

На правах рукописи



КЛИМОВА АЛЕНА АНДРЕЕВНА

**КОМПЛЕКСНАЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БУРОВОГО ШЛАМА
НЕФТЯНЫХ И НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОМСКОЙ И
ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

Язиков Егор Григорьевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Бортникова Светлана Борисовна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующая лабораторией геоэлектрохимии, ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск;

Московченко Дмитрий Валерьевич, доктор географических наук, главный научный сотрудник, ФГБУН Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень.

Защита состоится «05» июня 2021 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.29 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, корпус 20, аудитория 504.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» и на сайте: dis.tpu.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Барановская Наталья Владимировна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Добыча и извлечение полезных ископаемых приводит к преобразованию литосферы и геохимическому изменению ландшафтов. Потенциальная экологическая опасность от строительства и разработки нефтегазовых скважин подчёркивается в работах ряда авторов (Neff, 2000, 2005; Московченко и др., 2002; Breuer et al., 2004; Абалаков, 2007; Соромотин, 2010; Пашкевич и др., 2013; Пичугин, 2015; Авдеева и др., 2016).

Бурение поисково-разведочных и эксплуатационных скважин сопровождается образованием отхода - бурового шлама, объем которого прямо пропорционально зависит от объема бурения. Буровой шлам представляет собой измельченную выбуренную горную породу с остатками бурового раствора, его эколого-токсикологические характеристики зависят от токсичных загрязняющих веществ (тяжелых металлов, нефтепродуктов, радионуклидов, солей).

В основном, буровой шлам складывается в шламовых амбарах, в специализированных объектах, предназначенных для складирования и изоляции отходов, образующихся при бурении скважин, для предупреждения загрязнения окружающей среды потенциально опасными его компонентами (Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»; письмо Минприроды России от 09.04.2012 г. N 05-12-44/5185 «Об отнесении шламовых амбаров к объектам размещения отходов»). Шламовый амбар, как объект размещения отходов, в обязательном порядке вносится в государственный реестр объектов размещения отходов (№89-ФЗ от 24.06.1998). На территории шламовых амбаров, должен проводиться мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды (ГОСТа Р 56060-2014), а разработанная проектная документация на подобный объект подлежит государственной экологической экспертизе федерального уровня (п. 7.2 ст. 11 Федерального закона от 23.11.95 N 174-ФЗ «Об экологической экспертизе»).

После естественного или принудительного осаждения, буровые сточные воды откачиваются, а буровой шлам захоранивается в амбаре. Такие мероприятия по обращению с буровыми шламами и рекультивации земель, вышедших из-под шламовых амбаров, определены имеющими согласование и утверждение уполномоченными природоохранными органами руководящими документами (РД 39-133-94, РД 51-1-96).

Площадь складирования отходов, образованных в процессе бурения, а также компоненты природной среды, взаимодействующие на данной территорией, наиболее подвержены техногенной нагрузке.

Число пробуренных скважин для добычи углеводородного сырья увеличивается с каждым годом. Их большая часть находится в районах с неблагоприятными природно-климатическими и почвенно-ландшафтными условиями (Некрасова, 2003; Пашкевич и др., 2013). Так, согласно годовому отчету по устойчивому развитию ПАО «НК «Роснефть»

количество образованного бурового шлама в 2018 г. составило 5491 тыс. тонн, что на 19,3 % выше, чем в 2017 г.

В 2017 году на территории Российской Федерации количество нефтяных эксплуатационных скважин составило 8184 единицы, с величиной проходки при бурении 27,6 млн. погонных метров, что соответствует средней глубине скважины 3372 м (Пичугин, 2019). На практике объем двухсекционного шламового амбара составляет около 1700 м³ (Шарф и др., 2014). Около 500 м³ отходов бурения приходится на скважину (Седых, 2001). Таким образом, можно посчитать, что за 2017 год в России образовалось 4 млн. м³ бурового шлама, размещенного в 2400 шламовых амбарах.

Современные способы обращения с отходами бурения, в основном, не учитывают токсичность и состав бурового шлама, вследствие чего шламовые амбары и шламонакопители превратились из средозащитных средств в угрозу загрязнения природной среды.

Оценка негативного воздействия бурового шлама также нашла отражение в трудах российских ученых, таких как Пиковский Ю.И., Патин С.А., Хаустов А.П., Балаба В.И., Васильев А.В., Пашкевич М.А. и т.д. Оценкой влияния бурового шлама на живые организмы и определением классов опасности занимались Малышкин М.М., Крючков В.Н., Прокопенко П.А. и т.д.

Вопрос экологических последствий загрязнения природной среды под воздействием бурового шлама занимает ведущее место в геоэкологии, в той ее части, которая касается методов оценки экологического состояния биоресурсов, водных и геологических экосистем при существующих способах нефтедобычи и способах обращения с отходами бурения.

Объект исследования: буровой шлам нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей.

Предмет исследования: химический и минералогический состав бурового шлама, а также их токсичность.

Цель и задачи работы.

Целью представленной работы является комплексная эколого-геохимическая оценка бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей с целью безопасного захоронения или вторичного использования.

Задачи, решаемые для достижения поставленной цели:

1. Установить особенности минерально-вещественного состава бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей.
2. Выявить геохимические особенности бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей на основе изучения широкого спектра химических элементов и с учетом классов опасности.

3. Выявить формы нахождения токсичных химических элементов в буровом шламе нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей.
4. Провести комплексную сравнительную эколого-геохимическую оценку бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей.
5. Разработать рациональный комплекс исследований для объективной экологической оценки бурового шлама.

Фактический материал и методика исследования. Основу диссертационной работы составил фактический материал, собранный и обработанный автором в период с 2015 по 2019 гг.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта компании BP Exploration Operating Company Limited (2017-2018 гг.), а также при сотрудничестве с персоналом компании ООО «Газпромнефть-Восток».

Всего отобрано 52 пробы бурового шлама со шламовых амбаров 9 нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей. Почва (26 проб) отбиралась в окрестностях шламовых амбаров месторождений Томской (Шингинское, Южно-Шингинское) и Иркутской областей (Ярактинское). Жидкая фаза (5 проб) отбиралась из шламовых амбаров Шингинского и Южно-Шингинского месторождений (Томская область).

Отобранные пробы анализировались методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в Химико-аналитическом центре «Плазма», г. Томск. Буровой шлам, почва и жидкая фаза из шламовых амбаров были проанализированы на содержание нефтепродуктов гравиметрическим методом (5 проб), методом ИК-спектрометрии (26 проб) и флуориметрическим методом (9 проб) в лаборатории Областного комитета охраны окружающей среды и природопользования г. Томска (далее ОГБУ «Облкомприрода»). Также в лаборатории ОГБУ «Облкомприрода» определялся класс опасности буровых шламов с помощью биотестирования на двух тест-объектах (*Daphnia magna*, *Scenedesmus quadricauda*). В проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НИ ТПУ инженером Д. А. Воробьевой проводилось биотестирование проб бурового шлама (4 пробы) на тест-объекте – водоросль *Chlorella vulgaris Beijer*. Автором на базе отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ в период с 2016 по 2019 был поставлен эксперимент по определению токсичности 14 проб бурового шлама на тест-объекте плодовой мушки *Drosophila melanogaster*. Всего за время экспериментов просмотрено более 20000 мушек. Измерение магнитной восприимчивости 13 проб бурового шлама было проведено каппаметром (Kappameter Model KT-5). Методом рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре Bruker D2 PHASER, а также с применением растровой электронной сканирующей микроскопии на микроскопе Hitachi S-3400N с ЭДС приставкой Bruker XFlash 4010 было изучено 23 пробы

бурового шлама в МИНОЦ «Урановая геология» Томского политехнического университета (ТПУ).

Аналитические исследования проводились в аккредитованных лабораториях по аттестованным методикам. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с использованием программ Microsoft Excel и Statistica.

Степень достоверности диссертационного исследования подтверждается достаточным числом проб, изученных с помощью методов высокочувствительного анализа в аккредитованных лабораториях. Достоверность кандидатской диссертации определяется высокой степенью проработки фактического материала, в том числе с использованием современных методов статистического анализа и изучения литературы с релевантной тематикой исследования.

Научная новизна исследования.

1. Установлены особенности минерально-вещественного состава бурового шлама с учетом геологических условий формирования нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей.
2. Впервые выявлены геохимические особенности бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей на основе изучения широкого спектра химических элементов и с учетом классов опасности.
3. Впервые изучены формы нахождения токсичных химических элементов в буровом шламе нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей.
4. Предложен рациональный комплекс исследований для экологической оценки бурового шлама с применением методов каппаметрии и биотестирования на основе разных систематических групп тест-объектов.

Практическая значимость. Примененная комплексная методика экологической оценки бурового шлама может быть использована в производственном мониторинге, а также в работе природоохранных служб предприятий нефтегазовой области в процессе проведения производственного экологического контроля и расширения списка контролируемых веществ.

Комплексный подход в эколого-геохимической оценке бурового шлама позволит проводить инвентаризацию шламовых амбаров и давать рекомендации по дальнейшему способу обращения с данным видом отхода – утилизация, обезвреживание или захоронение отходов, с последующей рекультивацией земель.

Материалы исследования используются при проведении лабораторных и практических занятий по дисциплинам «Обращение с отходами» и «Минералогия техногенных образований» для подготовки студентов, обучающихся по направлению «Экология и природопользование» на отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Апробация работы и публикации. Результаты диссертационной работы представлены на Всероссийских и Международных научных симпозиумах, конференциях и семинарах: Международный научный симпозиум студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (г. Томск, 2015-2019 гг.); Международная экологическая студенческая конференция «Экология России и сопредельных территорий» (г. Новосибирск, 2017 г.), Международная школа-семинар для молодых исследователей «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах» (г. Тюмень, 2018 г.), Всероссийская научная конференция «Геохимия ландшафтов» (г. Москва, 2016 г.). Доклады были представлены на Международной практической конференции «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы» (г. Воронеж - Севастополь, 2017 г.), в Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные вопросы наук о земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств» (г. Гомель, 2018 г.), Научная конференция «Двадцатые Сергеевские чтения» (г. Москва, 2018 г.), Международная научная конференция «Far East Con» (г. Владивосток, 2018 г.).

Основные положения и научные результаты диссертации опубликованы в 22 статьях и тезисах докладов, из них 1 статья в российском издании, рекомендованном ВАК и 2 статьи в индексируемых базах данных Scopus и Web of Science.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы, изложенных на 206 страницах машинописного текста. Включает 76 рисунков, 52 таблицы. Список литературы содержит 225 источника, 27 из которых – зарубежные.

Первая глава посвящена обзору научных работ по вопросу оценки экологической опасности бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений и степени изученности данной проблемы. **Во второй главе** дается природно-климатическая, геологическая и геоэкологическая характеристика размещения объектов исследования. **В третьей главе** описаны методы исследования и виды анализов объектов исследования, указываются используемые способы статистической обработки данных. **В четвертой главе** проводится описание минералого-геохимической характеристики и токсичности бурового шлама нефтяных месторождений Томской области. **Пятая глава** посвящена описанию минералого-геохимической характеристики и токсичности бурового шлама нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области. **В шестой главе** дан сравнительный анализ комплексной эколого-геохимической оценки бурового шлама Томской и Иркутской областей. **В заключении** представлены основные выводы исследования.

Личный вклад автора заключается в отборе проб бурового шлама со шламовых амбаров нефтяных месторождений, пробоподготовке, проведении части лабораторных

исследований проб бурового шлама в лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» (НИ ТПУ), статистической обработке и интерпретации полученных результатов. Написание текста и формулировка основных положений выполнялись автором по плану, согласованному с научным руководителем.

Благодарности. Автор прежде всего выражает искреннюю признательность и благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н., профессору отделения геологии Язикову Егору Григорьевичу за помощь на всех этапах выполнения диссертации, к.г.-м.н., ведущему инженеру ООО «Газпромнефть – Восток» Шайхиеву Ильдару Рафаиловичу за организацию производственной стажировки, помощь в отборе проб и мотивацию. Отдельную благодарность автор выражает к.г.-м.н., доценту Азаровой Светлане Валерьевне за поддержку и консультации при написании работы, д.г.-м.н., профессору Рихванову Л.П., д.б.н., профессору Барановской Н.В., д.г.-м.н., профессору Арбузову С.И. за ценные советы и рекомендации, к.г.-м.н., ассистенту Ильенку С.С., к.г.-м.н., доценту Соктоеву Б.Р. за консультации в выполнении работы, к.г.-м.н., доценту Таловской А.В. за мотивацию и поддержку. Автор признателен за помощь всем сотрудникам и студентам отделения геологии ИШПР ТПУ, в особенности Агеевой Е.В. и Беляновской А.И., а также родным и близким за поддержку во время проведения исследований и написания диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ПОЛОЖЕНИЕ 1. *Минерально-вещественный состав бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей отражает специфический вещественный состав и геологические условия формирования вмещающих и перекрывающих отложений, при этом для Томской области характерны терригенные коллекторы, а для Иркутской – карбонатные с соленосными отложениями.*

Геологический разрез исследуемой территории Томской области представлен осадочным терригенным комплексом. Нефтегазоносность территории связана, главным образом, с отложениями платформенного чехла и, в значительно меньшей степени, с кровельной частью палеозойского фундамента. В основном, отложения представлены верхней юрой, за исключением, Южно-Черемшанского месторождения, где выявлены нижнемеловые отложения. В составе верхнеюрских отложений выделяются баженовская, георгиевская и васюганская свиты.

Сравнительной территорией для исследования бурового шлама со шламовых амбаров нефтяных месторождений послужила Иркутская область. Объектом исследования были шламовые амбары Ярактинского и Марковского месторождений.

Исследуемая территория Иркутской области располагается в пределах Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области, включающая Непско-Ботуобинскую антеклизу, которая содержит нефтегазоносные комплексы разного литологического состава и

коллекторских свойств. Их особенностью является наличие карбонатных коллекторов и солевых отложений.

Таким образом, геологические условия образования исследуемых месторождений отличается типом пород-коллекторов нефти и газа. Нефтяные месторождения Томской области локализуются в терригенных, а нефтегазоконденсатные месторождения Иркутской области – карбонатных коллекторах. Тем самым, геологические условия образования месторождений обуславливают исходный минеральный состав буровых шламов.

По данным рентгенофазового анализа в составе каждой исследуемой пробы бурового шлама встречается породообразующая минеральная ассоциация - это кварц, альбит, мусковит. В пробах бурового шлама Томской области также выявлены - микроклин, анортоклаз, кальцит, иллит, каолинит и т.д. В составе исследуемых проб бурового шлама месторождений Иркутской области были определены общие минералы - это кварц, кальцит, доломит и слюдястые минералы. В пробе с разведочной скважины Ярактинского месторождения выявлены силикаты и алюмосиликаты (альбит, диопсид и цеолит), соли (галит), биотит. Обобщенные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Минеральный состав бурового шлама нефтяных месторождений Томской и Иркутской областей по данным рентгенофазового анализа

Область Месторождение	Томская								Иркутская				
	Первомайское	Катальгинское	Южно-Черемшанское	Лугинецкое	Кулгинское	Шингинское		Южно-Шингинское	Марковское	Ярактинское			
Количество проб	1	1	1	1	1	2	2*	3	3*	1	1*	2	2*
Кварц	22,3	33,3	36,2	56,6	44,4	60,1	31,4	51,5	32,9	28,9	24,4	23	19,1
Мусковит	10,6	26,2	31,5	9,2	26,8	5,7	22,7	13,5	19,4	18,6	23,3	12,4	14,7
Альбит	4,4	21	5,9	12,4	16,9	19,2	14,2	20,4	10,7	18,5	16,1	49,1	42,9
Анортоклаз	-	-	-	17,1	-	9,6	-	9,75	-	-	-	-	-
Клинохлор	3,2	5,8	-	-	-	2,5	14,4	6,1	5,9	10,7	14,8	-	-
Кальцит	-	-	-	-	2,8	3,1	5,7	4,1	5,5	15,4	13,5	12,5	23,8
Иллит	59,5	-	-	-	-	-	29,8	-	34,9	-	-	-	-
Микроклин	-	13,7	26,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Каолинит	-	-	-	4,7	6,5	-	7,1	-	7,9	-	-	-	-
Доломит	-	-	-	-	2,6	-	-	-	1,9	3,5	2,5	13,6	19,9
Ангидрит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	3,7	5,7
Цеолит	-	-	-	-	-	-	0,5	-	0,4	-	-	-	1,9
Биотит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3	3,5
Диопсид	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	-
Галит	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,7	-

Примечание к таблице 1: 2 – валовая проба; 2* – выделенная фракция методом отмучивания

Технологические добавки буровых растворов представлены преимущественно карбонатами, алюмофосфатами, солями и другими веществами, которые не оказывают существенного влияния на состав бурового шлама (табл. 2).

Таблица 2 – Минерально-вещественный состав технологических добавок для буровых растворов по данным рентгенофазового состава

Техническая добавка для бурового раствора	Гидрофосфат натрия $\text{Na}_2(\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7)$	Берлинит AlPO_4	Кальцит CaCO_3	Галит NaCl	Фосфат алюминия $\text{Al}(\text{PO}_4)$	Сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$
Профосфат натрия кислый	100%	-	-	-	-	-
Ингибитор глин	-	100%	-	-	-	-
Карбонат кальция	-	-	100%	-	-	-
Добавка для бурения	-	-	-	87,9%	-	12,1%
Полианионовая целлюлоза	-	-	-	81,3%	18,7%	-
Понижитель фильтрации	дифрактограмма не определена					
Polyrac* R (Polyanionic Cellulose Polymer)	дифрактограмма не определена * натрий карбоксиметилцеллюлоза / полианионная целлюлоза (паспорт безопасности)					
Каустическая сода	дифрактограмма не определена * гидроксид натрия NaOH					

В процессе анализа проб бурового шлама методом сканирующей электронной микроскопии выявлены минеральные и микроминеральные фазы различных элементов, в т.ч. и токсичных (табл. 3).

Таблица 3 – Минеральные формы и микроминеральные фазы в буровом шламе месторождений Томской и Иркутской областей по данным сканирующей электронной микроскопии

Область Месторождение		Томская							Иркутская	
		Первомайское	Катальгинское	Ожно-Черемшанское	Лугинецкое	Кульгинское	Шингинское	Южно-Шингинское	Марковское	Ярактинское
Fe - содержащие фазы	дисульфид железа / пирит	+++	+++	+	++	+++	+++	+++	++	+++
	оксид железа / гематит		++	++	+	+	+++	+++		
	оксид железа (сферула)						+++	+++	++	++
Cu-Fe-S – содержащая фаза	халькопирит									+
Ti - содержащие фазы	оксид титана / рутил				+				+	
Fe - Ti -содержащие фазы	ильменит			+	+	+	+	+	++	++
	псевдорутит			+	+		+		++	++
Fe-Cr содержащие фазы	хромит						+	++	++	
Ba - содержащие фазы	сульфат бария / барит		++	+	+	++	+++	+++	++	++

Продолжение таблицы 3

Sr - содержащие фазы	сульфат стронция / целестин								++	++
Ba -Sr - содержащие фазы	изоморфная смесь барита и целестина / баритоцелестин								++	++
Pb- содержащие фазы	оксиды свинца					++	+++	+++		+++
	оксиды свинца (сферулы)						+++			
Zn - содержащие фазы	оксид цинка							++		
Cu- содержащие фазы	оксид меди							+		
Cu-Zn- содержащая частица	оксид меди и цинка				+					
Ca-P- содержащие фазы	фосфат кальция / апатит		+			+		+		
Ca-S-содержащая фаза	сульфат кальция / ангидрит								+	+
Zr - содержащие фазы	циркон		++	++	+	+				
TR - содержащие фазы	фосфат церия / монацит			++	+					
Y-P- содержащие фазы	фосфат иттрия / ксенотим			+				+		
U - содержащие фазы	коффинит	+								
Sn - содержащие фазы	оксид олова / касситерит									+
Na-Cl- содержащие фазы	галит									+

Примечание: +++ - часто встречаемые, ++ - средне встречаемые, + - редко или единично встречаемые частицы

Для всех проб бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей характерно наличие магнитной фракции (менее 3%), в составе которых содержатся Fe- содержащие фазы, в основном, это оксиды в виде минерала гематит или в форме сферул, часто встречаются Fe-Ti- содержащие фазы, представленные ильменитом, псевдорутилом.

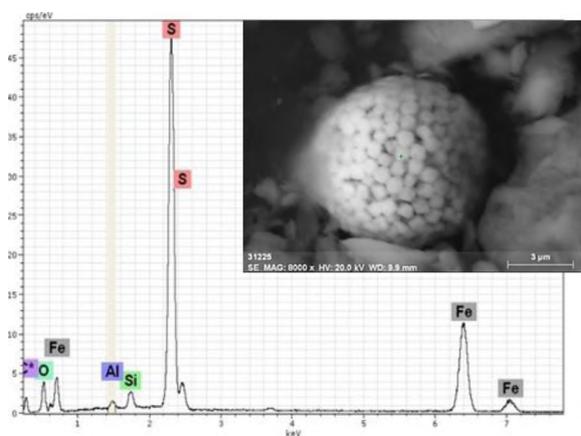
Встречаются различные кристаллические формы пирита (кубический, октаэдрический), а также фрамбоидальный (глобулярный) пирит. В минеральном составе проб выявлено обилие минеральных фаз Ba и S, соответствующих минералу – барит.

Для Томской области характерно наличие Pb- и Zr- содержащих фаз, а также во многих случаях Fe, S, Ba и Ti. Специфической особенностью является присутствие Zr, U и редкоземельных элементов, которые находятся в собственных минеральных формах, а также Ca-P-содержащие фазы в виде апатита. В пробах Первомайского месторождения отмечается присутствие обломочного циркона с хорошо сохранившимися формами кристаллов, а также выявлена U - содержащая частица, представленная силикатом урана (коффинит). В пробе с

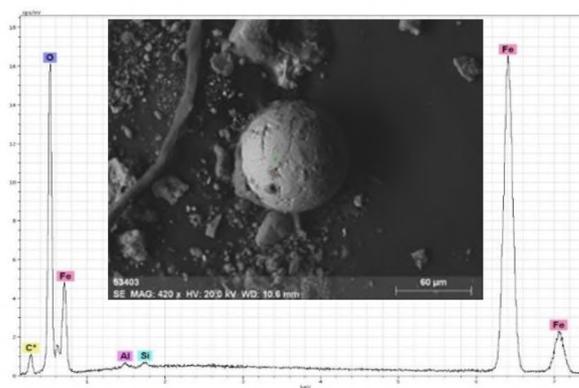
Южно-Черемшанского месторождения обнаружены минералы - концентраты редкоземельных элементов, предположительно минерал монацит (% масс: *Ce* - 21, *P* - 12, *La* - 11, *Nd* - 9, *Th* - 2, *Nd* - 2) и ксенотим (% масс: *Y* - 31, *P* - 15, *O* - 46). Специфичным для проб Томской области является наличие сферул оксида свинца. Спектр оксида свинца в форме сферулы выявлены исключительно в пробах с Шингинского месторождения. В пробах бурового шлама Южно-Шингинского месторождения отмечены Zn- и Cu- содержащие фазы, а также фосфат иттрия.

Для проб бурового шлама месторождений Иркутской области микроминеральный состав представлен Pb, Ba и Sr - содержащими фазами, а также наличием включений, спектр которых соответствует группе сульфидов (пирит, халькопирит), выявлены Ca-S - содержащие фазы в виде минерала ангидрита. Ba - содержащие фазы, в виде минерала барита, найдены в каждой пробе, помимо этого встречаются Sr - содержащие частицы. В пробах найдена изоморфная смесь сульфата бария и стронция, образующая минерал – баритоцелестин.

В буровом шламе с Ярактинского месторождения, выявлен спектр Na-Cl - содержащей фазы в виде минерала галит, Sn- содержащей фазы в виде оксида олова и Cu-Fe-S - содержащая фаза, в виде минерала халькопирит. Для проб Марковского месторождения характерно наличие Ti - содержащие фазы в виде минерала рутил.

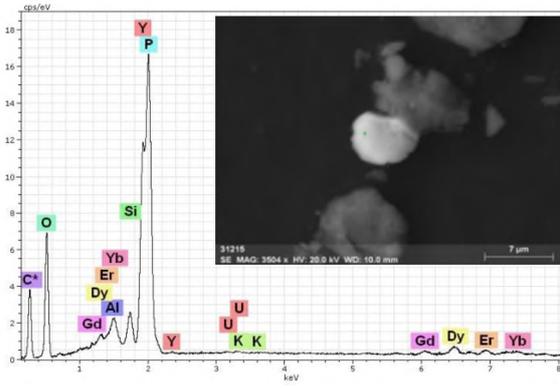


Fe - содержащая частица (пирит)
% масс: Fe – 47, S – 38, O – 12

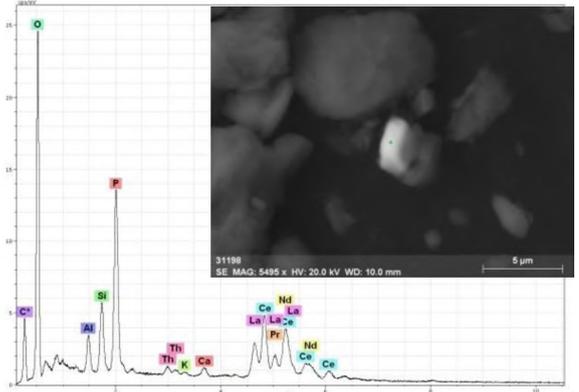


Сферулы оксида железа
% масс: Fe – 72, O – 27

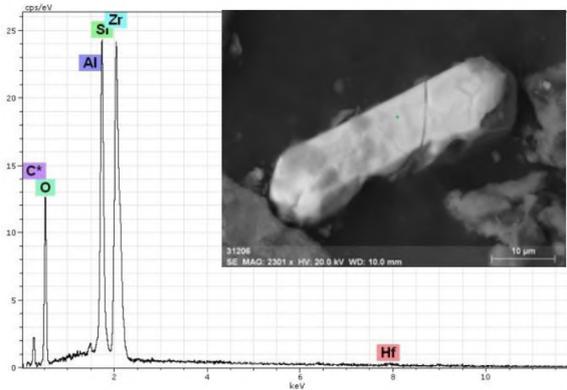
Рисунок 1 - Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектр частиц в пробах бурового шлама Томской области



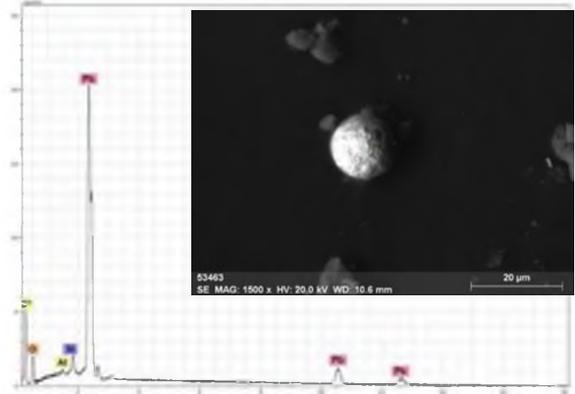
Фосфата иттрия (ксенотим)
 % масс: Y – 34, P – 15, Dy – 6, Er – 4,
 Yb – 3.5, Gd – 2.7, U – 0.76



TR-содержащая фаза (монацит)
 % масс: Ce – 21, P – 12, La – 11, Nd – 9, Th – 2,
 Nd – 2

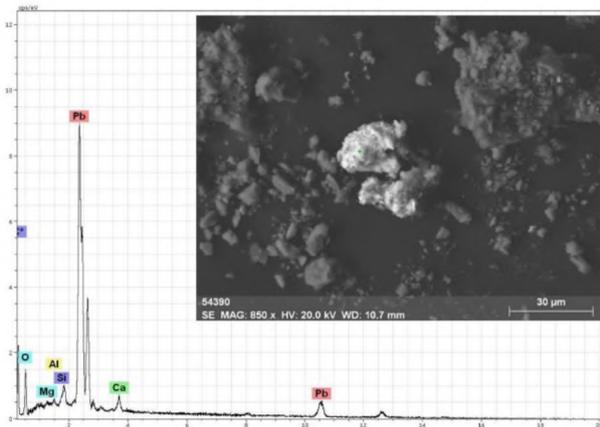


Zr-содержащей частицы (циркон)
 % масс: Zr – 49, Si – 13.3, O – 35, Hf – 2.3

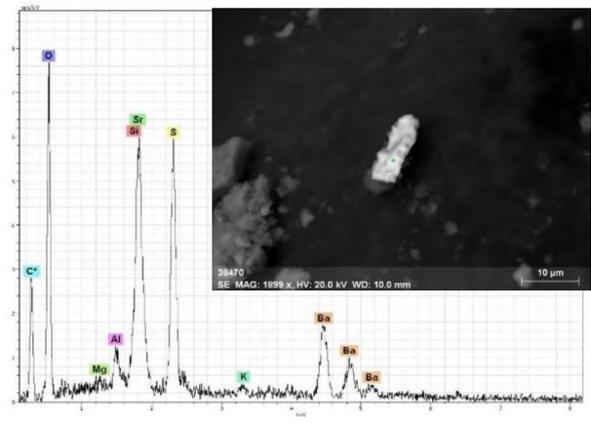


Сферулы оксида свинца
 % масс: Pb – 88, O – 11

Рисунок 2 - Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектр частиц в пробах бурового шлама Томской области

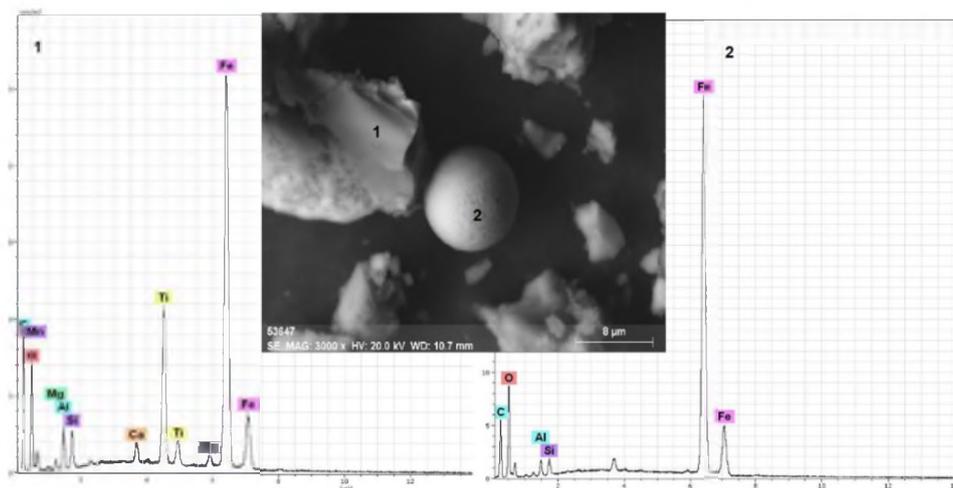


Pb-содержащая частица
 % масс: Pb – 79, O – 18



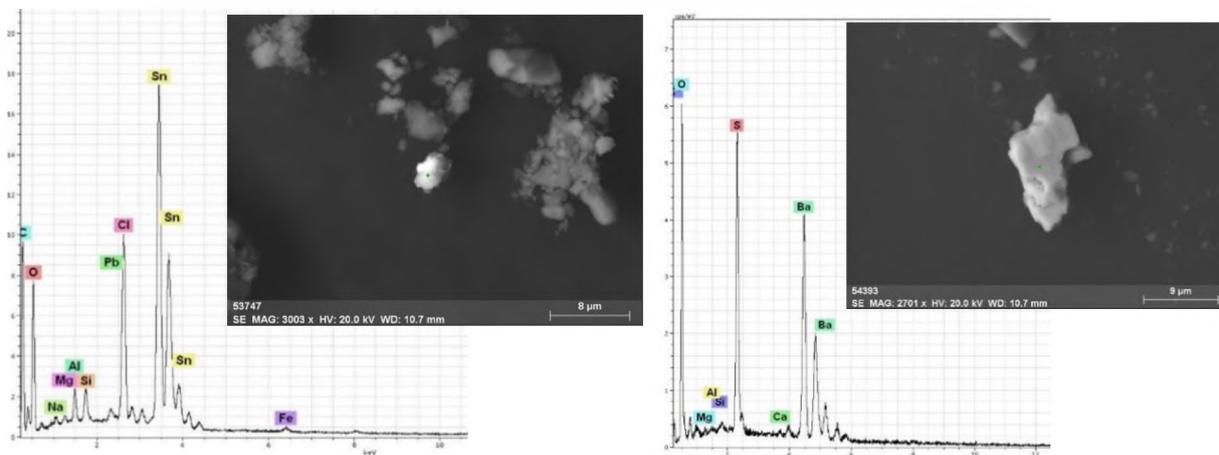
Sr-Ba-содержащая частица (баритоцелестин),
 % масс: Sr – 23, Ba – 20, S – 12, O – 41

Рисунок 3 - Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектр частиц в пробах бурового шлама Иркутской области



1 - Ti-Fe - содержащая частица
% масс: Fe – 23, O – 20, Ti – 5,6

2 - Сферула оксида железа
% масс: Fe – 39, O – 19



Sn- содержащая частица
% масс: Sn – 32, O – 26, Cl – 4.7, Pb – 0.2

Сульфат бария (барит),
% масс: Ba – 60, O – 26, S – 26, S – 14

Рисунок 4 - Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектр частиц в пробах бурового шлама Иркутской области

ПОЛОЖЕНИЕ 2. Буровой шлам нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской и Иркутской областей характеризуется специфическими геохимическими особенностями и формами нахождения токсичных химических элементов. Для всех шламов типично повышенное содержание Pb, As, Zn, Mo и Ag. При этом для бурового шлама каждого из месторождений характерен свой спектр элементов. Для Томской области характерны: Первомайское – Pb, Sb, W, Zn, Ag; Шингинское – Pb, Sn, Ag, Sb, Cu; Южно-Шингинское – Pb, Zn, Sb; Кулгинское – W, As, Sc, Mo, Ag; Южно-Черемшанское – As. Для месторождений Иркутской области: Марковское – Se, Ag, As, Sc, Bi, Sr; Ярактинское – Se, Pb, Mo, Sb, As, Cu, Ag, W, Zn, Mg.

Среднее содержание химических элементов в исследуемых пробах бурового шлама месторождений Томской и Иркутской областей сравнивались с содержанием в осадочных горных породах в целом и кларком в верхней части континентальной коры (Григорьев Н.А., 2009).

Выявлено повышенное содержание Pb, Ag, Mo, Ba, Zn, Cu, As в большей части проб бурового шлама месторождений Томской области относительно среднего содержания в осадочных горных породах в целом и кларка в верхней части континентальной коры, в то время, как в пробах бурого шлама Иркутской области фиксируются повышенные концентрации Pb, Ag, Mo, Zn, As, Cr, Co, Li, Si, Se во всех пробах.

Содержание химических элементов As, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn, Co, относящихся к 1-3 классу опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83), оценивалось относительно валового ПДК или ОДК для почв (ГН 2.1.7.2041-06; ГН 2.1.7.2511-09). Для проб бурового шлама Томской области отмечается превышение ПДК по As для всех месторождений, но максимальное для шлама Лугинецкого месторождения (13 ПДК). Содержание Co в пробах Южно-Шингинского месторождения составило 3 ПДК. В пробах месторождений Первомайское, Шингинское, Южно-Шингинское среднее содержание Pb превышает ПДК, а Cu и Zn ОДК. Максимальное значение Pb отмечается в Первомайском месторождении и составляет 11 ПДК. Содержание Zn равняется 2 ОДК для проб Южно-Шингинского месторождения.

В пробах шлама месторождений Иркутской области среднее содержание As, Pb, Co, Cu, Zn превышают нормативные показатели. Максимальное превышение наблюдается в пробах бурового шлама Ярактинского месторождения (As – 10 ПДК, Pb – 3,6 ПДК, Co – 5,3 ПДК, Cu – 2 ОДК, Zn – 1,7 ОДК).

Геохимическая специфика бурового шлама выражается в накоплении определенных элементов для каждого месторождения. Так буровой шлам месторождений Томской области характеризуется следующими элементами: Первомайское – Pb, Sb, W, Zn, Ag; Шингинское – Pb, Sn, Ag, Sb, Cu; Южно-Шингинское – Pb, Zn, Sb; Южно-Черемшанское - As и Кулгинское – W, As, Sc, Mo, Ag, тогда как для месторождений Иркутской области: Марковское – Se, Ag, As, Sc, Bi, Sr и Ярактинское – Se, Pb, Mo, Sb, As, Cu, Ag, W, Zn, Mg.

Для исследуемых проб бурового шлама был рассчитан кларк концентрации относительно кларка верхней части континентальной коры по Григорьеву Н.А. (2009) и построены геохимические ряды, характеризующие отходы производства (табл. 4).

Сравнение геохимических рядов месторождений Томской области, показало, что в числе элементов с максимальной концентрацией, выделяются такие элементы как Pb, As, Ag, Mo, Zn, накапливающиеся в более половине случаев из рассмотренных проб. Геохимические ряды, построенные для бурового шлама Иркутской области, отмечаются повышенным содержанием следующих элементов – Se, Mo, As, Ag, Zn, Mg, Cr, Li, которые фиксируются в каждой пробе. Элементы Pb, As, Zn, Se, Mo, Cr принадлежат к группе химических элементов, которые в соответствии с ГОСТом 17.4.1.02-83 относятся к 1-2 классу по степени опасности.

Также рассчитана величина суммарного показателя загрязнения (табл. 4). Данный показатель изменяется от 2,5 (Катыльгинское месторождение) до 29,2 (Первомайское месторождение). Среднее значение составляет 12 единиц для буровых шламов нефтяных месторождений Томской области, что соответствует низкой степени загрязнения ($0 < Zc < 16$), вклад в величину суммарного показателя загрязнения вносят такие элемента как: – Pb, Sb, W, Zn, Ag, Cu, Ge, Mn, Mo, As, Si, Ti, Sn, Cu, Be, Sc, Cr. Для месторождений Иркутской области суммарный показатель загрязнения варьируется от 30,7 (Марковское месторождение) до 41,2 единиц (Ярактинское месторождение). Среднее значение составляет 38 единиц, значение соответствует высокой степени загрязнения ($32 < Zc < 128$), вклад в величину суммарного показателя загрязнения вносят такие элемента как: Se, Pb, Mo, As, Cu, Ag, Zn, Mg, Cr, Co, Li, Sc, Bi, Sr, Sb.

Таблица 4 - Геохимические ряды для проб бурового шлама месторождений Томской и Иркутской областей

Месторождение	Геохимический ряд	Zc
Томская область		
Первомайское, n=1	Pb _{20,34} – Sb _{3,77} – W _{2,81} – Zn _{2,36} – Ag _{2,26} – Cu _{1,71} – Ge _{1,31} – Mn _{1,30} – Mo _{1,28}	29,2
Катыльгинское, n=1	Mo _{2,14} – Pb _{1,19} – Ag _{1,10} – Zn _{1,05} – Ge _{1,03}	2,5
Южно-Черемшанское, n=1	As _{3,24} – Ag _{1,79} – Si _{1,08} – Ti _{1,04}	4,2
Лугинецкое, n=1	As _{4,57} – Mo _{1,96} – Pb _{1,47} – Ag _{1,23} – Sb _{1,09} – Si _{1,07} – Zn _{1,03}	6,5
Кулгинское, n=1	W _{6,47} – As _{4,93} – Sc _{2,12} – Mo _{1,82} – Ag _{1,81} – Pb _{1,00}	13,9
Шингинское, n=2	Pb _{9,52} – Sn _{5,22} – Ag _{2,03} – Sb _{1,98} – Cu _{1,91} – Zn _{1,69} – Mo _{1,59} – Be _{1,27}	18,7
Южно-Шингинское, n=3	Pb _{5,02} – Zn _{3,06} – Sb _{1,94} – Ag _{1,77} – Cu _{1,74} – As _{1,57} – Mo _{1,23} – Ti _{1,12} – Ge _{1,07} – Cr _{1,05}	10,6
Иркутская область		
Марковское, n=3	Se _{21,89} – Ag _{3,39} – As _{3,21} – Sc _{1,97} – Bi _{1,93} – Sr _{1,52} – Mg _{1,50} – Zn _{1,35} – Sb _{1,33} – Co _{1,23} – Mo _{1,20} – Li _{1,08} – Cr _{1,01} – Mn _{1,04}	30,7
Ярактинское, n=7	Se _{14,52} – Pb _{6,92} – Mo _{5,02} – Sb _{3,91} – As _{3,65} – Cu _{3,37} – Ag _{3,05} – W _{2,74} – Zn _{2,5} – Mg _{2,1} – Cr _{1,87} – Co _{1,57} – Sc _{1,49} – Li _{1,39}	41,2

Примечание: Жирным шрифтом выделены элементы 1, 2 и 3 классов опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83); Zc – суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по результатам МС- ИСП; степени загрязнения (Саэт и др., 1990): Zc от 0 до 16 – низкая; 16-32 – средняя; 32-128 – высокая; более 128 – очень высокая.

ПОЛОЖЕНИЕ 3. Комплексная оценка экологической опасности бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений базируется на использовании экспресс метода капаметрии для определения магнитной восприимчивости, расчета суммарного показателя загрязнения на основе кларка концентрации, а также выявления биологического влияния на живые организмы разных систематических групп тест-объектов для эффективного обращения с отходами.

В работе использовался экспресс-метод – каппаметрия, для определения величины магнитной восприимчивости (Патент №2133487). Величина магнитной восприимчивости зависит от содержания в пробах ферромагнитных и парамагнитных ионов. Значения величины магнитной восприимчивости в буровых шламах изменяются в 37 раз, причем минимальная величина ($10,6 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) устанавливается в буровом шламе Южно-Черемшанского месторождения (Томская область), а максимальная ($375 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) – для Ярактинского месторождения (Иркутская область) (табл.5).

Таблица 5 – Средние значения магнитной восприимчивости (МВ) и величины суммарного показателя загрязнения (СПЗ) бурового шлама

Месторождение	МВ * 10^{-5} ед. СИ $m \pm \sigma$ (min/max)	СПЗ
Первомайское	84±0,5 (83/85)	29,19 (средняя)
Катыльгинское	81,3±0,3 (81/82)	2,54 (низкая)
Южно-Черемшанское	10,6±0,3 (10/11)	4,17 (низкая)
Лугинецкое	42,3±0,3 (42/43)	6,45 (низкая)
Кулгинское	22±1,0 (20/23)	10,84 (низкая)
Шингинское (кустовая площадка №7, амбар 1)	23,6±0,8 (22/25)	12,78 (низкая)
Шингинское (кустовая площадка №8, амбар 1)	105±1,0 (104/107)	24,85 (средняя)
Южно-Шингинское (кустовая площадка №3, амбар 1)	30,6±0,6 (30/32)	3,81 (низкая)
Южно-Шингинское (кустовая площадка №3, амбар 2)	15±1,0 (14/17)	8,54 (низкая)
Южно-Шингинское (кустовая площадка №3, амбар 3)	97±1,0 (95/98)	20,77 (средняя)
Марковское	11±1,0 (9/12)	30,68 (средняя)
Ярактинское (эксплуатационная скважина)	173,7±0,88 (172/175)	46,56 (высокая)
Ярактинское (разведочная скважина)	375±2,51 (372/380)	36,03 (высокая)

Примечание: МВ – величина магнитной восприимчивости; m – среднее значение; σ – стандартная ошибка; величина магнитной восприимчивости в фоновых почвах от 20 до $40 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (Миков, 1999).

Сопоставление магнитной восприимчивости с величиной суммарного показателя загрязнения позволило установить некоторую взаимосвязь, которая характеризует низкую величину магнитной восприимчивости и низкую величину суммарного показателя загрязнения.

Все это позволило выработать градацию по степени загрязнения: низкая (СПЗ < 16, МВ < 80), средняя ($16 \geq \text{СПЗ} \leq 32$; $80 \geq \text{МВ} \leq 120$), высокая (СПЗ > 32; МВ > 120) степень с учетом данных показателей.

Согласно приказу МПР №511 для установления класса опасности применяются несколько способов: расчет значения степени опасности и определение кратности разведения водной вытяжки из отхода, при котором вредное воздействие на гидробионты отсутствует. Также для присвоения класса опасности применяется федеральный классификационный каталог отходов. Для отходов, включенных в ФККО, класс опасности может быть установлен на основании сведений, указанных в каталоге. В случае отнесения отхода к V классу опасности необходимо подтверждение методом биотестирования.

Гидробионты используются как тест-объекты, так как наибольшую опасность для объектов природной среды имеет водно-миграционный путь распространения токсичных компонентов.

Для определения наличия токсического эффекта бурового шлама был применен метод биотестирования с использованием тест-объектов: рачки *Daphnia magna Straus* (ФР.1.39.2007.03222), водоросли *Chlorella vulgaris Beijer / Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. (ФР.1.39.2007.03223) и плодовые мушки *Drosophila melanogaster* (Методические ..., 1998).

Определение класса опасности бурового шлама осуществлялось методом биотестирования водной вытяжки с помощью гидробионтов из разных систематических групп (рачки *Daphnia magna* и водоросли *Scenedesmus quadricauda*). Так согласно результатам биотестирования, почти все пробы относятся к отходам IV-V класса опасности (малоопасные и практически неопасные), за исключением одной пробы, принадлежащей к III классу (умеренно опасные).

В тоже время было проведено биотестирование бурового шлама на тест-организме *Drosophila melanogaster*, позволяющим оценить токсичность твердой фазы исследуемого отхода. По результатам исследования, наличие токсического эффекта, выраженное в непропорциональном соотношении полов, практически не наблюдается, за исключением одной пробы с Марковского месторождения, мутационной изменчивости у тест-объектов выявлено не было. Обобщенные результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Результаты биотестирования бурового шлама месторождений Томской и Иркутской областей

Область	Месторождение	Тест-объект			Класс опасности
		<i>Daphnia magna</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Drosophila melanogaster</i>	
		Жидкая фаза		Твердая фаза	
Томская	Кулгинское	+	–	–	IV
	Шингинское (КП №7, амбар 1)	+	–	–	IV
	Шингинское (КП №8, амбар 1)	–	–	–	V

	Южно-Шингинское (КП №3, амбар 1)	+	-	-	IV
	Южно-Шингинское (КП №3, амбар 2)	-	-	-	V
	Южно-Шингинское (КП №3, амбар 3)	-	-	-	V
Иркутская	Марковское	+	+	+	IV
	Ярактинское (эксплуатационная скважина)	+	+	-	III
	Ярактинское (разведочная скважина)	+	+	-	IV

Примечание: + - наличие биологического влияния; - - отсутствие биологического влияния

Пробам бурового шлама Томской области присвоен IV-V класс опасности. Буровой шлам, отобранный на Кулгинском месторождении, отмечается токсичностью только для тест-объекта *Daphia magna*. Буровой шлам с Шингинского и Южно-Шингинского месторождений преимущественно выделяются отсутствием токсического влияния на тест-объекты, за исключением, бурового шлама с действующих амбаров Шингинского (кустовая площадка №7) и Южно-Шингинского (кустовая площадка №3, амбар №1) месторождений, где биотестирование на тест-организме *Daphia magna* устанавливает вредное воздействие при кратности в 1 раз.

Пробы бурового шлама, отобранные на территории Иркутской области, по результатам биотестирования относятся к III-IV классу опасности. Буровому шламу, отобранному из эксплуатационной скважины Ярактинского месторождения, присвоен III класс опасности по результатам тестирования на тест-объектах *Daphia magna* Straus и *Scenedesmus quadricauda*. В тоже время данная проба выделяется повышенным показателем магнитной восприимчивости и показателем суммарного загрязнения. Стоит отметить, что тест-объект *Drosophila melanogaster* не проявил реакцию на наличие токсичности в исследуемых пробах, за исключением единичной пробы бурового шлама с Марковского месторождения. Данная проба отличается повышенным содержанием Se относительно проб с Ярактинского месторождения, а также содержанием в своем составе Vi и Sc, что может отражаться на биологическом влиянии тест-объекта *Drosophila melanogaster*.

Также экспериментальным методом определено, что организм *Daphia magna* более чувствительный тест-объект в сравнении с водорослями *Scenedesmus quadricauda* и мушками *Drosophila melanogaster*.

Предлагается комплексная оценка экологической опасности отходов бурового шлама: 1 этап - использование экспресс метода каппаметрии для определения магнитной восприимчивости; 2 этап - расчет суммарного показателя загрязнения на основе кларка концентрации; 3 этап - определение нефтепродуктов и класса опасности отхода методом

биотестирования на тест-организмах разных систематических групп (*Daphia magna* и *Scenedesmus quadricauda*) и с использованием тест-объекта мушек *Drosophila melanogaster*.

Предлагаемый комплексный подход, позволяет оценить опасность отхода как в жидкой, так и в твердой фазе. Элементный состав, содержание нефтепродуктов, биотестирование на тест-объектах *Daphia magna* и *Scenedesmus quadricauda* определяется в жидкой фазе, в то время как магнитная восприимчивость, биотестирование на тест-организме *Drosophila melanogaster* позволяет оценить токсичность твердой фазы исследуемого отхода.

Проведение работ по комплексной эколого-геохимической оценке бурового шлама позволяет выработать рекомендации для безопасного захоронения или вторичного использования. Так, буровой шлам Томской области может использоваться как вторичное сырье в виде техногенного грунта или компонента для производства грунтобетонных, органоминеральных смесей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Геологические условия образования исследуемых месторождений отличаются типом вмещающих и перекрывающих отложений, а также породами-коллекторами нефти и газа, которые обуславливают исходный минеральный состав бурового шлама. Нефтяные месторождения Томской области локализуются в терригенных породах-коллекторах, а нефтегазоконденсатные месторождения Иркутской области – карбонатных коллекторах с солевыми отложениями.
2. По результатам рентгенофазового анализа для проб бурового шлама Томской области характерен минералогический состав с преобладанием кварца, слюды и полевых шпатов. Для минералогического состава бурового шлама Иркутской области характерно наличие кварца, кальцита, доломита и слюдистых минералов.
3. Метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии при исследовании проб бурового шлама на сканирующем электронном микроскопе выявил минеральные фазы таких элементов, как Pb, Ba, Fe, Ti. В пробах Томской и Иркутской областей зафиксированы оксиды железа сферической формы. Тем не менее, специфичным для проб буровых шламов Томской области является наличие минеральных фаз Zn, Cu, Zr, TR, Y, U, P, а также минеральной фазы Pb сферической формы. Специфика проб шлама Иркутской области заключается в наличии минеральных фаз Sn, Sr, Cr и соединений Na-Cl.
4. Величина магнитной восприимчивости для проб бурового шлама со шламовых амбаров месторождений Томской области изменяется от 10,6 до $105 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, в то время как разброс значений для проб шлама месторождений Иркутской области – от 11 до $375 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ.
5. Методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в буровом шламе месторождений Томской и Иркутской областей были зафиксированы повышенные концентрации

Pb, Zn, Mo, As, Ag относительно кларка верхней части континентальной коры (по Н.А. Григорьеву). Специфичными для бурового шлама месторождений Томской области являются такие элементы, как: Первомайское – Pb, Sb, W, Zn, Ag; Шингинское – Pb, Sn, Ag, Sb, Cu; Южно-Шингинское – Pb, Zn, Sb; Кулгинское – W, As, Sc, Mo, Ag; Южно-Черемшанское – As. Для месторождений Иркутской области: Марковское – Se, Ag, As, Sc, Bi, Sr; Ярактинское – Se, Pb, Mo, Sb, As, Cu, Ag, W, Zn, Mg.

6. Суммарный показатель загрязнения бурового шлама, рассчитанный на основе кларка концентрации, для месторождений Иркутской области выше, чем для Томской области, и варьирует от 30 до 41 ед., тогда как степень загрязнения проб месторождений Томской области изменяется от 4 до 30 ед.

7. Исследование токсического эффекта бурового шлама методом биотестирования выявило, что пробы Томской области относятся к малоопасным, практически неопасным отходам, и не являются потенциально токсичными. Тогда как, исследуемый буровой шлам месторождений Иркутской области относится к умеренно опасным и малоопасным отходам.

8. На основании проведенной комплексной эколого-геохимической оценки буровой шлам месторождений Томской области может быть рекомендован для вторичного использования.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК

1. **Климова А.А., Язиков Е.Г.** Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтегазоконденсатных месторождений на примере объектов Иркутской области // Вестник ЗабГУ. – 2020. – Т. 26. – №26. – С. 32–39.

2. **Климова А.А., Язиков Е.Г., Шайхиев И.Р.** Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтяных месторождений на примере объектов Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. – № 2. – С. 102–114.

3. **Климова А.А.** Определение токсичности буровых шламов с территории Томской области методами биотестирования для оценки возможности его дальнейшего использования / **А.А. Климова**, А.С. Мишунина, С.В. Азарова, Д.Е. Фоминых, Е.Г. Язиков // Нефтяное хозяйство. – 2018. – №.4. – С. 108 – 111.

Публикации в журналах, индексируемых базой данных Scopus и Web of Science

4. **Klimova A.A.** Mineralogical and geochemical particularity of drill cuttings from oil fields on the example of objects of the Tomsk region / A. Klimova, E. Yazikov, I. Shaikhiev // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 2020. – Vol. 331. – No.2. – P. 102–114.

5. **Klimova A.A.** Determining the toxicity of drilling muds using the methods of biotesting, case study of Tomsk region the territory / **A.A. Klimova**, A. S. Mishunina, S.V. Azarova, D.E. Fominykh, E.G. Yazikov // *Neftyanoe Khozyaistvo - Oil Industry*. – 2018. – Is.4. – P. 108–111.

Статьи в журналах и материалы в сборниках научных конференций

6. **Klimova A.A.** Scanning Electron Microscopy Study of Drilling Cuttings in Tomsk Oblast Sites / **A.A. Klimova**, S.V. Azarova, E.G. Yazikov, I.A. Matveenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 272.

7. Mishunina A. S. Evaluation of Drilling Cutting Components and Their Impact on the Environment Using Bioassay (Siberia, Russia) / A. S. Mishunina, **A.A. Klimova** // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 272.

8. **Klimova A.A.**, Mishunina A.S., Yazikov E.G. The effect of drilling waste on Water Resources – the elemental composition of Waste // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 743. – p. 338–341.