственное научно-техническое издательство Химической литературы, 1961. – 832 с.

165. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др.; под ред. Ю.И. Дытнерского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

166. Протасов, В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природопользование в России/ В.Ф. Протасов, А.В. Молчанов. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 524 с.

167. Об утверждении методики по определению уровня арендной платы за нежилые здания (помещения) [Электронный ресурс]: приказ Минстроя от 14.09.1992 № 209. – Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

168. О единых нормах амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства СССР [Электронный

ресурс]: постановление Совмина СССР от 22.10.1990 № 1072. – Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс.

169. Экономическая теория / под ред. А.И. Добринина, Л.С. Тарасевича. – СПб.: Питер, 2000. – 544 с.

170. Экономика / под ред. А.И. Архипова, А.Н. Нестеренко, А.К. Большакова. – М.: Проспект, 1999. – 792 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Акт внедрения технологии утилизации буровых шламов с получением дорожно-строительного материала

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «ЭкологияНефтьСервис»

В.И.Коренев



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата

технических наук

Пичугина Евгения Александровича

Разработанная Пичугиным Евгением Александровичем технология утилизации буровых шламов нефтегазовых месторождений Западной Сибири с получением экологически безопасных дорожно-строительных смесей принята как техническое решение на проектирование технологической линии утилизации бурового шлама с мощностью 40 тыс. тонн в год дорожно-строительной смеси.

Вид внедрения: технические решения, полученные в ходе выполнения кандидатской диссертации приняты как исходные данные для разработки регламента и технических условий на процесс изготовления Техногрунт-S, получаемый в результате переработки отходов добычи нефти и газа. Получено положительное заключение государственной экологической экспертизы на новую технологию использования отходов от добычи нефти и газа с получением «Техногрунта-S», пригодного в качестве инертного строительного материала.

Эффект от внедрения: полученные данные позволяют проектировать производство дорожно-строительного материала с заданными строительными и экологическими требованиями.

Приложение Б. Акт использования результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ

Директор Департамента государственной
политики и регулирования в сфере
охраны окружающей среды

Минприроды России

Д.М. Беланович

« » 2014 г.

**АКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата

технических наук

Пичугина Евгения Александровича

Диссертация заместителя начальника отдела ФГБУ УралНИИ «Экология» Е.А. Пичугина «Разработка экологически безопасной технологии утилизации буровых шламов Самотлорского и Приобского нефтегазовых месторождений» направлена на решение острейшей экологической проблемы утилизации бурового шлама - одного из производственно-технологических отходов бурения. Размещение бурового шлама в шламовых амбарах приводит к загрязнению окружающей среды нефтепродуктами, химическими реагентами и минеральными солями, отчуждению и выводу из оборота значительных земельных площадей. Только на территории ХМАО-Югры ежегодно образуется около 5 млн. м³ отходов бурения, размещаемых в шламовых амбарах.

Разработанный в диссертационной работе Е.А. Пичугина научно обоснованный подход к проблеме утилизации производственно-технологических отходов бурения (буровой шлам) позволил дать развернутую оценку влияния компонентов бурового шлама на окружающую среду.

К наиболее существенным результатам исследования относятся:

1. Разработка экологически безопасной технологии утилизации буровых шламов с получением на его основе дорожно-строительной смеси для использования при подсыпке нижних слоев дорожного покрытия.

2. Разработка и обоснование системы ограничений по экологическим и строительным требованиям, накладываемой на технологию изготовления дорожно-строительных смесей на основе бурового шлама и обеспечивающей требуемый набор физико-механических характеристик и экологическую безопасность производимой продукции.

3. Оценка экологических рисков загрязнения почвенного покрова при реализации разработанной технологии.

На основании результатов исследования разработана техническая документация на проектирование технологической линии утилизации бурового шлама, получившая положительное заключение государственной экологической экспертизы.

Результаты диссертационной работы Е.А. Пичугина использованы Минприроды России 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.

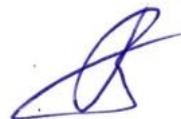
Результаты диссертационной работы использованы Минприроды России при подготовке материалов по пункту 7 части 1 Протокола заседания Правительственной комиссии по вопросам развития топливно-энергетического комплекса, воспроизводства минерально-сырьевой базы и повышения энергетической эффективности экономики 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.

Начальник отдела государственного регулирования в области обращения с отходами, ликвидации прошлого экологического ущерба и охраны почв



О.А. Бурканова

Директор ФГБУ УралНИИ «Экология»



Б.Е. Шенфельд

**Приложение В. Заключение экспертной комиссии государственной
экологической экспертизы**



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ
УПРАВЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО НАДЗОРУ В СФЕРЕ
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ (РОСПРИРОДНАДЗОРА) ПО ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

П Р И К А З

г. ТЮМЕНЬ

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 «Техногрунт-S»,
пригодного в качестве инертного строительного материала и
техногенного почвогрунта»**

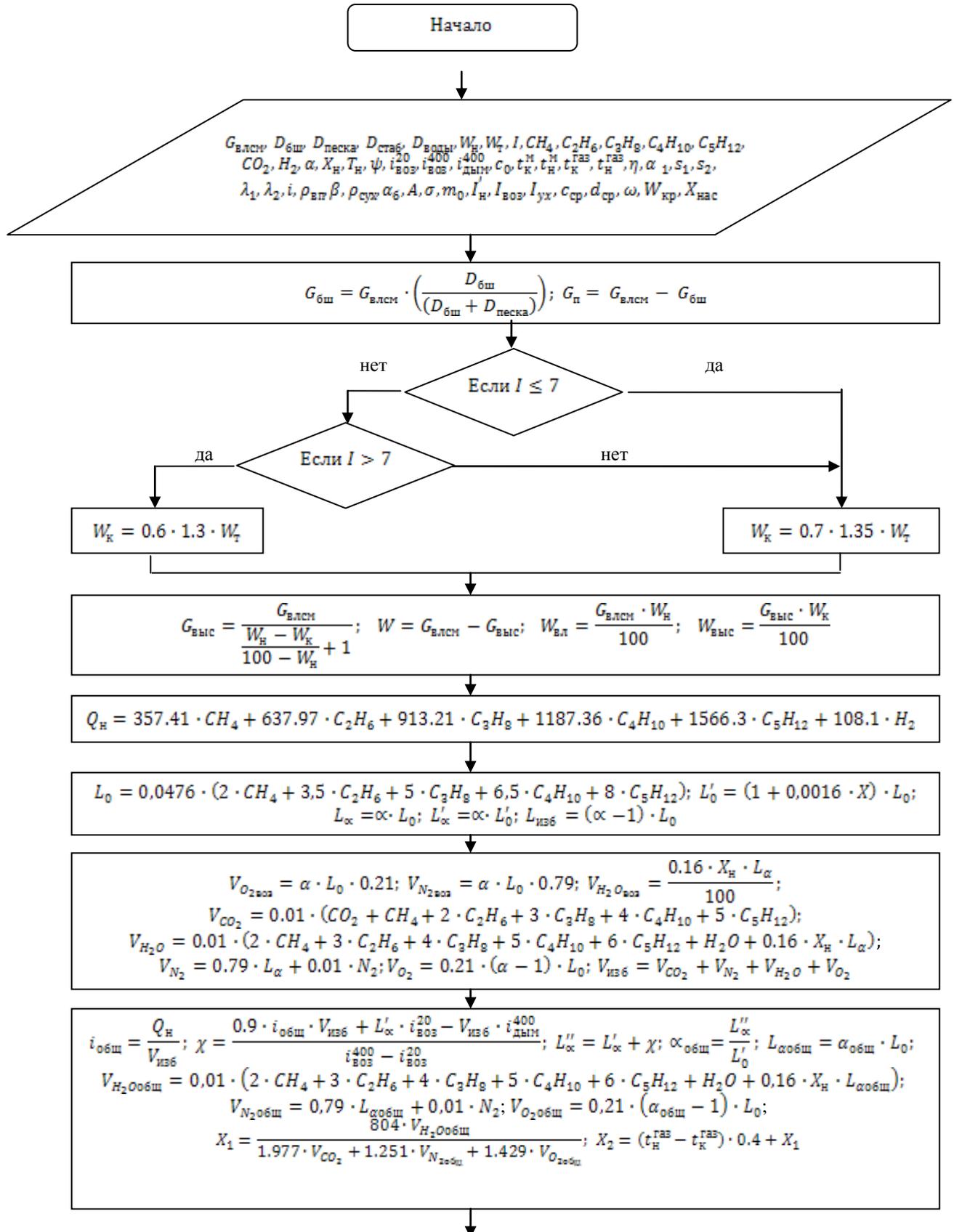
В соответствии с Федеральным законом от 23.11.1995 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе» п р и к а з ы в а ю:

1. Утвердить прилагаемое заключение экспертной комиссии государственной экологической экспертизы от 21.12.2018 г. № 18-ээ по экспертизе проекта технической документации «Новая технология использования отходов от бурения скважин и добычи нефти и газа с получением «Техногрунт-S», пригодного в качестве инертного строительного материала и техногенного почвогрунта», образованной приказом Управления Росприроднадзора по Тюменской области от 26.10.2018 № 600-э.
2. Установить срок действия указанного заключения государственной экологической экспертизы 3 года.

Руководитель

М.И. Мартынчук

**Приложение Г. Алгоритм расчета материального и теплового балансов
получения грунтовых смесей на основе буровых шламов**



$$D = \left(\frac{0.0667 \cdot W}{\pi \cdot i} \right)^{0.33}; L = D \cdot i; V = 0.785 \cdot D^2 \cdot L$$

$$G_{\text{газ}}^{\text{теор}} = \frac{1000 \cdot W}{(X_2 - X_1)}; Q = Q_M + Q_{\text{окр}}; Q_M = G_{\text{выс}} \cdot c_M \cdot (t_K^M - t_H^M); c_M = \frac{c_0 \cdot (100 - W_K)}{100} + \frac{4.2 \cdot W_K}{100};$$

$$Q_{\text{окр}} = \frac{3.6 \cdot (t_{\text{газ}} - t_{\text{возд}}) \cdot F}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + 0.07}; F = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot L; D_{\text{ср}} = D - 2 \cdot (s_1 + s_2); t_{\text{газ}} = \frac{[(t_H^{\text{газ}} - t_H^M) - (t_K^{\text{газ}} - t_K^M)]}{2.3 \cdot \lg \left(\frac{t_H^{\text{газ}} - t_H^M}{t_K^{\text{газ}} - t_K^M} \right)} + t_{\text{ср}}^M;$$

$$t_{\text{ср}}^M = t_H^M + \frac{2 \cdot (t_K^M - t_H^M)}{3}; I_{\text{пот}} = \frac{Q}{G_{\text{газ}}^{\text{теор}}}$$

$$G_{\text{газ}} = \frac{1000 \cdot W}{(X_2 - X_1)}; X_3 = X_2 - 0.35 \cdot I_{\text{пот}}; Q_c = G_{\text{газ}} \cdot (I'_H - I'_{\text{воз}}) - 4.2 \cdot W \cdot t_H^M; Q_T = \frac{Q_c}{\eta};$$

$$B = \frac{Q_T}{Q_H}; G_{\text{отх}} = (1 + 0.001 \cdot X_1) \cdot G_{\text{газ}} + W; G_{\text{пар}} = B \cdot V_{H_2O} \cdot \rho_{\text{вп}}$$

$$Q_{\text{гор}} = B \cdot Q_H; Q_B = \alpha_{\text{общ}} \cdot L'_0 \cdot i_{\text{воз}}^{20} \cdot B; Q_{\text{исп}} = (2493 + 1.97 \cdot t_K^{\text{газ}} - 4.2 \cdot t_H^M) \cdot W;$$

$$Q_{\text{отх}} = (\alpha_{\text{общ}} \cdot L'_0 + \Delta V) \cdot B \cdot I_{\text{ух}}; \Delta V = V_{\text{изб}} - \alpha \cdot L'_0; Q_{\text{пот}} = B \cdot Q_H \cdot (1 - \eta)$$

$$q = \frac{Q_{\text{гор}}}{W}; b = \frac{B}{W}; \eta_T = \frac{Q_{\text{исп}}}{Q_{\text{гор}}}; \rho = \frac{\rho_{\text{сух}} \cdot 100}{100 - W_{\text{ср}}}; \tau_6 = \frac{120 \cdot \beta \cdot \rho \cdot (W_H - W_K)}{m_0 \cdot (200 - (W_H - W_K))};$$

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{22.4 \cdot (273 + \frac{t_H^{\text{газ}} + t_K^{\text{газ}}}{2})}{29 \cdot 273}; F_{\text{исп}} = \frac{4 \cdot V_{\text{сн}}}{d_{\text{ср}} \cdot \rho_{\text{сух}} \cdot 3600};$$

$$W_{\text{ср}} = \frac{W_H + W_K}{2}; n = \frac{A \cdot L}{\tau \cdot D \cdot \tan \alpha_6}; N = 0.0013 \cdot D^3 \cdot L \cdot n \cdot \sigma \cdot \rho; \vartheta_T = \frac{3600 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (1 - \beta)}{4 \cdot V_{\text{сн}}};$$

$$V_{\text{сн}} = \frac{G_{\text{отх}}}{\rho_{\text{сн}}}; \rho_{\text{сн}} = \frac{353 - 0.0013 \cdot P_2}{t_K^{\text{газ}} + 273}; P_1 = \frac{X_1 \cdot 1000/18}{1/29 + X_1/18}; P_2 = \frac{X_3 \cdot 1000/18}{1/29 + X_3/18}; P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2}{2};$$

$$\beta_M = \frac{(\omega \cdot \rho_{\text{ср}})^{0.9} \cdot n^{0.7} \cdot \beta^{0.54} \cdot 100000 \cdot 0.016}{c_{\text{ср}} \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot (100000 - P_{\text{ср}})}; \Delta X_{\text{ср}} = \frac{(X_{\text{нас}} - X_1) - (X_{\text{нас}} - X_3)}{2.3 \cdot \log \left(\frac{X_{\text{нас}} - X_1}{X_{\text{нас}} - X_3} \right)};$$

$$\vartheta_{\text{суш}} = \frac{\beta_M \cdot F_{\text{исп}} \cdot \Delta X_{\text{ср}} \cdot 3600}{G_{\text{выс}}}; \tau_{\text{суш}} = \frac{W_H - W_{\text{кр}}}{\vartheta_{\text{суш}}} + \frac{W_{\text{кр}}}{\vartheta_{\text{суш}}} \cdot 2.3 \cdot \log \frac{W_{\text{кр}}}{W_K}$$

$$G_{\text{стаб}} = G_{\text{бш}} \cdot D_{\text{стаб}}; G_{\text{воды}} = G_{\text{стаб}} \cdot 100; G_{\text{CO}_2} = \frac{G_{\text{стаб}} \cdot 44}{2 \cdot 98}; G_{\text{высстаб}} = G_{\text{выс}} + G_{\text{стаб}} + G_{\text{воды}} - G_{\text{CO}_2}$$

$$G_{\text{исп}} = \frac{G_{\text{высстаб}} \cdot 72}{106}; G_{\text{насл}} = \frac{G_{\text{исп}} \cdot 58}{36}; G_{\text{H}_2O} = \frac{G_{\text{исп}} \cdot 18}{72}; G_{\text{CO}_2} = \frac{G_{\text{исп}} \cdot 44}{72}; G_{\text{взм}} = G_{\text{взм}} - G_{\text{H}_2O} + G_{\text{насл}}$$

$$G_{\text{взм}}, G_{\text{стаб}}, G_{\text{воды}}, G_{\text{высстаб}}, G_{\text{CO}_2},$$

$$G_{\text{п}}, G_{\text{бш}}, W_K, G_{\text{вм}}, W, W_{\text{вл}}, W_{\text{выс}}, Q_H, L_0, L'_0, L_{\text{ок}}, L'_{\text{ок}}, L_{\text{изб}}, V_{O_{2\text{изб}}}, V_{N_{2\text{изб}}}, V_{H_2O_{\text{изб}}},$$

$$V_{CO_2}, V_{H_2O}, V_{N_2}, V_{O_2}, V_{\text{изб}}, i_{\text{общ}}, X, L''_{\text{ок}}, \alpha_{\text{общ}}, L_{\alpha_{\text{общ}}}, V_{H_2O_{\text{общ}}}, V_{N_2_{\text{общ}}}, V_{O_2_{\text{общ}}}, X_1, X_2,$$

$$D, L, V, G_{\text{газ}}^{\text{теор}}, Q, Q_M, c_M, Q_{\text{окр}}, F, D_{\text{ср}}, t_{\text{газ}}, t_{\text{ср}}^M, I_{\text{пот}}, G_{\text{газ}}, X_3, Q_c, Q_T,$$

$$B, G_{\text{отх}}, G_{\text{пар}}, Q_{\text{гор}}, Q_B, Q_{\text{исп}}, Q_{\text{отх}}, \Delta V, Q_{\text{пот}}, q, b, \eta_T, \rho, W_{\text{ср}}, n, N, \vartheta_T, V_{\text{сн}}, \rho_{\text{сн}}, P_1, P_2, P_{\text{ср}}, \rho_{\text{ср}},$$

$$\tau_6, F_{\text{исп}}, \beta_M, \Delta X_{\text{ср}}, \vartheta_{\text{суш}}, \tau_{\text{суш}}$$

Конец

Приложение Д. Расчетные характеристики процесса получения грунтовых смесей на основе буровых шламов

Исходные данные						
$G_{\text{ввслк}}$	5000	CO_2	0,1	m_0	450	50
$D_{\text{бш}}$	1	H_2	1,1	η	0,9	5
$D_{\text{песка}}$	2	α	1,2	α_1	100	497
$D_{\text{стаб}}$	0,000425	$V_{\text{ж}}$	10	F_1	0,016	45
$D_{\text{воды}}$	0,0425	$V_{\text{ж}}$	20	F_2	0,04	136,5
$W_{\text{ж}}$	25	ψ	70	λ_1	58,2	1,3
$W_{\text{г}}$	16	$\psi_{\text{воз}}$	26	λ_2	0,2	0,00025
V	10	$\psi_{\text{воз}}$	603,85	$\rho_{\text{жп}}$	0,804	3
CH_4	87	$\psi_{\text{воз}}$	638,75	β	0,15	20
C_2H_6	6	F_0	0,73	$\rho_{\text{сух}}$	1400	335
C_2H_8	3	$\chi_{\text{ж}}$	70	α_6	3	
C_4H_{10}	2	$\chi_{\text{ж}}$	10	A	0,6	
C_5H_{12}	0,8	$\chi_{\text{ж}}$	100	σ	0,038	

Расчетные данные							
$G_{\text{п}}$	3333,333333	V_{N_2}	10,35162912	D	1,443074518	ΔV	1,0959176
$G_{\text{бш}}$	1666,666667	V_{O_2}	0,45861648	L	7,215372589	$Q_{\text{отх}}$	649512,1819
$W_{\text{ж}}$	12,48	$V_{\text{изб}}$	14,40889885	V	11,79521699	$Q_{\text{пот}}$	309930,2592
$G_{\text{ввслк}}$	4284,734918	$V_{\text{обш}}$	2873,834457	$D_{\text{ср}}$	1,331074518	Q	4333,082473
W	715,2650823	χ	49,16563879	F	30,15718357	ρ	0,10464161
$W_{\text{вл}}$	1250	$L_{\text{ок}}$	62,47862004	$Q_{\text{окр}}$	70757,09375	$\eta_{\text{т}}$	0,611112301
$W_{\text{ввслк}}$	534,7349177	$\chi_{\text{обш}}$	5,631672023	Q	369760,293	$W_{\text{ср}}$	18,74
$Q_{\text{ж}}$	41408,79	$V_{\text{обш}}$	61,49470476	$Q_{\text{пот}}$	72,37378464	ρ	1722,864878
L_0	10,91944	$V_{N_2 \text{ обш}}$	3,171915276	V_2	147,2281762	F_6	41,41933315
L_0'	11,09415104	$V_{N_2 \text{ обш}}$	48,58081676	$G_{\text{газ}}$	6237,640411	η	1,382250849
$L_{\text{ок}}$	13,103328	$V_{O_2 \text{ обш}}$	10,6208056	$Q_{\text{с}}$	2789372,332	N	2,550880229
$L_{\text{ок}}'$	13,31298125	V_{α_1}	32,55900086	$Q_{\text{т}}$	3099302,592	$Q_{\text{см}}$	0,946380697
$L_{\text{изб}}$	2,183888	V_{α_2}	172,5590009	B	74,84649012	$V_{\text{см}}$	7561,435747
$V_{O_2 \text{ ввслк}}$	2,75169888	$G_{\text{газ}}$	5109,036302	$Q_{\text{отх}}$	7155,996833	$\rho_{\text{т}}$	1,511595767
$V_{N_2 \text{ ввслк}}$	10,35162912	$G_{\text{ж}}$	1,163056	$G_{\text{пар}}$	190,8750072	$\rho_{\text{ср}}$	0,644958942
$V_{H_2O \text{ ввслк}}$	0,209653248	$Q_{\text{ж}}$	299003,1993	$Q_{\text{гор}}$	3099302,592	P_1	4984,166529
V_{CO_2}	1,201	$G_{\text{ср}}$	50	$Q_{\text{в}}$	121583,9408	P_2	19172,38671
V_{H_2O}	2,397653248	$G_{\text{газ}}$	202,6673587	$Q_{\text{жсп}}$	1894021,938	$\rho_{\text{ср}}$	12078,27662

Материальный баланс процесса горения					
Приход	м3	%	расход	м3	%
Природный газ			Продукты горения		
CH_4	0,87	6,078398238	CO_2	1,201	8,390984234
C_2H_6	0,06	0,419199878	H_2O	2,397653248	16,75159917
C_2H_8	0,03	0,209599939	N_2	10,35162912	72,32336115
C_4H_{10}	0,02	0,139733293	O_2	0,45861648	3,204199545
C_5H_{12}	0,008	0,055893317	Всего	14,40889885	100,6701441
CO_2	0,001	0,006986665	Невязка	-0,0959176	-0,670144104
H_2	0,011	0,076853311			
Воздух					
O_2	2,75169888	19,22519727			
N_2	10,35162912	72,32336115			
H_2O	0,209653248	1,464776935			
Итого	14,31298125	100	Итого	14,31298125	100

Материальный баланс процесса					
Приход	кг/ч	%	расход	кг/ч	%
$G_{\text{бш}}$	1666,67	14,493	$G_{\text{ввслк}}$	4356,12	37,879
$G_{\text{п}}$	3333,33	28,985	$Q_{\text{отх}}$	7156,00	62,226
$G_{\text{стаб}}$	0,71	0,006	G_{CO_2}	0,16	0,001
$G_{\text{воды}}$	70,83	0,616	Невязка	-12,21	-0,106
$G_{\text{газ}}$	6237,64	54,240			
$G_{\text{пар}}$	190,88	1,660			
Итого	11500,06	100,000	Итого	11500,06	100,000
Тепловой баланс сушильного барабана					
Приход	кДж/ч	%	расход	кДж/ч	%
$Q_{\text{гор}}$	3099302,6	96,225	$Q_{\text{ж}}$	299003,2	9,283
$Q_{\text{в}}$	121583,9	3,775	$Q_{\text{окр}}$	70757,1	2,197
			$Q_{\text{жсп}}$	1894021,9	58,804
			$Q_{\text{отх}}$	649512,2	20,166
			$Q_{\text{пот}}$	309930,3	9,623
			Невязка	-2338,2	-0,073
Итого	3220886,5	100,00	Итого	3220886,5	100,00

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССА

Исходные данные:

$G_{\text{влсм}}$ – расход влажной смеси бурового шлама с песком, кг/ч.

$D_{\text{бш}}$ – доля бурового шлама в грунтовой смеси.

$D_{\text{песка}}$ – доля песка в грунтовой смеси.

$D_{\text{стаб}}$ – доля стабилизатора грунтов Polybond в грунтовой смеси.

$D_{\text{воды}}$ – доля воды в грунтовой смеси для приготовления раствора стабилизатора грунтов Polybond.

$W_{\text{н}}$ – начальная влажность смеси бурового шлама с песком, %.

$W_{\text{т}}$ – влажность на границе текучести, %.

I – число пластичности, д.е.

$\text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_6, \text{C}_3\text{H}_8, \text{C}_4\text{H}_{10}, \text{C}_5\text{H}_{12}, \text{CO}_2, \text{H}_2$ – содержание компонентов природного газа, об. %.

α – теоретический коэффициент расхода воздуха.

$X_{\text{н}}, T_{\text{н}}, \psi$ – характеристики атмосферного воздуха (влажносодержание, г/кг; температура, °С; относительная влажность, %).

$i_{\text{воз}}^{20}, i_{\text{воз}}^{400}, i_{\text{дым}}^{400}$ – энтальпии воздуха и дымовых газов при температурах 20°С и 400°С, кДж/м³.

c_0 – теплоемкость шламо-песчаной смеси, кДж/м³·град.

$t_{\text{к}}^{\text{м}}, t_{\text{н}}^{\text{м}}, t_{\text{к}}^{\text{газ}}, t_{\text{н}}^{\text{газ}}$ – начальные и конечные температуры газа и смеси бурового шлама с песком, °С.

η – теоретическое КПД топки, д.е.

α_1 – коэффициент теплоотдачи от газов к внутренней поверхности барабана, Вт/м²·град.

s_1, s_2 – толщина стенки барабана и тепловой изоляции, м.

λ_1, λ_2 – теплопроводность стали и диатомитовой изоляции соответственно, Вт/м·град.

$\rho_{\text{вп}}$ – плотность водяных паров, кг/м³.

β – коэффициент заполнения барабана, д.е.

$\rho_{\text{сух}}$ – плотность абсолютно сухого материала, кг/м³.

$\alpha_{\text{б}}$ – угол наклона барабана, град.

A – коэффициент для подъемно-лопастной насадки.

σ – коэффициент мощности, зависящий от типа насадки и коэффициента заполнения барабана.

m_0 – объемное напряжение по влаге, кг/м³·ч.

i – отношение длины барабана к диаметру.

$I'_\text{н}$ – энтальпия воздуха подаваемого на сушку, кДж/кг.

$I_{\text{воз}}$ – энтальпия неподогретого воздуха, кДж/кг.

$I_{\text{ух}}$ – энтальпия уходящих из барабана газов, кДж/кг.

$c_{\text{ср}}$ – средняя теплоемкость сушильного агента, кДж/м³·град.

$d_{\text{ср}}$ – средний размер частиц, мм.

ω – рабочая скорость сушильного агента в барабане, м/с.

$W_{\text{кр}}$ – критическое влагосодержание, %.

$X_{\text{нас}}$ – влагосодержание насыщенного воздуха, г/кг.

Расчетные характеристики:

$G_{\text{п}}$ – расход песка, кг/ч.

$G_{\text{бш}}$ – расход бурового шлама, кг/ч.

$W_{\text{к}}$ – конечная влажность смеси бурового шлама и песка, %.

$G_{\text{выс}}$ – количество высушенной смеси бурового шлама и песка, кг/ч.

W – количество испаренной влаги, кг/ч.

$W_{\text{вл}}, W_{\text{выс}}$ – количество влаги, содержащейся во влажной и высушенной смеси бурового шлама и песка, кг/ч.

$Q_{\text{н}}$ – теплота сгорания природного газа, кДж/м³.

L_0 – теоретический расход сухого воздуха, необходимого для горения природного газа, м³/м³.

- L'_0 – теоретический расход атмосферного воздуха с учетом его влажности, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- L_α – действительный расход сухого воздуха с учетом теоретического коэффициента расхода воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- L'_α – действительный расход атмосферного воздуха с учетом теоретического коэффициента расхода воздуха при его влагосодержании, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- $L_{\text{изб}}$ – избыточное количество воздуха, вводимое в барабанную сушилку, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- $V_{O_2\text{воз}}, V_{N_2\text{воз}}, V_{H_2O\text{воз}}$ – объемы расхода компонентов воздуха, при теоретическом коэффициенте расхода воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- $V_{CO_2}, V_{H_2O}, V_{N_2}, V_{O_2}$ – объемы продуктов горения природного газа, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- $V_{\text{изб}}$ – общий объем продуктов горения природного газа, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- $i_{\text{общ}}$ – теплосодержание продуктов горения природного газа без учета подогрева воздуха и топлива, $\text{кДж}/\text{м}^3$.
- χ – расход воздуха для смешения с природным газом, $\text{м}^3/\text{кг}$ топ.
- L''_α – общее количество воздуха, идущее для горения и разбавления дымовых газов, $\text{м}^3/\text{кг}$.
- $\alpha_{\text{общ}}$ – общий коэффициент расхода воздуха.
- $L_{\alpha\text{общ}}$ – действительный расход сухого воздуха с учетом общего коэффициента расхода воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- $V_{H_2O\text{общ}}, V_{N_2\text{общ}}, V_{O_2\text{общ}}$ – объемы расхода компонентов воздуха при общем коэффициенте расхода воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- X_1 – влагосодержание разбавленных дымовых газов, $\text{г}/\text{кг}$.
- X_2, X_3 – влагосодержания газов для теоретического и действительного процесса сушки соответственно, $\text{г}/\text{кг}$.
- $G_{\text{газ}}^{\text{теор}}, G_{\text{газ}}$ – теоретический и действительный расход сухих газов, $\text{кг}/\text{ч}$.
- c_m – теплоемкость смеси бурового шлама и песка при конечной влажности, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{град}$.
- Q_m – расход тепла на нагрев материала, $\text{кДж}/\text{ч}$.
- $t_{\text{ср}}^m$ – средняя температура смеси бурового шлама и песка в барабане, $^\circ\text{C}$.
- $t_{\text{газ}}$ – температура газов внутри барабана, $^\circ\text{C}$.

D, L, V – размеры сушильного барабана (диаметр, м; длина, м; объем, м³).

$D_{\text{ср}}$ – средний диаметр барабана, м.

F – площадь боковой поверхности барабана, м².

$Q_{\text{окр}}$ – потери тепла в окружающую среду, кДж/ч.

Q – суммарные потери тепла при сушке, кДж/ч.

$I_{\text{пот}}$ – уменьшение энтальпии дымовых газов, кДж/кг.

$Q_{\text{с}}$ – расход тепла на сушку, кДж/ч.

$Q_{\text{т}}$ – расход тепла в топке с учетом КПД топки, кДж/ч.

B – расход топлива, кг/ч.

$G_{\text{отх}}$ – количество влажных отходящих газов на выходе из барабана, кг/ч.

$G_{\text{пар}}$ – количество водяных паров в дымовых газах, поступающих на сушку, кг/ч.

$Q_{\text{гор}}$ – тепло от сгорания топлива, кДж/ч.

$Q_{\text{в}}$ – тепло, вносимое воздухом, подаваемым на горение и разбавление дымовых газов, кДж/ч.

$Q_{\text{исп}}$ – тепло на нагревание и испарение влаги, кДж/ч.

$Q_{\text{отх}}$ – тепло с отходящими дымовыми газами, кДж/ч.

ΔV – разность между объемами продуктов горения и объемом воздуха, поступающего на горение, м³/м³.

$Q_{\text{пот}}$ – потери тепла в топке, кДж/ч.

q – удельное количество теплоты на 1 кг испаренной влаги, кДж/кг.

b – удельный расход топлива на 1 кг испаренной влаги, м³/кг.

$\eta_{\text{т}}$ – тепловое КПД сушилки.

$W_{\text{ср}}$ – средняя влажность смеси бурового шлама и песка, %.

ρ – плотность смеси бурового шлама и песка при средней влажности, кг/м³.

$\tau_{\text{б}}$ – время нахождения смеси в барабане, мин.

n – число оборотов барабана, об/мин.

N – мощность барабана, кВт.

$\rho_{\text{см}}$ – плотность отходящих газов, кг/м³.

$V_{\text{см}}$ – действительный объем отходящих газов на выходе из барабана, м³/ч.

$v_{\text{г}}$ – скорость газа на выходе из барабана, м/с.

$\rho_{ср}$ – средняя плотность сушильного агента, кг/м³.

P_1 – парциальное давление водяных паров в газе на входе в сушилку, н/м².

P_2 – парциальное давление водяных паров в газе на выходе из сушилки, н/м².

$P_{ср}$ – среднее парциальное давление водяных паров в сушилке, н/м².

$F_{исп}$ – площадь поверхности испарения, м².

β_m – объемный коэффициент массоотдачи, с⁻¹.

$\Delta X_{ср}$ – средняя движущая сила, кг/кг.

$\vartheta_{суш}$ – скорость сушки, кг/кг·с.

$\tau_{суш}$ – продолжительность сушки, ч.

$G_{стаб}$ – расход стабилизатора грунтов Polybond, кг/ч.

$G_{воды}$ – расход воды для приготовления раствора стабилизатора грунтов Polybond, кг/ч.

$G_{высстаб}$ – количество смеси после стабилизации, кг/ч.

G_{CO_2} – количество диоксида углерода, выделяемого в процессе взаимодействия карбоната кальция, содержащегося в буровых шламах со стабилизатором грунтов, содержащем в своем составе серную кислоту, кг/ч.

Приложение Е. Расчет капитальных затрат на сооружение и эксплуатацию установки утилизации буровых шламов с получением грунтовых смесей

Технико-экономический расчет произведен на мощность производства 40000 тонн/год готовой продукции. Режим работы технологического оборудования непрерывный.

Сметная стоимость капитальных затрат на строительство зданий и сооружений приведена в таблице Е.1.

Таблица Е.1 – Расчет капитальных затрат на строительство зданий и сооружений

Наименование	Количество	Объем помещения, м ³	Стоимость строительства 1 м ³ здания, тыс. руб.	Сметная стоимость, тыс. руб.	Амортизационные отчисления	
					Норма, %	Сумма, тыс. руб.
Склад буровых шламов	1	1800	0,553	994,6	5,0	49,73
Склад песка	1	7200	0,495	3567,9	5,0	178,4
Склад готовой продукции	1	8400	0,464	3901,7	5,0	195,1
Вагон-бытовка	1	18	6,944	125,0	9,8	12,25
Склад ГСМ	1	18	6,944	125,0	9,8	12,25
Итого				8714,2		447,73

Нормы амортизационных отчислений приняты на основании документа [168].

При расчете капитальных затрат на технологическое оборудование принимаем [169-170]:

- затраты на доставку и монтаж технологического оборудования (затраты ДМО) – 25% от стоимости оборудования;
- стоимость неучтенного оборудования (стоимость НО) – 20 % от стоимости учтенного оборудования;
- стоимость трубопроводов – 10 % от суммарной стоимости технологического оборудования;
- стоимость электросилового оборудования (стоимость ЭсО) и контрольно измерительных приборов и автоматики (КИП и А) – 3 % и 6% от стоимости технологического оборудования и трубопроводов соответственно.

Расчет капитальных затрат на приобретение технологического оборудования приведен в таблице Е.2.

Таблица Е.2 – Расчет стоимости оборудования и амортизационных отчислений

Наименование оборудования	Количество	Цена за единицу, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.	Амортизационные отчисления	
				Норма, %	Сумма, тыс. руб.
Бункер со шнековым дозатором	3	170	510	20,0	102
Смеситель в антикоррозионном исполнении	1	250	250	12,5	31,25
Шнековый транспортер	5	100	500	20,0	100
Барабанная сушилка	1	400	400	5,0	20
Циклон	2	60	120	10,0	12
Вентилятор	3	20	60	20,0	12
Емкость объемом 50 м ³	1	300	300	8,3	24,9
Бульдозер	1	3300	3300	12,5	412,5
Самосвал	3	2160	6480	16,7	1082,16
Экскаватор	2	1650	3300	12,5	412,5
Смеситель	1	200	200	12,5	25
Камера дожигания	1	150	150	6,9	10,35
Теплообменник	1	200	200	11,0	22
Компрессор	1	22	22	5,4	1,188
Насос	1	25	25	33,3	8,325
Итого оборудования			15817		2276,173
Затраты ДМО			3954,25	12,7	502,190
Итого стоимость учтенного оборудования			19771,25		2778,363
Стоимость НО			3954,25	12,7	502,1898
Суммарная стоимость технологического оборудования			23725,5		3280,553
Стоимость трубопроводов			2372,55	6,1	144,7256
Стоимость технологического оборудования и трубопроводов			26098,05		3425,278
Стоимость ЭсО			782,9415	4,4	34,44943
Стоимость КИП и А			1565,883	12,7	198,8671
Всего оборудования			28446,87		3658,595

Сводная смета затрат на строительство установки и амортизационные отчисления на основные фонды представлена в таблице Е.3.

Таблица Е.3 – Сводная смета затрат на строительство установки и амортизационные отчисления на основные фонды

Элементы основных фондов	Сумма, тыс. руб.	Амортизационные отчисления
Здания	8714,2	447,73
Оборудование, в т.ч. технологическое	28446,87	3658,595
Итого стоимость основных фондов	37161,07	4106,325
Расходы на проектирование, 7%	2601,2749	287,44275
Всего	39762,345	4393,7678
Удельные капитальные вложения, тыс. руб.	0,994	

Из таблицы Е.3 видно, что на проектирование, приобретение, строительство установки переработки буровых шламов потребуется 39,762 млн. рублей. Основные затраты связаны с приобретением и монтажом технологического оборудования – 71,5 %. При выпуске готовой продукции в количестве 40000 т/год удельные капитальные вложения составят 994 руб/т.

Расчет трудовых показателей произведен на 12 часовой рабочий день в две смены – для рабочих, занятых в непрерывном производстве; на 8 часовой рабочий день с двумя общими выходными днями в неделю – для остальных работающих на установке.

В таблице Е.4 приведены данные по календарному, номинальному и эффективному фонду времени работы одного среднесписочного рабочего.

Таблица Е.4 – Показатели рабочего времени одного среднесписочного рабочего в год

Показатели	Дни (на 12 часовой рабочий день)	Дни (на 8 часовой рабочий день)
Календарный фонд времени, $T_{\text{кал}}$	365	365
Выходные дни	135	104
Праздничные дни	-	-
Номинальный фонд времени, $T_{\text{ном}}$	230	261
Планируемые невыходы:		
Отпуск	40	28
По болезни	5	5
Итого	45	33
Эффективный фонд времени, $T_{\text{эф}}$	185	228

Штатная численность рабочих рассчитывается по формуле (Е.1):

$$Ч_{\text{шт}} = \frac{Ч_{\text{яв/сут}} \cdot T_{\text{кал}}}{T_{\text{ном}}}, \quad (\text{Е.1})$$

где $Ч_{\text{яв/сут}}$ – явочная численность в сутки.

Списочная численность рабочих рассчитывается по формуле (Е.2):

$$Ч_{\text{спис}} = \frac{Ч_{\text{яв/сут}} \cdot T_{\text{кал}}}{T_{\text{эф}}} \quad (\text{Е.2})$$

Расчет численности рабочих представлен в таблице Е.5.

Таблица Е.5 – Расчет численности рабочих

Наименование профессии	Число смен	Штатная норма в смену	Численность				
			Явочная		Штатная	Списочная	
			В смену	В сутки		По расчету	Принято
Основные рабочие							
Мастер погрузочно-разгрузочных работ	2	3	3	6	9,54	11,82	12
Аппаратчик установки	2	1	1	2	3,2	3,94	4
Мастер установки	2	1	1	2	3,2	3,94	4
Водитель самосвала	1	3	3	3	4,2	4,8	5
Итого основных рабочих		8	8	13	20,14	24,5	25
Вспомогательные рабочие							
Дежурный слесарь-электрик	2	1	1	2	3,2	3,94	4
Итого вспомогательных рабочих		1	1	2	3,2	3,94	4
Всего производственных рабочих		9	9	15	23,34	28,44	29

Система оплаты труда повременно-премиальная. Размер премии принимается в размере 25 % к тарифной ставке – для основных рабочих, 15 % – для вспомогательных рабочих.

Тарифный фонд заработной платы ($\Phi ЗП_{\text{тар}}$) рассчитывается по формуле (Е.3).

$$\Phi ЗП_{\text{тар}} = ТС \cdot Ч_{\text{спис}} \cdot Т_{\text{ном}}, \quad (\text{Е.3})$$

где ТС – тарифная ставка;

$Ч_{\text{спис}}$ – списочная численность рабочих;

$Т_{\text{ном}}$ – номинальный фонд времени.

Оплата труда за работу в ночное время рассчитывается по формуле (Е.4).

$$Д_{\text{нв}} = \frac{\Phi ЗП_{\text{тар}} \cdot 8 \cdot 20}{24 \cdot 100}, \quad (\text{Е.4})$$

где 8 – число часов в сутки ночной работы;

20 – процент к заработной плате за работу в ночное время.

Оплата труда за работу в праздничные дни рассчитывается по формуле (Е.5).

$$Д_{\text{пр}} = ТС \cdot n_{\text{пр}} \cdot \frac{Ч_{\text{яв}}}{\text{сут}}, \quad (\text{Е.5})$$

где $n_{\text{пр}}$ – число праздничных дней в году.

Поясная надбавка определяется по формуле (Е.6).

$$\text{ПН} = \text{ФОЗП} \cdot (\text{РК} - 1), \quad (\text{E.6})$$

где ФОЗП – фонд основной заработной платы;
 РК – районный коэффициент (для Сибири – 1.5).

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле (E.7).

$$\text{ФДЗП} = \text{ФОЗП}_{\text{пн}} \cdot \frac{\text{T}_{\text{невых}}}{\text{T}_{\text{эф}}}, \quad (\text{E.7})$$

где $\text{ФОЗП}_{\text{пн}}$ – фонд основной заработной платы с поясной надбавкой;
 $\text{T}_{\text{невых}}$ – количество планируемых невыходов;
 $\text{T}_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени.

Расчет годового фонда заработной платы рабочих приведен в таблице E.6.

Расчет годового фонда заработной платы ИТР представлен в таблице E.7.

Таблица E.6 – Расчет годового фонда заработной платы (ФЗП) рабочих

Профессия	Тарифная ставка, руб	ФЗП _{тар} , тыс. руб	Доплаты, тыс. руб			ФОЗП, тыс. руб	ПН, тыс. руб	ФОЗП _{пн} , тыс. руб	ФДЗП, тыс. руб	ГФЗП, тыс. руб
			Премии	В ночное время	В праздн. дни					
Мастер погрузочно-разгрузочных работ	730	2014,80	503,70	134,32	43,80	2696,62	1348,31	4044,93	983,90	5028,83
Аппаратчик установки	835	768,20	192,05	51,21	16,70	1028,16	514,08	1542,25	375,14	1917,39
Мастер установки	1150	1058,00	264,50	70,53	23,00	1416,03	708,02	2124,05	516,66	2640,71
Водитель самосвала	755	985,28	217,06	0,00	22,65	1224,99	612,49	1837,48	265,95	2103,43
Итого		4826,28	1177,31	256,06	106,15	6365,8	3182,9	9548,71	2141,65	11690,36
Дежурный слесарь-электрик	1030	947,60	142,14	63,17	8,24	1161,15	580,58	1741,73	423,66	2165,39
Итого		947,60	142,14	63,17	8,24	1161,15	580,58	1741,73	423,66	2165,39
Всего		5773,88	1319,45	319,23	114,39	7526,95	3763,48	11290,44	2565,31	13855,75

Таблица E.7 – Расчет годового фонда заработной платы ИТР

Категория	Численность	Должностной оклад, тыс. руб	ФЗП _{год} , тыс. руб	ПН (50%), тыс. руб	ГФЗП, тыс. руб
Начальник установки	1	40,0	480,0	240,0	720,0
Всего	1				720,0

Годовой фонд оплаты труда по статьям калькуляции приведен в таблице E.8.

Таблица Е.8 – Годовой фонд оплаты труда по статьям калькуляции

Статья калькуляции	Профессия	Заработная плата, тыс. руб	Отчисления в соцстрах (26 %), тыс. руб	Сумма, тыс. руб	Доля, %
1. Основная и дополнительная заработная плата основных рабочих	Основные рабочие (аппаратчик, мастер установки и т.п.)	11690,36	3039,49	14729,85	80,20
2. Эксплуатация и содержание оборудования и транспортных средств	Дежурный слесарь-электрик	2165,39	563,00	2728,39	14,86
3. Цеховые расходы (содержание административно-управленческого персонала)	Начальник установки	720,0	187,20	907,20	4,94
Итого		14575,75	3789,70	18365,45	100,00

Расчет расходов на эксплуатацию, содержание оборудования и транспортных средств приведен в таблице Е.9.

При расчетах принимаем:

- стоимость вспомогательных материалов и услуг по обслуживанию оборудования – 2 % от стоимости оборудования;
- стоимость вспомогательных материалов, запчастей и услуг по ремонту составляет – 6 % от стоимости оборудования;
- капитальный ремонт оборудования – 10 % от стоимости оборудования;
- затраты на внутренние перемещения грузов – 15 % от расходов по статьям 1-4.

Таблица Е.9 – Расчет расходов на эксплуатацию, содержание оборудования и транспортных средств

Наименование расходов	Сумма, тыс. руб
1. Амортизация оборудования и транспортных средств	3658,595
2. Эксплуатация и содержание оборудования:	
а) Заработная плата дежурного персонала с отчислениями на соцстрах	2728,39
б) Вспомогательные материалы, услуги по обслуживанию оборудования	568,937
3. Текущий ремонт оборудования:	
а) Вспомогательные материалы, услуги по ремонту	1706,81
4. Капитальный ремонт оборудования	2844,687
Итого	11507,419
5. Внутризаводское перемещение грузов	1726,113
Всего	13233,532

Для расчета цеховых расходов составляется отдельная смета затрат (табл. Е.10).

При расчетах принимаем:

- стоимость вспомогательных материалов на хозяйственные нужды составляет 2 % от стоимости зданий;
- текущий ремонт зданий составляет 6 % от стоимости зданий;
- капитальный ремонт зданий составляет 10 % от стоимости зданий;
- прочие нужды составляют 15 % от расходов по статьям 1-5.

Затраты электроэнергии на освещение рассчитываются по формуле (Е.8).

$$E_{\text{осв}} = \frac{H_{\text{э}} \cdot S_{\text{п}} \cdot B_{\text{осв}} \cdot T \cdot Ц_{\text{э}}}{1000}, \quad (\text{Е.8})$$

где $H_{\text{э}}$ – расход электроэнергии на освещение 1 м² пола, Вт (принимаем 8 Вт);

$S_{\text{п}}$ – освещаемая площадь пола, м² (принимаем 3000 м²);

$B_{\text{осв}}$ – количество часов использования в сутки, ч (принимаем 14 часов);

$Ц_{\text{э}}$ – цена электроэнергии, кВт·ч (принимаем 2 рубля за 1 кВт·ч);

T – планируемое количество дней работы установки в год, дней (принимаем 340 дней).

Таблица Е.10 – Смета цеховых расходов

Наименование расходов	Сумма, тыс. руб
1. Содержание административно-управленческого персонала (заработная плата ИТР)	907,2
2. Содержание зданий:	
а) Вспомогательные материалы на хоз.нужды	174,284
б) Электроэнергия на освещение	228,48
3. Текущий ремонт зданий	552,852
4. Капитальный ремонт зданий	871,42
5. Амортизация зданий	
а) Бытовых	12,25
б) Производственных	435,48
Итого	3181,966
Прочие расходы	477,2949
Всего	3659,261

Суммарная проектная калькуляция себестоимости производства готовой продукции представлена в таблице Е.11.

Таблица Е.11 – Проектная калькуляция себестоимости

Наименование статей калькуляции	Ед. изм.	Плановая цена, тыс. руб.	Расходы		
			На 1 т готовой продукции		На весь выпуск
			Расходная норма	Сумма, тыс. руб.	Сумма, тыс. руб.
СЫРЬЕ И ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ					
Буровой шлам	т	-3,0 ²	0,33	-0,99	-39600
Песок природный	т	0,45	0,67	0,3015	12060
Кислотный стабилизатор Polybond	л	2,5	0,0825	0,20625	8250
Привозная техническая вода	м ³	1,1	0,00825	0,009	360,0
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ					
Электроэнергия	кВт·ч	0,002	7,6	0,0152	608,0
Попутный природный газ	м ³	0,0004	0,088	0,000035	1,4
Итого				-0,458015	-18320,6
Основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих	тыс. руб.			0,292	11690,36
Отчисления на соцстрах	тыс. руб.			0,076	3039,49
Цеховые расходы	тыс. руб.			0,091	3659,26
Итого цеховая себестоимость	тыс. руб.			0,00171	68,51
Общезаводские расходы	тыс. руб.			0,0475	1899,851
Итого заводская себестоимость	тыс. руб.			0,0492	1968,361
Внепроизводственные расходы	тыс. руб..			0,000984	39,36722
Итого полная себестоимость	тыс. руб.			0,0502	2007,7282

Проектная производительность установки составляет 40000 т/год. Планируемое количество дней работы установки – 340 дней.

Общезаводские расходы принимаются в размере 10 % от цеховой себестоимости за вычетом материальных затрат.

Внепроизводственные расходы принимаются в размере 2 % от заводской себестоимости.

Расходная норма кислотного стабилизатора грунтов Polybond по выполненным экспериментальным исследованиям и с учетом того, что стабилизатор грунтов вступает в реакцию с карбонатами, содержащимися в

² Средняя цена за вывоз и утилизацию буровых шламов

буровых шламах, составляет 250 мл на 1 т бурового шлама. В производстве используется раствор стабилизатора грунтов с водой (соотношение 1 к 100).

Таким образом, полная себестоимость 1 т полученной грунтовой смеси составляет 50 рублей.

Основные технико-экономические показатели эффективности производства грунтовых смесей на основе буровых шламов представлены в таблице Е.12.

Таблица Е.12 – Основные технико-экономические показатели эффективности производства грунтовых смесей из буровых шламов

Показатель	Ед. изм.	Величина
Капитальные затраты	тыс. руб.	39762,345
Мощность производства	т/год	40000
Цена сырья		
– буровой шлам	руб/т	-3000
– песок	руб/т	450
– стабилизатор грунта	руб/л	2500
– вода	руб/м ³	1100
Расходные нормы		
– буровой шлам	т/т	0,33
– песок	т/т	0,67
– стабилизатор грунта	л/т	0,0825
– вода	м ³ /т	0,00825
Полная себестоимость продукции	руб/т	50
Цена грунтовой смеси	руб/т	300
Прибыль с учетом налога 24 %	тыс. руб.	7600,0

Прибыль рассчитывается по формуле (Е.9)

$$П = В \cdot (Ц - С), \quad (Е.9)$$

где В – выпуск продукции – 40000 т/год;

Ц – цена продукта – 300 руб/т;

С – себестоимость продукта – 50 руб/т.

$$П = 40000 \cdot (300 - 50) = 10000,0 \text{ тыс. руб}$$

С учетом налога на прибыль (24 %), чистая прибыль ($П_{\text{чист}}$) составит 7600,0 тыс. руб.

Срок окупаемости производства определяется по формуле (Е.10).

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{\Pi}, \quad (\text{E.10})$$

где K – капитальные вложения, тыс. руб.

$$T_{\text{окуп}} = \frac{39762,345}{7600,0} = 5,23 \text{ года}$$

Технико-экономические расчеты строительства технологии показали, что капитальные вложения составят 39762,345 тыс. рублей, а прибыль с учетом налога (24 %) – 7600,0 тыс. рублей.