

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

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)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Язиков Е.Г.

Томск – 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1: ИЗУЧЕННОСТЬ БУРОВОГО ШЛАМА. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	11
ГЛАВА 2: ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ, ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	25
2.1. Томская область	25
2.1.1 Природно-климатическая характеристика района исследования	26
2.1.2 Геологическая характеристика района исследования	27
2.1.2.1 Характеристика и особенности геологического строения нефтяных месторождений Томской области.....	30
2.1.3 Геоэкологическая характеристика района исследования.....	40
2.2 Иркутская область.....	43
2.2.1 Природно-климатическая характеристика района исследования	43
2.2.2 Геологическая характеристика района исследования	45
2.2.2.1 Характеристика и особенности геологического строения нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области	49
2.2.3 Геоэкологическая характеристика района исследования.....	53
ГЛАВА 3: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К КОМПЛЕКСНОМУ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ	55
3.1 Методика исследования.....	55
3.2 Методы аналитических исследований	60
3.3 Биотестирование.....	68
3.3.1 Тест-объект ракообразные <i>Daphnia Magna Straus</i>	69
3.3.2 Тест-объекты протококковые водоросли <i>Chlorella vulgaris Beijer</i> и	70
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	70
3.3.3 Тест-объект <i>Drosophila melanogaster</i>	72
3.4 Методы обработки результатов исследований	76
ГЛАВА 4: МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ТОКСИЧНОСТЬ БУРОВОГО ШЛАМА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ.....	79
4.1 Характеристика минералогического состава бурового шлама.....	79
4.2 Характеристика элементного состава бурового шлама, технической воды и почвы.....	84
4.2.1 Характеристика элементного состава бурового шлама	84
4.2.2 Характеристика элементного состава проб жидкой фазы шламового амбара	97

4.2.3 Характеристика элементного состава почвы	102
4.3 Характеристика магнитной восприимчивости бурового шлама	109
4.4 Характеристика содержания нефтепродуктов в буровом шламе, в жидкой фазе шламовых амбаров и почвы	110
4.4.1 Характеристика содержания нефтепродуктов в буровом шламе	112
4.4.2 Характеристика содержания нефтепродуктов в жидкой фазе шламовых амбаров	113
4.4.3 Характеристика содержания нефтепродуктов в почве	113
4.5 Характеристика минеральных форм по данным сканирующей электронной микроскопии в буровом шламе	114
4.6 Оценка токсичности бурового шлама нефтяных месторождений методом биотестирования.....	136
ГЛАВА 5: МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ТОКСИЧНОСТЬ БУРОВОГО ШЛАМА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ	143
5.1 Характеристика минералогического состава бурового шлама	143
5.2 Характеристика элементного состава бурового шлама и почвы	144
5.2.1 Характеристика элементного состава бурового шлама	144
5.2.2 Характеристика элементного состава почвы	150
5.3 Характеристика магнитной восприимчивости бурового шлама.....	154
5.4 Характеристика содержания нефтепродуктов в буровом шламе и почве.....	155
5.4.1 Характеристика содержания нефтепродуктов в буровом шламе	155
5.4.2 Характеристика содержания нефтепродуктов в почве	155
5.5 Характеристика минеральных форм по данным сканирующей электронной микроскопии в буровом шламе	156
5.6 Оценка токсичности бурового шлама нефтегазоконденсатных месторождений методом биотестирования.....	164
ГЛАВА 6: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ БУРОВОГО ШЛАМА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОМСКОЙ И ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТЕЙ.....	169
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	186
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	188
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	189

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 подчеркивается 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.

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.

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.

Положение 3. Комплексная оценка экологической опасности бурового шлама нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений базируется на использовании экспресс метода каппаметрии 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.

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 Бебяновской А.И., а также родным и близким за поддержку во время проведения исследований и написания диссертационной работы.

ГЛАВА 1: ИЗУЧЕННОСТЬ БУРОВОГО ШЛАМА. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Строительство скважин и объектов нефтедобычи представляет собой наиболее масштабный этап освоения месторождений, в течение которого создается вся инфраструктура нефтедобывающего комплекса. Техногенному воздействию подвергаются все компоненты окружающей природной среды: атмосфера, гидросфера, почва, животный и растительный мир, геологическая среда (Московченко и др., 2002; Некрасова, 2003; Соромотин, 2010; Пашкевич и др., 2013; Пичугин, 2015; Авдеева и др., 2016).

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

Во время строительства буровых скважин значимую опасность представляет загрязнение территории буровыми отходами, химическими реагентами и продукцией скважин (Соромотин, 2010; Пашкевич и др., 2013). Буровые отходы состоят из сточных, пластовых вод, тампонажных, буровых растворов и бурового шлама. Залегание бурового шлама происходит на дне шламового амбара, жидкая фаза располагается сверху.

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

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

Согласно отчетам в области устойчивого развития, опубликованным крупными нефтегазовыми компаниями, образование буровых отходов, в том числе бурового шлама за 2018 г. составило более 60% от общей массы образованных отходов на предприятиях (рис. 1).

В отчете о деятельности в области устойчивого развития группы «Лукойл» за 2018 г. отмечается, что основными видами отходов являются буровой шлам и отработанные буровые растворы, которые образуются в процессе бурения и эксплуатации скважин. Их объемы прежде всего зависят от объемов буровых работ. Помимо этого, увеличение количества отходов связано с ростом объемов проходки эксплуатационного бурения.



Рисунок 1 – Диаграммы соотношения бурового шлама и прочих отходов, образованных в нефтегазодобывающих компаниях за 2018 год (Отчеты в области устойчивого развития..., 2018)

В 2018 году в компаниях Группы Газпром образование отходов бурения сократилось до 21,1 % (рис. 2).

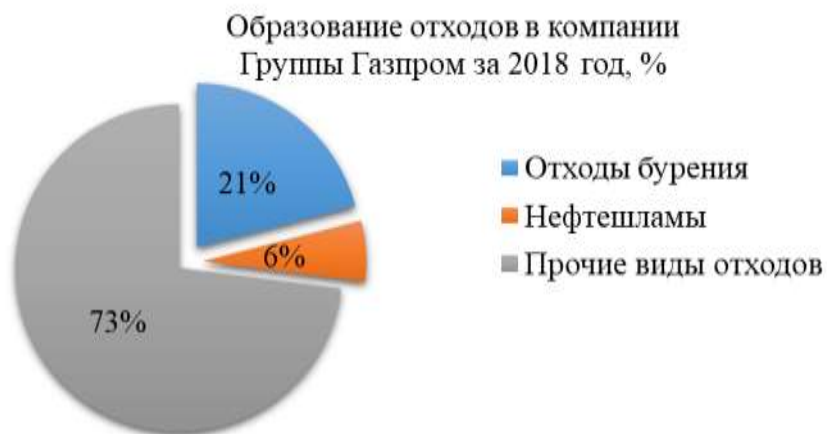


Рисунок 2 – Структура отходов Группы Газпром по видам (Отчеты в области устойчивого развития..., 2018)

В состав Группы Газпром входит ПАО «Газпром-нефть». Основная масса отходов данной компании образуется в процессе добычи сырья (рис. 3).

Доля компаний Группы Газпром в объемах образования
отходов бурения, 2018 г., %

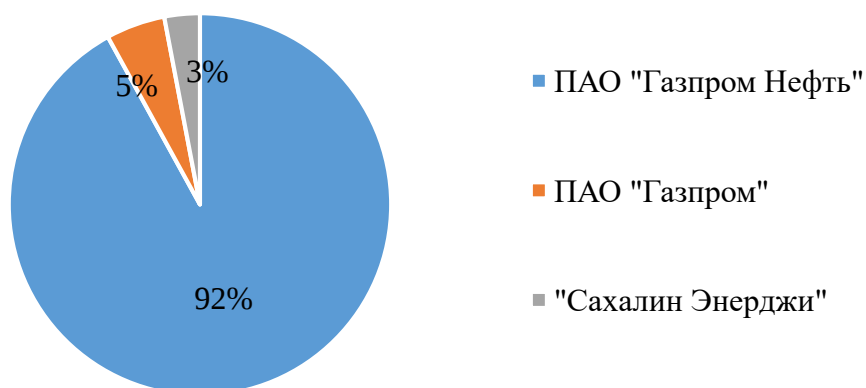


Рисунок 3 – Доля компаний Группы Газпром в объемах образования отходов бурения, 2018 г., % (Отчеты в области устойчивого развития..., 2018)

Мероприятия по обращению с отходами бурения предусматривают как существующие технологии по утилизации отходов бурения, обустройство разрабатываемых месторождений, так и метод строительства скважин, закачку отходов в пласт. Компании Группы Газпром используют передовые буровые установки, оборудованные системой очистки жидкой фазы отходов бурения. Подобная технология позволяет максимально возвращать в производственный процесс использованный ранее буровой раствор и технологическую воду. Отходы складировются в шламовых амбарах, гидроизоляция которых надежно защищает компоненты природной среды от возможных загрязнений (рис. 4).

Структура обращения с отходами бурения в Группе Газпром,
2018 г., тыс.т



Рисунок 4 – Структура образования и обращения с отходами бурения Группы Газпром
(Отчеты в области устойчивого развития..., 2018)

В компании ПАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ» основную часть всех отходов производства и потребления, около 70%, составляет буровой шлам. Из них, более 75 % бурового шлама утилизируется. ПАО «Сургутнефтегаз» использует буровой шлам в качестве грунта при строительстве эксплуатационного и разведочного бурения. За 2018 г. таким способом утилизировано 442 тыс. т, размещено – 102 тыс. т. (Отчеты в области устойчивого развития..., 2018).

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

Воздействие шламового амбара как источника поступления сточных вод и отходов бурения в природную среду, например, в болотные экосистемы, освещено в работах многих авторов (Базанов и др., 2004; Соромотин, 2010; Савичев и др., 2013; Savichev et al, 2016). Отмечено, что токсичные компоненты отходов бурения распространяются через борта шламовых амбаров с последующим образованием ореола загрязнения грунтовых вод вокруг них (Соромотин, 2010). Шламовые амбары также могут быть источником поступления поллютантов в окружающую среду и причиной формирования вторичных очагов загрязнения (Некрасова, 2003).

Попадание токсичных отходов бурения в окружающую среду происходит по разным причинам: из-за нарушения или несовершенства технологии, плохого качества, износа или нехватки оборудования, аварийных ситуаций, нарушения гидроизоляции противofильтрационного экрана, изменения режимов пластов и т.д. (Некрасова, 2003; Соромотин, 2010; Пичугин, 2013; Фоминых и др., 2014). В исследовании Базанова В.А., Савичева О.Г. (2004) отмечается, что при правильной эксплуатации шламовых амбаров воздействие на болотные экосистемы минимальное.

На сегодняшний день практикуют захоронение отработанного бурового раствора и шлама в амбарах непосредственно на территории буровой площадки, поскольку это наиболее экономичный и легкодоступный способ (Соромотин, 2010). Для предотвращения возможных контактов отходов бурения с поверхностными водами и биологическими объектами, шлам размещают в шламовых амбарах и захоранивают под средством засыпки амбара и планировки привозными грунтами, т.е. рекультивируют (РД 39-133-94). Подобный метод является безопасным для окружающей среды только в случае обезвреживания и отвердевания закапываемых отходов бурения. Однако часто амбары со шламом и остатками буровых растворов после окончания бурения скважин засыпаются грунтом, а после засыпки амбаров буровые отходы не затвердевают в течение нескольких лет, длительное время являясь источником загрязнения (Соромотин, 2010).

Также в результате засыпки грунтом происходит консервирование отходов бурения под слоем грунта, что приводит к замедлению процесса разложения химических соединений, реагентов и увеличению времени пребывания отходов бурения в жидкой фазе, усилению потока вертикальной и горизонтальной миграции жидкой части отходов бурения (Проект технической документации..., 2019).

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

Различают два понятия – «вырубленная порода» и «буровой шлам». Вырубленная порода образуется в результате углубления на забое скважины. Вырубленная порода преобразуется в буровой шлам при гидротранспорте промывочной жидкостью со скважины. Соответственно, буровой шлам отличается по составу, объему и физико-химическим свойствам от вырубленной породы (Балаба, 2001; Матвеев и др., 2017).

Миниغازимов Н.С. (2014) уточняет, что буровой шлам, образованный при строительстве нефтяных и газовых скважин, весьма существенно отличаются от шлама нефтедобычи, нефтепереработки и нефтехимии. Различия кроются в соотношении основных компонентов

(нефть, вода, взвешенные вещества) и в токсичных компонентах, применяемых в технологических процессах.

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

Таким образом, буровой шлам - это выбуренная порода, пропитанная отработанным буровым раствором. Состав бурового шлама зависит от геологических условий, компонентов бурового раствора, технологического процесса очистки бурового раствора, а также от глубины и интервала бурения (Булатов, 1997; Patin, 1999).

Многие из отходов, связанных с бурением нефтяных и газовых скважин, влияют на состояние окружающей среды. По мнению авторов (Opwukwe et al, 2012) характеристика буровых отходов и их способность влиять на окружающую среду определяется физическими и химическими свойствами. Химические характеристики в значительной степени зависят от первичного состава породы, от технологии бурения, в частности, от типа бурового раствора и метода бурения. Токсичность бурового шлама зависит от его состава и свойств, которые определяются характеристиками выбуренной горной породы (Крючков, 2012) и составом буровых растворов (Беляков, 2014). Так, установлено, что буровой шлам включает небольшое количество жидких и твердых составляющих бурового раствора (Nabhani et al, 2015).

Буровые растворы используются для транспортировки вырубленной горной породы, поддержания пластового давления в нужных пределах, а также охлаждения оборудования (Opwukwe et al, 2012). Буровой раствор представляет собой сложную многокомпонентную дисперсную систему жидкостей, включающих твердые вещества, растворенные в жидкости (например, в воде или в нефти) или в эмульсиях с химическими добавками. Подобные добавки нужны для придания раствору различных свойств (Breuer et al, 2004). В составе буровых растворов очень часто присутствуют металлы: мышьяк, барий, хром, кадмий, медь, свинец и ртуть. Металлы добывают в буровой раствор в виде солей металлов и органо-металлических соединений (Frost et al, 2006).

Состав буровых растворов может меняться в широком диапазоне в зависимости от производителя. Буровой раствор на синтетической основе и на нефтяной основе пробуривает более чистую скважину с меньшими затратами и с меньшим образованием объема бурового шлама по сравнению с буровыми растворами на водной основе. Тем не менее, обращение с отходами, в основе имеющих нефтяную основу, более сложное из-за высокого содержания дизельного топлива, нефтепродуктов и полиароматических углеводородов, тогда как отходы, в

основе которых синтетические растворы, имеют более низкую токсичность, более быструю биоразлагаемость и более пригодны для вторичной переработки (Ball et al., 2012).

Степень токсичности бурового шлама обусловлена как неорганическими соединениями, входящими в состав разбуриваемых пластов, так и содержанием углеводородов, которые присутствуют в продуктивных пластах (Майстренко, 2004). В буровой шлам углеводороды могут поступать из противосальниковых добавок и смазочных материалов, добавленных в раствор, или из геологических слоев, проникающих при бурении (Neff, 2005).

По данным различных авторов, содержание нефтепродуктов в буровом шламе существенно изменяется с минимальных до максимальных значений (Некрасова, 2003; Балаба, 2001, Ягафарова, 2006; Авдеева и др., 2016). Ягафарова Г.Г. (2006) отмечает, что нефтепродукты в шламе представлены в основном парафино-нафтеновыми углеводородами (из которых 20% – твердые парафины), асфальтенами (5,6%), смолами (19,2%), полициклическими ароматическими углеводородами (20,1%).

Наличие тяжелых металлов в буровом шламе становится важным критерием, влияющим на токсичность данного вида отхода, помимо содержания нефтепродуктов и минерализованных вод. В первую очередь, на химический состав бурового шлама влияет литологический состав разбуриваемых пород и добавки, входящие в состав буровых растворов (Frost et al., 2006; Соромотин и др., 2015; Матвиенко и др., 2017). Буровые шламы содержат макроэлементы (Ca, Mg, K, Na) и микроэлементы (Cu, Co, Fe, Mn, Zn, As, Al, Ba, Cr, Cd, Pb, Ni, Hg) (Mikos-Szymanska et al., 2019). Отмечается, что элементы Ba, Ni, Co, Cu и Zn представляют угрозу из-за долговременной подвижности этих элементов (Stuckman et al., 2016).

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

По данным авторов (Kujawska et al., 2017) на присутствие тяжелых металлов в буровом шламе влияет органическая фракция. Также тяжелые металлы не подвергаются биологическим процессам разложения и сохраняются в неизменном виде. А интенсивность рассматриваемого процесса определяется формами металлов и типом связи с твердофазными компонентами (Kujawska et al., 2017).

Stuckman M., Lorano C.L. (2016) отмечают, что металлы (Cu, Ni, Zn, Cd, Co), входящие в состав бурового шлама, связаны с окисляемыми фазами. Металлы, присутствующие в структуре кристаллической решетки минералов вмещающих пород, находятся в нерастворимой форме. Поэтому при исследовании и оценке бурового шлама стоит особое внимание уделять валовому содержанию токсичных компонентов (Патин, 2001; Neff, 2005; Минигазимов и др., 2014). В тоже

время может происходить вынос подвижных элементов, из-за чего буровой шлам становится источником вторичного загрязнения, поэтому стоит учитывать также подвижную форму тяжелых металлов (Патин, 2001; Балаба, 2004).

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

Было проведено исследование содержания подвижных форм тяжелых металлов в буровом шламе со шламовых амбаров различного возраста. Отмечаются различия в содержании загрязняющих веществ в шламе, что свидетельствует о вымывании подвижных форм металлов (Cl, Zn, Mn, Cr, Ni, Pb, Cu) (Гвоздецкая, 2013).

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

Концентрация Na (0,25–0,31%) в буровом шламе близка к концентрации в породе (0,44–0,48%), но значительно ниже по сравнению с буровым раствором (12,8%). Sr в буровом растворе выше, чем в буровом шламе и керне. Высокое содержание Sr в буровом шламе, вероятно, связано с остатками бурового раствора, богатого баритом. Содержание Ba в буровом шламе составляет от 3,23% до 7,67% и, по-видимому, основным источником бария является буровой раствор (12,3% Ba), т.к. в образцах керна содержание бария равно 0,12%. Таким образом, авторы приходят к выводу, что элементы в буровом растворе могут изменяться в зависимости от скважины, а концентрация и подвижность может контролироваться вмещающими горными образованиями.

Редкоземельные элементы (РЗЭ) используются в высокотехнологичных отраслях промышленности и имеют большое экономическое значение. По мнению авторов (Fontana et al., 2021), извлечение концентраций РЗЭ из бурового шлама нефтяных скважин может иметь решающее значение для предотвращения загрязнения окружающей среды и оценки новых источников данных элементов. Исследовано содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в буровом шламе, извлеченном из сверхглубоких скважин в районе добычи нефти и газа в

прибрежных водах Бразилии. Пробы бурового шлама анализировали с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Анализ бурового шлама показал, что концентрации РЗЭ изменяется в зависимости от глубины и местоположения буровой скважины. Концентрация РЗЭ имеет тенденцию уменьшаться с увеличением глубины. Скважины с наименьшей глубиной показали самые высокие концентрации редкоземельных элементов. За исключением Се, содержание которого достигло 91,5 мг/кг при глубине 3020 м. Се, La, Nd, Sm и Eu показали значительные концентрации в исследуемом буровом шламе. Происходит дифференциация РЗЭ на две группы: легкие РЗЭ, включающие La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, и тяжелые - Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Извлечение РЗЭ из отходов, в том числе и из бурового шлама, сможет частично удовлетворить потребность промышленности в данных элементах, а также минимизировать антропогенное влияние РЗЭ на компоненты природной среды (Fontana et al., 2021).

При добыче нефти и газа в отходах бурения фиксируются радионуклиды. В буровом шламе важными радионуклидами являются ^{226}Ra , ^{228}Ra и продукты их распада, например, ^{210}Pb . Радий осаждается с другими щелочноземельными металлами, такими как Ba, Sr и Ca, и связан с сульфатами металлов (Breuer et al., 2004).

Радиоактивные элементы природного происхождения в буровом шламе, которые фиксируются как в процессе бурения, так и добычи природного газа потенциально представляют риск загрязнения компонентов природной среды, однако состав и подвижность данных элементов изучены недостаточно. В пробах бурового шлама, извлеченных из скважины пробуренной в формации Марцелл в восточной части Северной Америки, установлены уран, торий, радий, и их изотопы (свинец и полоний). Радионуклиды уранового ряда в пробах шлама показали нарушение изотопного равновесия, что предполагает некоторую подвижность радионуклидов в этих образованиях (Eitheim et al., 2016).

С помощью радиохимических методов был проведен количественный анализ и оценка состояния равновесия радионуклидов серии ^{238}U (^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb и ^{210}Po) в пробах бурового шлама. Также шлам обогащен микроэлементами: кадмий (Cd), медь (Cu), ванадий (V), цинк (Zn), мышьяк (As) и селен (Se). Повышенный уровень наблюдается у ^{238}U и ^{226}Ra . Более низкий уровень у ^{226}Ra по сравнению с ^{238}U , вероятно, связан с разделением ^{226}Ra в рассолах в геологическом формировании.

По мнению авторов (Eitheim et al., 2016), буровой шлам из формации Марцелл требует дальнейших радиохимических исследований. Исследования по оценке рисков воздействия радиоактивного материала природного происхождения должен включать анализ чистых α -излучателей (^{234}U , ^{230}Th и ^{210}Po) и низкоуровневого β -излучателя (^{210}Pb).

Гвоздецкая М.В. (2013) исследовала минеральный состав отдельных фракций бурового

шлама, и пришла к выводу, что токсичные элементы накапливаются на поверхности частиц бурового шлама, после чего мигрируют в форме хлоридов в кислой среде.

Пашкевич М.А., Гвоздецкая М.В. (2013) разработали методику мониторинга состояния отходов бурения с помощью комплекса современных аналитических методов, подобная оценка экологической опасности отходов бурения основана на определении гранулометрического, химического, минерально-фазового состава.

Характер и последствия загрязнения объектов природной среды, вызванного буровым шламом, мало изучены. Они могут иметь различную токсичность, что заставляет ученых проводить комплексные исследования их влияния на окружающую среду.

По данным исследования Patin S. (1999), на состав отходов влияют загрязняющие вещества, используемые в процессе бурения, а также особенности геологического строения разреза. Химический состав не характеризует буровой шлам как источник токсичности для организмов, что приводит к необходимости использования метода биотестирования в качестве вспомогательного инструмента для оценки токсичности. В совокупности, это дает возможность сделать интегральную оценку степени и направления влияния, производимого на биоценоз (Patin, 1999).

Оценку влияния бурового шлама на живые организмы и определение классов опасности изучали Светличная Т.В., Малышкин М.М., Крючков В.Н., Прокопенко П.А. и др.

В диссертационной работе Светличной Т.В. (2004) буровой шлам исследуется с помощью метода биотестирования. Автор использует ряд тест-объектов: рачки дафния *Daphnia magna*, моллюски дрейссена *Dreissena polymorpha*, хирономиды *Chironomus plumosus* Meig, *Chironomus thummi* Kieff, рыбы данио *Brachydanio rerio*, бактериопланктон морской, водоросль *Thalassiosira weissflogii*, коловратки *Brachionus plicatilis*, артемия *Artemia salina*, аквариумная рыбка Меланотения трехполосая или Радужница *Melanotaenia trifasciata*. Результаты исследования показывают, что пелитовая фракция бурового шлама с дагестанского побережья Каспийского моря относится ко II классу опасности. Хроматы, входящие в состав отхода, обладают мутагенным и канцерогенным действием (Светличная, 2004).

В работе Крюčkова В.Н., Курапова А.А. (2012) «Оценка влияния отходов бурения на гидробионтов» изучено острое и хроническое влияние буровых отходов на разные систематические группы гидробионтов: ракообразных (*Daphnia magna*, *Artemia salina*), моллюсков (*Dreissena rostriformis*), хирономид (*Chironomus* gr. *Salinarius*). Результаты биотестирования показали наличие токсического действия только в зоне прямого воздействия сбросов буровых отходов, где наблюдаются их высокие концентрации.

Вопросами комплексной оценки эколого-гигиенических характеристик и определением класса опасности очищенных соленых буровых шламов занимались Крыса В.В.,

Малышкин М.М. (2013). По мнению авторов, для успешного определения класса опасности бурового шлама нужно использовать исследования, выполняемые на тест-организмах разного уровня организации. Авторы считают, что решающая роль должна быть у экспериментальных биологических методов, поскольку они учитывают степень вредности комплексного воздействия всех загрязняющих веществ исследуемой пробы. Биотестирование авторы проводили на следующих гидробионтах: хирономиды *Chironomus dorsalis Meigen*, дафнии *Daphnia magna Straus*, и аквариумные рыбки *Brachydanio rerio*. Установлено, что вытяжки из проб бурового шлама являются нетоксичными для выбранных тест-объектов. Тем не менее, фитотестирование водных вытяжек из бурового шлама с применением метода определения скорости прорастания семян показало, что пробы бурового шлама вызывают некоторое угнетение семян и могут быть отнесены к III классу опасности, из-за повышенного содержания легкорастворимых солей (Крыса и др., 2013).

В Томском государственном университете была предложена методика установления суммарной токсичности и класса опасности бурового шлама, где фитотоксичность отхода оценивается по биологическому действию водной вытяжки. Применение метода фитотестирования было апробировано на семенах овса. Усредненная проба бурового шлама отбиралась на месторождениях Васюганской группы Томской области. Было установлено вредное действие шлама на рост корней семян овса: учёные наблюдали ингибирование их роста. Эксперимент показал наличие фитoeffекта при воздействии 100%-ного экстракта бурового шлама, поэтому отходу был присвоен IV класс опасности. Согласно экспериментальным данным, исследуемый буровой шлам не оказал неблагоприятного воздействия (Фоминих и др., 2014).

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

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

В работе Сипулинова Р.Б., Карагайчевой Ю.В. (2015) изучена фитотоксичность водных вытяжек бурового шлама. Для определения токсичности использовались водоросли *Scenedesmus quadricauda* и редька *Raphanus sativus*. Острое токсическое действие не было отмечено, образцам шлама присваивается третий класс опасности.

Экспериментальные работы проводились также на буровом шламе, отобранном при береговых буровых работах. Шлам содержал остатки двух различных типов буровых растворов: раствор на основе ильменита и раствор на основе барита. Результаты исследования показали, что химическая токсичность компонентов бурового раствора и шлама считается небольшой, и

наблюдаемый эффект увеличения биотурбации при низких и умеренных дозах, скорее всего, является результатом физических свойств, таких как размер или форма частиц шлама (Schaanning et al, 2008).

Эффекты могут варьироваться в зависимости от дозы и свойств бурового раствора и шлама (Schaanning et al, 1996). Физические факторы, такие как текстура породы (форма частиц бурового шлама), меньшее содержание питательных веществ и токсичность должны учитываться как потенциальные факторы воздействия (Trannum et al, 2010).

Существует ряд исследований по определению токсичности буровых отходов (бурового шлама и растворов) с использованием различных микроорганизмов в качестве тест-объектов, например, личинки тигровой креветки *Penaeus monodon* (Soegianto et al, 2008), бактерии *Bacillus*. В ходе исследования отмечено, что при увеличении концентрации буровых отходов усиливаются темпы их роста, но уменьшается количество бактерий *Bacillus* (Okpokwasili et al, 1995).

Проблема оценки негативного воздействия бурового шлама 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.

Многие исследователи пришли к выводу, что буровые отходы, в частности, шлам, оказывают комплексное негативное воздействие на компоненты природной среды, связанное с их токсичностью (Васильев и др., 2014; Васильев и др., 2012; Пичугин, 2013).

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

В литературе приводится ряд негативных последствий, связанных с воздействием бурового шлама на компоненты природной среды. Так, например, атмосферный воздух загрязняется при испарении легких фракций нефтепродуктов и при выделении пыли с поверхности шламовых амбаров (Пичугин, 2013).

Воздействие бурового шлама на гидросферу обусловлено нарушением температурного режима и изменением физико-химических параметров воды – водородного показателя (pH), солености, электропроводности и окисляемости (Васильев и др., 2014). Загрязнять поверхностные и подземные воды могут тяжелые металлы, различный фракционный состав нефти, низкомолекулярные углеводороды (углеводородные газы), полиароматические углеводороды и органические кислоты, фенолы, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и полимеры. Эти вещества, содержащиеся в буровом шламе, обладают высокой миграционной способностью (Хаустов и др., 2006; Васильев, 2014). При избытке атмосферных осадков и

процессов снеготаяния растворимые соли, содержащиеся в буровом шлеме, переходят в водные растворы с последующей миграцией в водоносные горизонты (Тетельмин и др., 2009). Основной причиной воздействия бурового шлама на поверхностные и подземные воды является неправильное обустройство шламовых амбаров, используемых для сбора буровых отходов. Зачастую нарушена их герметичность или отсутствует гидроизоляция, не выполняется обвалование (Пичугин, 2013). Утечка стоков из шламовых амбаров является наиболее распространенной причиной загрязнения педосферы и гидросферы (Некрасова, 2003). При поступлении бурового шлама в воду увеличивается мутность воды, что в свою очередь нарушает жизнедеятельность молоди рыб, планктонных и бентоносных организмов (Васильев и др., 2014). В случае загрязнения воды нефтепродуктами из бурового шлама происходит угнетение состояния рыб, снижается их выживаемость. Отмечается изменение состава биоценозов, заморы рыбы, гибель нерестилищ (Тетельмин и др., 2009).

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

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

Таким образом, анализ литературных источников по данной теме показывает, что буровой шлам комплексно воздействует на окружающую среду, причём, чаще всего, негативно. Данное воздействие распространяется на почвы, воду, воздух и живущие в данных биоценозах организмы. Он нарушает естественные процессы жизнедеятельности в экосистемах, вмешиваясь в устоявшиеся продукционно-деструктивные процессы. Кроме того, шлам может накапливаться в органах и тканях растений, влиять на выживаемость особей в сторону их уменьшения, вызывать накопление уродств на ранних стадиях развития живых организмов, а также влиять на плодородие почв, загрязнять водоносные горизонты и т.п. Поэтому крайне важно изучать

буровой шлам, его минеральный и химический составы. Оценивать влияние на компоненты природной среды с учетом их размещения и хранения.

ГЛАВА 2: ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ, ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Томская область

При проведении исследования рассматривался буровой шлам нефтяных месторождений Томской области, расположенных в пределах соседних районов – Парабельского и Каргасокского. В исследование были включены месторождения Первомайское, Катыльгинское, Южно-Черемшанское, Лугинецкое, разработку которых осуществляла компания «Томскнефть»; Шингинское, Южно-Шингинское и Кулгинское, разработку которых вела компания ООО «Газпромнефть-Восток». Карта-схема расположения исследуемых нефтяных месторождений Томской области с указанием компании-разработчика представлена на рис. 5.



Рисунок 5 – Карта-схема расположения месторождений Томской области

2.1.1 Природно-климатическая характеристика района исследования

Исследуемая территория расположена на территории Западно-Сибирской низменности, в районе Васюганской равнины. Территория Западно-Сибирской равнины имеет большую протяженность, что обуславливается ярко выраженным изменением климата с севера на юг, прежде всего в соотношении тепла и влаги (Сысо, 2007).

Климат умеренно-континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким сравнительно жарким летом (Гидрогеология СССР..., 1970). Равнинный характер территории и ее открытость с севера и юга приводит к частой смене переноса воздушных масс, а также к интенсивному развитию процессов фронтогенеза и быстрой смене циклонов и антициклонов. Средняя скорость ветра 2,6 м/с. (СП 131.13330.2018). В наиболее холодный период года воздух охлаждается до минус 27 °С, а в теплый период года максимальная температура воздуха достигает 25,2 °С. Абсолютный максимум плюс 37 °С, абсолютный минимум минус 51 °С (СП 131.13330.2018). Преобладают ветра южного и юго-западного направления. В летний период преобладает ветер северных направлений (Рутковская, 1979; СП 131.13330.2018).

Климат является значимым природным фактором, влияющим на элементный состав толщи почвообразующих пород, а также на процесс почвообразования. Избыточное содержание влаги приводит к образованию оглеенных, подзолистых, заболоченных и болотных почв, миграции легкорастворимых солей и продуктов почвообразования, содержащих макро- и микроэлементы, вглубь почвенной толщи (Сысо, 2007).

На исследуемой территории наиболее распространенными являются подзолистые, болотно-подзолистые, болотные верховые, низинные, переходные почвы, в меньшей мере - дерново-глеевые. На территории месторождений болотно-подзолистые почвы встречаются на всех ключевых участках в сочетании с подзолистыми почвами. В основном встречаются подтипы дерново-подзолистых и торфянисто-подзолистых глеевых почв (Славнина и др., 1981).

В целом местность в значительной степени заболочена, и характеризуется наличием крупнейшего в мире Васюганского болота. Междуречья почти сплошь покрыты олиготрофными торфяными болотами, а достаточная дренированность достигается только на террасах и речных долинах. Лесная растительность занимает около 60% площади и сконцентрирована в основном на приречных участках.

Отмечается повышенное содержание карбонатов, В, As, Мо, редкоземельных и других элементов в почвообразующих породах юго-востока Западной Сибири, что во многом связано с особенностями коры выветривания горных областей сноса. Большинство почвообразующих пород Западной Сибири – это полигенетичные субаэральные-субаквальные образования (Сысо, 2007).

2.1.2 Геологическая характеристика района исследования

Рассматриваемая территория расположена в пределах Западно-Сибирской плиты, в одноименной низменности, являющейся одной из крупнейших аккумулятивных равнин земного шара (Западная Сибирь..., 2000; Геология СССР..., 1967). Почти все обнаруженные залежи нефти и газа на юго-востоке Западно-Сибирской плиты, на территории Томской области, связаны с ловушками комбинированного типа, где одновременно со структурным фактором формирования, выступает литологический, тектонический и стратиграфический факторы (Карогодин, 2006).

По большей части, исследуемые месторождения расположены на территории Васюганской равнины. Васюганская равнина относится к денудационно-аккумулятивным поверхностям, возникшим в результате действия неотектонических процессов. Васюганская равнина сложена четвертичными отложениями (Сысо, 2007).

В целом, Западно-Сибирская низменность, выполненная мощной толщей мезозойско-кайнозойских осадков, является эпигерцинской плитой молодой Урало-Сибирской платформы (Западная Сибирь..., 2000).

Геологический разрез территории характеризуется двухъярусным строением. Нижний ярус представлен складчатым фундаментом палеозойского и допалеозойского возраста и осадочными образованиями палеозой-триасового промежуточного комплекса. Верхний ярус образован мезозойско-кайнозойскими отложениями платформенного чехла (Геологическая карта СССР..., 1988). Структурообразование в мезозойско-кайнозойском осадочном чехле обусловлено унаследованными движениями геосинклинально-складчатых, блоковых и рифтовых структурно-формационных зон фундамента. Характерной особенностью геологического строения осадочного чехла и кровли доюрского основания на изучаемой территории является широкое развитие тектонических нарушений. Складчатый фундамент палеозойского и допалеозойского возраста представлен интрузивными и эффузивными карбонатными и терригенными породами. Разрез промежуточного комплекса сложен осадочными породами. Осадочный терригенный комплекс включает отложения юрской, меловой, палеогеновой и четвертичной систем. Суммарная мощность осадочных пород меняется в пределах нефтегазоносных районов и составляет 2500-3000 м (Багаутдинов и др., 1996).

Юрские отложения распространены на большей части территории и обычно залегают в основании платформенного чехла на значительной глубине (до 3-3,5 км) с разрывом на палеозойских и допалеозойских образованиях (Геологическая карта СССР..., 1988). Юрский и нижнемеловой комплексы относятся к стратиграфическому интервалу мезозойских

нефтегазоносных отложений (Карогодин, 2006). Нефтегазоносность территории связана, главным образом, с отложениями платформенного чехла и, в значительно меньшей степени, с кровельной частью палеозойского фундамента.

На территории Томской области выделяют четыре нефтегазоносные области. В пределах этих областей по ряду геологических особенностей выделяются шесть нефтегазоносных районов (Минерально-сырьевые ресурсы Томской области [сайт] URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/141467-mineralno-syreveye-resursy-tomskoy-oblasti/>).

Рассматриваемая территория расположена в пределах Каймысовской и Васюганской нефтегазоносных областях (табл. 1).

Таблица 1 – Нефтегазоносные области Томской области

Нефтегазоносная область (НГО)	Нефтегазоносный район (НГР)	Месторождение	Отложения
Каймысовская	Каймысовский	Первомайское Катыльгинское	Верхнеюрские отложения (васюганская свита)
	Нюрольский	Кулгинское	Верхнеюрские отложения (васюганская свита)
Васюганская	Средне-Васюганский	Южно-Черемшанское	Нижнемеловые отложения
	Пудинский	Шингинское, Южно-Шингинское	Верхнеюрские отложения (васюганская свита)
		Лугинецкое	Верхне-среднеюрские отложения

Разрабатываемые залежи углеродов на территории исследований, в основном, принадлежат верхнеюрскому нефтегазоносному комплексу (НГК) (Чупин, 2016).

В составе верхнеюрских отложений выделяются баженовская, георгиевская и васюганская свиты. Продуктивным горизонтом является Ю1 в васюганской свите и потенциально нефтеносная баженовская свита (Ю0). Баженовская свита является также нефтематеринской и служит региональной покрывкой для верхнеюрского нефтегазового комплекса. Породы георгиевской свиты (Ю10), залегающие между васюганской и баженоской свитами, обладают хорошими изоляционными свойствами для флюидов (Чупин, 2016) (рис. 6).

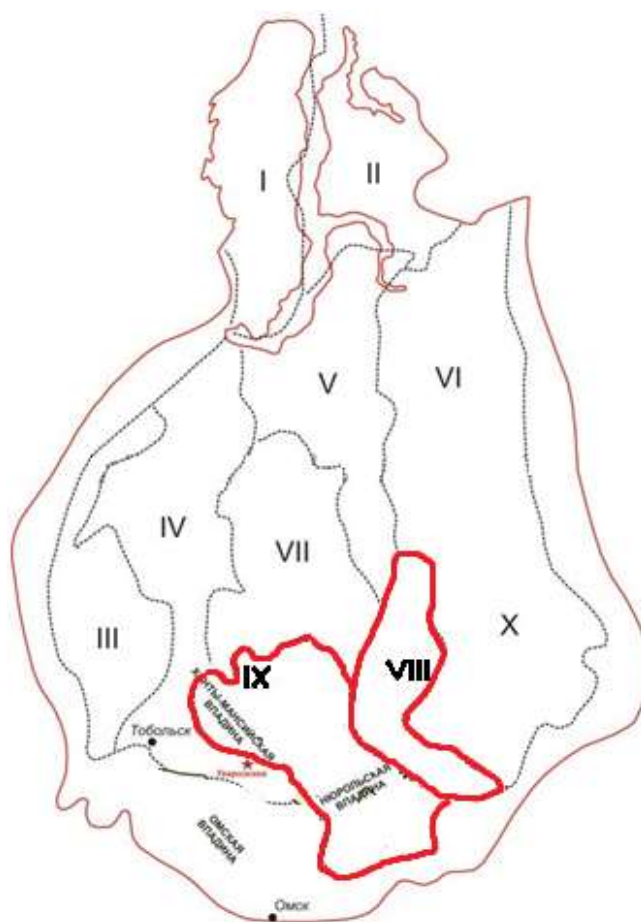


Рисунок 6 – Районирование Западно-Сибирской нефтегазоносной площади: VIII – Васюганская и IX – Каймысовская (Вокруг газа [сайт] URL: <http://www.trubagaz.ru/gkm/tevrizskoe-gazokondensatnoe-mestorozhdenie/>)

Литологический состав Васюганской свиты включает две подсвиты: 1) нижняя (глинистый состав); 2) верхняя (состоит из песчаников и алевролитов с прослоями угля). В пределах Верхневасюганской подсвиты находятся основные зоны нефтедобычи и поисков месторождений углеводородов региона, а также подсвита включает группу нефтепродуктивных песчаных пластов, которой присвоен индекс Ю1.

Васюганская свита относится к верхней юре (терригенно-глауконитовая формация), складывается из аргиллитов и аргиллотоподобной глины, иногда встречаются битуминозные, песчаники, алевролиты. Залегают на отложениях тюменской свиты и перекрываются георгиевской, возраст – келловей-оксфорд (Стратиграфический словарь..., 1978). Верхнеюрские отложения датируются средним келловеем-оксфордом и по литологической характеристике подразделяются на верхнюю (глины и алевролиты с прослоями и пластами песчаников) и нижнюю подсвиты (глины и аргиллиты). Мощность свиты достигает 100 м (Даненберг и др., 2006).

Георгиевская свита располагается в центральном и южном районах Западно-Сибирской низменности. Свита относится к системе верхней юры. Георгиевская свита имеет глинистый состав и непостоянную мощность на площади, сложена аргиллитами, алевролитами с включениями редких зерен глауконита. Мощность свиты невыдержанная и колеблется от 0 до 20 м. В направлении крупных положительных структур мощность свиты значительно сокращается, а в отдельных случаях равна нулю (Стратиграфический словарь..., 1978).

Район исследований интересен наличием в геологическом строении баженовской свиты. Баженовская свита распространена на большей части территории Западно-Сибирской нефтегазовой площади. Свита – осадочная геологическая формация в разрезе Западно-Сибирской плиты, является одной из важнейших региональных нефтепоисковых объектов (Стратиграфический словарь..., 1978).

В составе баженовской свиты отмечается широкое распространение битуминозных аргиллитов, которые являются преобладающим типом пород, органогенных и хемогенных образований: известняков, органогенных силицитов и пиритовых конкреций. Битуминозные, преимущественно глинистые, отложения баженовской свиты занимают внутреннюю депрессионную зону Западно-Сибирской плиты. Кровля отложений баженовской свиты вскрыта на глубинах 2100-3400 м. Мощность отложений баженовской свиты на большей части площади ее распространения стабильна и изменяется от 15 до 30 м (Филина и др., 1984).

Породы баженовской свиты отмечаются сложным минеральным составом, где породообразующими компонентами являются глинистые минералы, кремнистые образования, карбонатные минералы и твердое органическое вещество (Рихванов и др., 2015). Глинистые минералы представлены гидрослюдой, в меньших количествах – каолинитом и хлоритом (Филина и др., 1984). Характерным является наличие пирита, содержание которого составляет в среднем 6-8%, но может достигать 15-30% (Рихванов и др., 2015). Отложения баженовской свиты значительно обогащены U, Zr, Ba, As, Co, Fe и редкоземельными элементами. Занин Ю.Н. охарактеризовал полный спектр редкоземельных элементов в отложениях баженовской свиты. Битумные породы в её составе в среднем содержат 41,2 г/т урана (Рихванов и др., 2015).

2.1.2.1 Характеристика и особенности геологического строения нефтяных месторождений Томской области

Шингинское нефтяное месторождение расположено в Каргасокском и Парабельском районах Томской области, в 450 км к северо-западу от города Томска. Площадь месторождения составляет 87,7 км². Участок располагается на границе Обь-Васюганской гряды и Колтогорско-Нюрольского желоба. Нефтегазоносность Шингинского месторождения приурочена к

терригенным верхнеюрским отложениям васюганской свиты пласта Ю1¹. Всего выявлено две залежи.

Шингинское месторождение широтно пересекает р. Екыльчак – приток судоходной для маломерных судов реки Чижалка. Ландшафт изучаемой территории представлен смешанными лесами и частично болотами. Рельеф слабо расчлененный, равнинный.

Шингинское нефтяное месторождение приурочено к одноименной лицензионной площади, которое является самой крупной структурой IV порядка в пределах Шингинской мезоседловины. Шингинская структура IV порядка вытянута в северо-восточном направлении и осложнена несколькими крупными и мелкими структурными мысами извилистой формы, отделена узким извилистым прогибом с минимальной отметкой на изучаемой территории – 2920 м и шириной порядка 3 км.

Терригенные отложения различного литолого-фациального состава мезозойско-кайнозойского платформенного чехла с разной степени метаморфизованными и дислоцированными образованиями доюрского (палеозойского) фундамента слагают геологический разрез Шингинского месторождения.

Мезозойские отложения представлены породами юрской и меловой систем. Юрские отложения прослеживаются повсеместно, вскрыты всеми скважинами. Залегают несогласно на палеозойских отложениях и имеют общую мощность от 237 до 267 м. В составе отложений юрской системы выделяются нижний, средний и верхний отделы. В пределах Шингинского месторождения нижнеюрские отложения отсутствуют. Представлены отложения юрской системы средним и верхним отделами, в составе которых выделены тюменская, васюганская, георгиевская и баженовская свиты.

Тюменская свита в целом представляет собой неоднородную песчано-алевритоглинистую толщу с прослоями углистых аргиллитов и углей. Общая мощность отложений тюменской свиты в проектируемом районе изменяется от 166 м до 183 м.

Продолжают юрский разрез породы васюганской свиты прибрежно-морского и континентального генезиса. Васюганская свита, сложенная песчаниками и алевролитами с прослоями аргиллитов и углей, является основным регионально продуктивным горизонтом Ю1, в составе которого выделяется песчаные пласты Ю1¹, Ю1², Ю1^М, Ю1³ и Ю1⁴. Первые четыре пласта отделяются друг от друга угольными слоями. Общая мощность васюганской свиты колеблется от 52 до 76 м.

Георгиевская свита в пределах месторождения очень маломощная (до 3 м), а в разрезе отдельных скважин полностью отсутствует. Представлена аргиллитами черного цвета с редкими линзами песчаников (горизонт Ю1⁰) морского генезиса.

Глубоководные отложения баженовской свиты представлены битуминозными аргиллитами окремненными, с прослоями известковистых пород. Обогащенность органическим веществом позволяет рассматривать породы свиты, как нефтегазоматеринские отложения. Битуминозность отложений постепенно уменьшается вверх по разрезу и баженовская свита согласно перекрывается аргиллитами куломзинской свиты неокома. Толщина свиты 10-13,5 м.

Отложения меловой системы представлены всеми отделами и ярусами. Система характеризуется морскими (куломзинская, тарская, кузнецовская, ипатовская, славгородская, ганькинская свиты) и континентальными (киялинская, покурская свиты) отложениями.

В составе палеогеновой системы в пределах изучаемой территории выделяются две толщи – нижняя глинистая (талицкая, люлинворская свиты) и верхняя песчаная (чеганская свита, некрасовская и бурлинская серии).

Четвертичная система в рассматриваемом районе со стратиграфическим несогласием залегает на палеогеновых отложениях. Представлена она сложным чередованием глин, суглинков, супесей, песков и гравия с линзами торфяников. Мощность отложений достигает 40 м.

Южно-Шингинское нефтяное месторождение в административном отношении расположено в Парабельском районе Томской области. В географическом плане – это междуречье рек Большой Екыльчак и ее правого притока Квензер.

Месторождение относится к Васюганской НГО Пудинского НГР. Верхнеюрский нефтегазоносный комплекс является основным нефтегазоперспективным комплексом данного района. Наиболее продуктивной является надугольная толща васюганской свиты, нефтегазоносность которой связана с нефтегенерационным потенциалом баженовской свиты. Региональной покрывкой для верхнеюрского НГК служат аргиллиты георгиевской, баженовской и низов куломзинской свит.

Промышленная нефтегазоносность на Южно-Шингинском месторождении установлена в пласте Ю₁¹ скважиной ЗПО, где в открытом стволе испытан интервал 2674,6 – 2701 м, при средней депрессии на пласт 152,9 атм. за 80 минут открытого периода получено 1,8 м³ сильно газированной нефти. Пласт охарактеризован керном в интервале глубин 2680,03 – 2697,80 м. Литологически породы представлены песчаниками светло-серыми, средне-мелкозернистыми и мелкозернистыми, алевротитыми и алевротовыми, с глинистым цементом, а также алевролитами светло-серыми, мелко-крупнозернистыми, песчаными. Пласт имеет площадное распространение, но при этом, как коллектор, развит неодинаково. Залежь по типу пластовая, сводовая, тектонически экранированная. Размеры залежи составляют 1,7×2,3 км, высота – 34 м.

Образования палеозойского фундамента мощностью более 2000 метров составили геологический разрез исследуемой территории. Породы относятся к осадочному терригенному комплексу.

Отложения юрской системы представлены тюменской, васюганской, георгиевской и баженовской свитой. Отложения тюменской свиты сложены переслаивающимися пластами песчаников, алевролитов, аргиллитов и углей. По особенностям литологического состава свита разделяется на три подсвиты. Непосредственно на участке развиты отложения средней и верхней подсвит.

Васюганская свита сложена переслаиванием аргиллитов, алевролитов, песчаников, углей и углистых аргиллитов. Делится на две подсвиты, существенно различающиеся составом слагающих их пород. Нижневасюганская подсвита представлена глинами и аргиллитами тёмно-серыми до чёрных, часто с буроватым или зеленоватым оттенками, с редкими прослоями алевролитов. Верхневасюганская подсвита сложена песчаниками и алевролитами, переслаивающимися с аргиллитами редкими прослойками и прослоями углей и углистых аргиллитов. Подсвита включает продуктивный горизонт Ю₁¹.

Строение горизонта Ю₁ в скважинах Южно-Шингинского месторождения представлено расчленением угольными пластами на три части (толщи): нижняя («подугольная») - образована пластом Ю₁³⁻⁴, средняя («межугольная») – пластом Ю₁^м, и верхняя («надугольная») – пластами Ю₁¹ и Ю₁². Мощность васюганской свиты в скважине ЗПО 72 м.

Георгиевская свита литологически представлена глинами аргиллитоподобными, тёмно-серыми, иногда чёрными, реже алевролитистыми, неравномерно глауконитовыми, от единичных зёрен (или полного отсутствия) до прослоев глауконита. Толщина свиты в скважине ЗПО всего 0,6 м.

Отложения баженовской свиты, в основном, представлены аргиллитами битуминозными чёрными с коричневатым оттенком, массивными, плитчатыми, листоватыми, с прослоями радиоляритов, глинистых известняков, остатками морских фоссилий. По литологическому описанию образцы керна баженовской свиты из скважины ЗПО представлены глинисто-карбонатными породами, плотными, крепкими, а также силицитом пиритом-керогеновым, слабокарбонатным, слабослюдистым, битуминозным, с ихтиодетритом. Мощность свиты в скважине ЗПО 18 м.

Меловые отложения согласно перекрывают юрский комплекс пород. В скважине ЗПО, как и на соседней Шингинской площади, разрез представлен нижним и верхним отделами в объеме куломзинской (241 м), тарской (56 м), киялинской (614 м), покурской (868 м), кузнецовской (24 м), ипатовской (106 м), славгородской (73 м) и ганькинской (194 м) свит.

Кайнозойские отложения представлены всеми тремя системами – палеогеновой, неогеновой и четвертичной. На территории исследований палеогеновая система представлена морскими отложениями палеоцена, эоцена и континентальными – олигоцена. В разрезе скважине ЗПО выделены талицкая (44 м), люлинворская (88 м), тавдинская (135 м), атлымская (56 м) свиты. Для четвертичных отложений характерны аллювиальные и озерно-аллювиальные пески, супеси и суглинки (Технологическая схема..., 2016).

Первомайское нефтяное месторождение является одним из самых значительных, которое было открыто на территории Томской области. Оно относится к Каймысовской НГО, Каймысовскому НГР, возраст продуктивных отложений – колловей-оксфорд, индекс пластов Ю₁¹ (Максимов, 1987).

Первомайское нефтяное месторождение было открыто в 1969 году благодаря скважине номер 260, которая была сделана в верхнеюрских отложениях. Активная стадия разработок данного месторождения была запущена в 1981 году. Залежь пласта Ю₁ вскрыта на глубине от 2340 до 2460 м, и она приурочена к отложениям васюганской свиты. Водонефтяной контакт на месторождении проводится на глубине 2420 м.

Пласт состоит из песчаников с прослоями алевролитов и глин. Залежь нефти на Первомайском месторождении сводовая, пластовая, литологически экранированная. Высота залежи составляет порядка 74 метров. Нефть на данном месторождении метановая и она имеет плотность 0,83 г/см³, малосернистая (Книга нефти [сайт] URL: Режим доступа: <http://kniganefti.ru/field.asp?field=291>).

В геолого-тектоническом отношении территория Первомайского месторождения приурочена к Каймысовскому своду, которое является одним из крупных положительных структур юго-восточной части Западно-Сибирской плиты.

Отложения палеозойского складчатого фундамента с несогласием отложений различного литолого-фациального состава мезозойско-кайнозойского платформенного чехла принимают основное участие в геологическом строении Первомайского месторождения.

В тектоническом плане нефтегазоконденсатное месторождение приурочено к куполовидному поднятию с одноименным названием. Данное поднятие находится на севере Пудинского мегавала. На западе поднятие граничит с Нюрольской впадиной, а на востоке с Усть-Тымской впадиной. На северо-западе поднятие граничит с зоной сочленения Пудинского и Средневасюганского мегавалов. С самого начала разработки данного нефтяного месторождения, здесь было добыто около 37,24 млн т нефти (Книга нефти [сайт] URL: Режим доступа: <http://kniganefti.ru/field.asp?field=291>).

Первомайское месторождение согласно «Классификации запасов нефти и горючих газов» отнесено 1 группе. Запасы категории В выделены в 2-х участках: северном и южном. К

категории С1 отнесены запасы оставшейся части залежи в пределах площади, ограниченной границей категории В и контуром ВНК – 2423-2440 м. Район работ исследован региональными детальными геофизическими исследованиями, а также глубоким бурением. Изучено геологическое строение района. Установлена промышленная нефтеносность пласта васюганской свиты Ю1⁰. Общая мощность пласта Ю1⁰ изменяется от 8,2 до 15,0 м, нефтенасыщенная мощность изменяется от 1,4 до 12,4 м. В северо-западном направлении отмечается закономерное уменьшение мощности пласта до полного выклинивания.

Геологическое и динамическое моделирование, осуществляемое Компанией ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК», послужила основой для оценки балансовых запасов продуктивных пластов Первомайского месторождения. Сводные данные по геологическому разрезу приведены в таблице 2 (Геологический отчет..., 2003).

Таблица 2 – Сводные данные по геологическим разрезам по линиям скважин нефтяного месторождения Первомайское

Номер скважины	Глубина скважины	Свита	Глубина пересечения скважины с нефтенасыщенным горизонтом, м.
Геологический разрез по линии скважин №№2292, 255, 55, 174, 258, 275, 462, 263, 260, 65Р			
2292	2657	Куломзинская	2417,6-2421,1
255	2725	Куломзинская	2384,3-2392,3
55	2560	Куломзинская	2345,9-2354,7
174	2880	Куломзинская	2379,4-2385,4
258	2701	Куломзинская	2405,6-2416,6
275	2500	Куломзинская	2363,3-2381,3
462	2568	Куломзинская	2330,0-2343,0
262	2732	Куломзинская	2361,6-2376,3
263	2804	Куломзинская	2344,5-2355,5
260	2676	Куломзинская	2344,5-2355,5
65Р	2637	Куломзинская	2415,1-2421,1
Геологический разрез по линии скважин №№ 2292, 2291Р, 2285, 2289Р, 2288Р, 241Р			
2292	2657	Куломзинская	2417,6-2421,1
2291Р	2668	Куломзинская	2402,7-2404,7
2285Р	2981	Куломзинская	2392,2-2397,2
2289Р	2650	Баженовская	2439,8-2446,5
2288Р	2740	Баженовская – Васюганская	2447,7-2456,7
241Р	2730	Баженовская – Васюганская	2441,7-2459,7

Геологический разрез по линии скважин №№ 2289Р, 270, 221, 232, 901, 257			
2289Р	2650	Баженовская	2439,5-2446,5
270	2627	Баженовская	2439,2-2440,2
221	2626	Куломзинская	2392,6-2403,5
232	2704	Куломзинская	2381,1-2391,1
901	2780	Куломзинская	2388,8-2399,6
257	2740	Куломзинская	2390,2-2413,2
Геологический разрез по линии скважин №№ 265, 611, 612, 625, 260, 1126, 681, 269			
265	2649	Баженовская	2442,9-2448,9
612	2780	Баженовская	2420,0-2430,0
625	2800	Куломзинская	2361,6-2372,6
260	2676	Куломзинская	2344,5-2355,5
1126	2680	Куломзинская	2347,0-2353,0
681	2871	Куломзинская	2404,5-2415,4
269	2804	Баженовская	2420,7-2425,7

Примечание: фондовые материалы

Согласно данным таблицы по месторождению Первомайское, глубина пересечения скважины с нефтенасыщенным горизонтом варьируется от 2330 до 2460 м. Нефтенасыщенные горизонты залегают в куломзинской, баженовской и васюганской свитах.

Катыльгинское нефтяное месторождение открыла Западная нефтегазоразведочная экспедиция, проводившая поисково-разведочные работы в середине 80-х гг. Месторождение обнаружили в районе р. Катыльга, в зоне пересечения границ Первомайского и Западно-Катыльгинского месторождений. В 1989 г. результаты разведки были сданы в Государственную комиссию по запасам (ГКЗ), но длительное время месторождение было законсервировано и работы на нем не проводились. В настоящее время разработкой Катыльгинского месторождения занимается дочерняя компания «Томскнефть» (Катыльгинское месторождение [сайт] URL: Режим доступа: http://mklogistic.ru/katilginskoe_mestorojdenie).

Катыльгинское месторождение расположено в центральной части Каймысовкого свода, Каймысовской НГО, Каймысовскому НГР. Относится к юрскому продуктивному горизонту Ю1 (Даненберг и др., 2006).

Западно-Катыльгинское и Катыльгинское месторождения отделяются между собой неглубоким пережимом, в зоне которого горизонт Ю1 испытывает резкую литологическую изменчивость со значительным сокращением эффективной мощности.

На Катыльгинском месторождении пробурены и испытаны скважины № 94 и 95. При бурении скважины № 95 признаки нефтеносности не были установлены. При бурении скважины № 94 из горизонта Ю1 васюганской свиты подняты нефтенасыщенные песчаники. По

результатам бурения и испытания установлено, что залежь нефти горизонта Ю1 приурочена к двум верхним песчаным пластам Ю1⁰ и Ю1¹.

Компанией ОАО «ТомскНИПИнефть» был проведен пересчет запасов продуктивных пластов Катыльгинской группы месторождений на основе геологического и динамического моделирования. Сводные данные по рассмотренным геологическим разрезам приведены в таблице 3 (Геологический отчет..., 2014).

Таблица 3 – Сводные данные по геологическим разрезам по линиям скважин нефтяного Катыльгинского месторождения

Номер скважины	Глубина скважины	Свита	Глубина пересечения скважины с нефтенасыщенным горизонтом, м.
Геологический разрез по линии I-I скважины №№ 104Р, 291, 91Р, 270, 271, 92Р			
104Р	2700	Васюганская	2442,5-2448,5; 2452,5-2456,5
291	2692	Баженовская	2373,0-2377,0; 2387,6-2391,5
91Р	2667	Баженовская	2360,7-2372,7; 2377,7-2391,7
270	2640	Баженовская	2381,6-2387,0
271	2550	Баженовская	2352,9-2358,0
92Р	2703	Баженовская	2374,7-2386,7
Геологический разрез по линии III-III скважины №№ 201, 206, 416, 230, 253, 496, 521, 320, 333, 548, 362, 367			
201	2630	Баженовская	2389,9-2398,9
206	2640	Баженовская	2355,8-2361,4
416	2642	Баженовская	2380,0-2384,0 2397,1-2401,5
230	2588	Баженовская	2363,8-2367,3 2375,0-2380,0
253	2585	Баженовская	2328,4-2332,9
496	2585	Баженовская	2375,0-2383,0; 2393,6-2396,6
521	2640	Баженовская	2364,3-2369,5; 2379,8-2382,2
320	3683	Баженовская	2360,7-2365,7
333	2546	Баженовская	2372,9-2377,3
548	2634	Баженовская	2359,3-2366,5; 2372,8-2376,8
362	2628	Баженовская	2428,3-2434,4; 2444,0-2447,0
367	2775	Баженовская	2403,1-2409,5

Примечание: фондовые материалы

Согласно данным таблицы по Катыльгинскому месторождению, глубина пересечения скважины с нефтенасыщенным горизонтом варьируется от 2328 до 2457 м. Нефтенасыщенные горизонты залегают в баженовской и васюганской свитах.

Южно-Черемшанское нефтяное месторождение располагается в пределах Черемшанской мегаседловины, которая разделяет Каймысовский свод, Средневасюганский мегавал, Нюрольскую мегавпадину и Колтогорский мегапрогиб.

Нефтеосодержащие неокомские пласты делают Южно-Черемшанское месторождение уникальным и значимым. Залежи нефти выявлены в отложениях нижнего мела (Бобров и др., 2011).

В целом, нефтегазоносные горизонты неокомского комплекса являются перспективными и значимыми. Горизонты простираются в центральной и северной части Западной Сибири и насчитываются до нескольких десятков (Конторович, 2002).

Компанией ОАО «ТомскНИПИнефть» был проведен пересчет запасов продуктивных пластов Южно-Черемшанского месторождения на основе геологического и динамического моделирования. Сводные данные по рассмотренным геологическим разрезам приведены в таблице 4 (Геологический отчет..., 2013).

Таблица 4 – Сводные данные по геологическим разрезам по линиям скважин нефтяного Южно-Черемшанского месторождения

Номер скважины	Глубина скважины	Свита	Глубина пересечения скважины с нефтенасыщенным горизонтом, м.
Геологический разрез пластов группы Ю по линии V-V скважины №№ 902, 345Р, 908, 2Р, 348Р			
902	2695	Васюганская	2580,0-2593,0
345Р	2665	Васюганская	2582,7-2593,0
908	2670	Васюганская	2591,6-2593,0
2Р	2730	Васюганская	2583,8-2595,0
348Р	2800	Васюганская	2568,3-2595,0
Геологический разрез пластов группы Ю по линии VI- VI скважины №№ 2Р, 348П, 335П			
2Р	2730	Васюганская	2683,8-2590,8
348П	3093,4	Баженовская (+георг.)	2568,5-2573,0
335П	2770	Баженовская (+георг.)	2568,0-2572,0

Примечание: фондовые материалы

Согласно данным таблицы по Южно-Черемшанскому месторождению, глубина пересечения скважины с нефтенасыщенным горизонтом варьируется от 2580 до 2595 м. Нефтенасыщенные горизонты залегают в баженовской и васюганской свитах.

Также были рассмотрены геологические разрезы пластов группы А по линии по линии I-I скважины №№ 492, 472, 542, 642, 226Р и II-II скважины №№ 105Р, 452, 534. Глубина пересечения скважины с нефтенасыщенным горизонтом варьируется от 1714 до 1832 м.

Лугинецкое нефтегазоконденсатное месторождение начали разрабатывать в 1982 г., тогда же здесь было добыто порядка 9,77 млн т нефти. На начальном этапе исследований этого месторождения считали, что горизонты связаны между собой гидродинамически. Но после бурения было показано, что уровни ГНК и ВНК являются непостоянными для всей площади.

Лугинецкое нефтегазоконденсатное месторождение представляет собой изометрическую антиклинальную раскладку размерами 30х24 км, амплитудой 160 м. Продуктивные горизонты Ю1 и Ю2 залегают на глубинах 2270 – 2340 м. Залежи пластовые с литологическим ограничением. Резервуар выражен переслаиванием мелкозернистых песчаников и аргиллитов. Покрышкой служат глинистые породы мощностью до 200 км. Залежи газоконденсатные с нефтяной оторочкой.

Территория Лугинецкого нефтегазодобывающего района уникальна по ряду особенностей: стратиграфический диапазон нефтегазоносности охватывает интервал от девона до валанжина; значительная концентрация ресурсов в палеозое (Технический отчет..., 2010).

Лугинецкое месторождение в тектоническом плане приурочено к новому нефтеносному району – Пудинскому своду. Нефтегазовые залежи Лугинецкого месторождения относятся к песчаным пластам верхней и средней юры. Залежи относятся к пластовому и пластово-массивному типу. Продуктивными являются отложения юры (васюганская и тюменская свиты). Газовая залежь подстилается нефтяной оторочкой с промышленными запасами. Песчаные пласты меловых отложений по данным промысловой геофизики и, частично, испытаниям – водоносные. Запасы свободного газа подсчитаны по двум промышленным категориям В и С1. По этим же категориям подсчитаны и запасы конденсата (Геологический отчет..., 2005).

Компания ОАО «Томскнефть» провела пересчет запасов нефти, газа, конденсата, сопутствующих компонентов Южно-Черемшанского месторождения на основе геологического и динамического моделирования. Сводные данные по рассмотренным геологическим разрезам приведены в таблице 5 (Геологический отчет..., 2005).

Таблица 5 – Сводные данные по геологическим разрезам по линиям скважин нефтегазоконденсатного Лугинецкого месторождения

Номер скважины	Глубина скважины	Свита	Глубина пересечения скважины с нефтенасыщенным горизонтом, м.
Геологический разрез по линии II-II скважины №№ 897, 887, 864, 776, 706, 151, 152Р			
897	>2640	Васюганская	2610,0-2614,0
887	>2460	Васюганская	2436,0-2442,0
864	>2480	Васюганская	2445,0-2462,0

776	>2560	Васюганская	2532,0-2543,0
706	>2440	Васюганская	2405,0-2415,0
151	>2390	Васюганская	2355,0-2365,0
152Р	>2370	Васюганская	2329,0-2335,0
720	>2580	Васюганская	2530,0-2539,0
1162	>2650	Васюганская	2601,0-2615,0
683	>2580	Васюганская	2532,0-2551,0
Геологический разрез по линии I-I скважины № 159Р			
701	>2640	Васюганская	2605,4-2618,0
1094	>2500	Васюганская	2460,0-2465,0; 2468,0-2471,0
159Р	>2370	Васюганская	2328,0-2333,0; 2337,0-2339,0

Примечание: фондовые материалы

Согласно данным таблицы, в Лугинецком месторождении глубина пересечения скважины с нефтенасыщенным горизонтом варьируется от 2329 до 2618 м. Нефтенасыщенные горизонты залегают в васюганской свите.

Кулгинское нефтегазоконденсатное месторождение находится в Парабельском районе Томской области. В геоморфологическом отношении территория месторождения находится на Васюганском структурноденудационном плато.

Кулгинское нефтегазоконденсатное месторождение входит в состав Нижне-Табаганского эталона среднеюрского НГК. В тектоническом плане Нижне-Табаганский эталон расположен на Западно-Пудинской структурной ступени, осложняющую юго-восточную часть Нюрольской мегавпадины.

Кулгинское месторождение в тектоническом плане приурочено к одноименному локальному поднятию, выявленному и подготовленному к бурению сейсморазведочными работами МОГТ в 1986 г. На площади пробурено 4 скважины, и только в скважине 140 при испытании выявлена нефтяная залежь, в интервале 2820 – 2836 м получен приток нефти 7,4 м³/сут. (пласт Ю⁶), и в интервале 2752 – 2784 м дебит нефти составил 5,5 м³/сут. (пласт Ю³). Залежь обладает хорошей производительностью, нефтенасыщенная толщина на месторождении не превышает 1 м (Зайцева, 2017).

2.1.3 Геоэкологическая характеристика района исследования

Исследуемые объекты расположены на территории Томской области с севера на юг. Томская область является индустриальным регионом с высоким уровнем промышленного, технологического, нефтегазодобывающего, нефтехимического, научного и культурного

развития. В регионе основными отраслями народного хозяйства являются нефтегазодобыча и транспортировка нефти и газа, а также топливно-энергетическая, нефтехимическая, химическая, лесная, машино- и приборостроительная промышленности, сельское хозяйство, имеются предприятия ядерно-топливного цикла.

Исследуемая территория расположена в пределах Парабельского и Каргасокского районов. В Каргасокском районе преобладают нефтегазовая, лесная, рыбоперерабатывающая промышленность. В Парабельском районе, кроме вышеназванных, также имеет место заготовка пушнины.

Томская область обладает большими запасами природных ресурсов. Минерально-сырьевая база Томской области представлена горючими, металлическими и неметаллическими полезными ископаемыми. Утвержденные запасы нефти составляют 633,8 млн. т, газа – 333,1 млрд. м³. В недрах области сосредоточены свыше 57 % ресурсов железа РФ, 18 % циркония, 9 % титана, 6 % алюминия, 5 % бурого угля, 4 % цинка. В 2018 г. добыча углеводородного сырья в целом составила 14,205 млн т условных углеводородов. При этом основными нефтегазодобывающими компаниями являются: АО «Томскнефть», ОАО «Томскгазпром», ООО «Газпромнефть-Восток». К полезным ископаемым Парабельского района относится нефть, газ, торф, кирпично-керамзитовые глины. В Каргасокском районе распространены следующие виды полезных ископаемых: нефть, кирпичные глины, пески, бурый уголь, железная, руда, торф.

При всём богатстве природных ресурсов деятельность человека приносит значительный урон территории области. Согласно открытым данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Томской области, выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников за 2018 год в целом по области составили 238,06 тыс. т. Наибольшее количество приходится на Каргасокский район, где выброс загрязняющих веществ составил 82,913 тыс. т и Парабельский район – 73,686 тыс. т. Далее по выбросам идет г. Томск – 26,852 тыс. т и Александровский район – 20,327 тыс. т. Таким образом, наибольшая экологическая нагрузка приходится на те районы, где сосредоточены нефтегазодобывающие предприятия.

В разрезе отраслей производства основной вклад в загрязнение атмосферы приходится на выбросы предприятий топливно-энергетического комплекса:

- добыча сырой нефти и нефтяного газа – 66,5 %;
- производство электроэнергии – 5,35 %;
- производство пара и горячей воды – 5 %;
- транспортирование по трубопроводам нефти и газа – 3,83 %.

В 2018 г. заметных изменений в уровнях радиоактивного загрязнения приземного слоя атмосферы в Томской области по сравнению с прошлыми периодами не обнаружено. Также не обнаружено заметных изменений в уровнях радиоактивного загрязнения атмосферных выпадений. В целом, радиационная обстановка на территории области в 2018 г. по сравнению с прошлыми годами постепенно улучшалась в результате естественных процессов самоочищения природной среды от радиоактивного загрязнения (Государственный доклад по Томской области..., 2018).

Исходя из сведений о качестве поверхностных вод на территории Томской области за 2018 год, можно увидеть, что воды относятся к категории «очень загрязненные» и «грязные» (Государственный доклад по Томской области..., 2018). Исследование проб воды из водоемов Томской области на содержание радиоактивных веществ по показателям суммарной альфа-бета активности показали отсутствие превышений (Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического..., 2018).

По данным лабораторного контроля санитарно-эпидемиологического состояния почв в 2018 г. все пробы, исследованные по санитарно-химическим, паразитологическим показателям и показателям радиационной безопасности, соответствовали установленным нормативам. Доля проб почвы, не соответствующих гигиенических нормативам по микробиологическим показателям, составила 5,2 %. Средние значения плотности загрязнения почвы техногенными радионуклидами не превышают фоновые значения радиоактивного загрязнения.

По результатам оценки уровня химического загрязнения почв в мониторинговых точках на основе суммарного показателя загрязнения Z_c установлена степень опасности загрязнения почв комплексом металлов (Hg, As, Zn, Cd, Pb, Cu, Ni) (Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического..., 2018). Исследование почв в районе Лугинецкого месторождения проводил Непотребный А.И. (2008), оценивалось содержание тяжелых металлов. Результаты показали, что отмечается заметное накопление Pb, Zn в органогенных и Ni, Cr, Cu, V в иллювиальных горизонтах, т.е. происходит распределение по профилю. Отмечается, что высокая концентрация металлов на раннем этапе эксплуатации месторождения может быть связана с атмосферным загрязнением в результате сжигания попутного газа.

2.2 Иркутская область

Иркутская область послужила сравнительной территорией для исследования бурового шлама со шламовых амбаров нефтяных месторождений. Объектом исследования были шламовые амбары Ярактинского и Марковского месторождений. Схема расположения исследуемых нефтяных месторождений в Иркутской области представлена на рис. 7.



Рисунок 7 – Схема расположения месторождений

2.2.1 Природно-климатическая характеристика района исследования

Климат Иркутской области в пределах Ярактинского и Марковского месторождений резко континентальный с холодной продолжительной зимой и коротким относительно жарким летом. Для территории характерны резкие изменения погоды, резкие колебания температуры и быстрые переходы от тепла к холоду. В холодный период года на территории господствует мощный сибирский антициклон.

Северо-Атлантические воздушные массы обычно приносят циклоническую погоду, сопровождающуюся сильными ветрами и продолжительными метелями. Постепенное охлаждение начинается уже в августе, но наиболее резкое падение среднемесячных значений температуры воздуха происходит от октября к ноябрю. Наиболее холодным месяцем года является январь со среднемесячной температурой воздуха минус 30,1 °С на м/ст Марково. В отдельные дни температура воздуха может понижаться до минус 55 °С. К концу зимы происходит постепенное повышение значений среднемесячной температуры. Наиболее теплым месяцем года является июль со среднемесячной температурой воздуха 18,0 °С на м/ст Марково. Максимальная температура воздуха может повышаться в отдельные годы до плюс 37 °С на м/ст Марково.

Рассматриваемая территория относится к зоне достаточного и избыточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков, выпадающих на рассматриваемой территории, составляет 427 мм. Повторяемость направления ветра характеризуется сезонной периодичностью. В зимний период, как и летом, преобладают ветры юго-западного направления.

Основными особенностями гидрологического режима рек является их питание за счет атмосферных осадков и таянья сезонной и многолетней мерзлоты, относительная многоводность стока в различное время года.

В рельефе района преобладают равнинные морфоструктуры, выделяются две: Приленское плато и Предбайкальская впадина. На юго-востоке района расположена горная местность.

Территория исследований находится в южно-таежном геоботаническом комплексе растительных сообществ. Основным типом древесной растительности являются темнохвойные и светлохвойные леса. Растительный покров также представлен сосновыми, березовыми, лиственничными и осиновыми лесами.

Почвы исследуемой территории представлены разновидностями дерново-карбонатного и лугово-болотного типов почв. Дерново-подзолистые почвы формируются под пологом сосновых, лиственнично-сосновых и сосново-лиственничных лесов с разнотравным покровом на плоских водораздельных пространствах и верхних склонов. Развивающаяся под лесным пологом травяная растительность приводит к формированию в профиле подзолистой почвы дернового горизонта. Почвы бедны питательными веществами, обладают плохими водоудерживающими свойствами, особенно легкосуглинистые и супесчаные разновидности. Для почв характерна малая мощность гумусового горизонта и невысокие запасы гумуса, обедненность поверхностных горизонтов основными элементами питания.

В речных долинах развиты преимущественно мерзлотно-болотные и мерзлотно-луговые почвы. Заболоченность имеет место в долинах мелких рек и местами на водораздельных

пространствах и относится к смешанному (подземное и атмосферное) и верховому типу питания (Строительство эксплуатационных скважин..., 2014).

2.2.2 Геологическая характеристика района исследования

Исследуемая территория располагается в пределах Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области, входящей в состав Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (рис. 8) (Топешко и др., 1999; Попов, 2011).

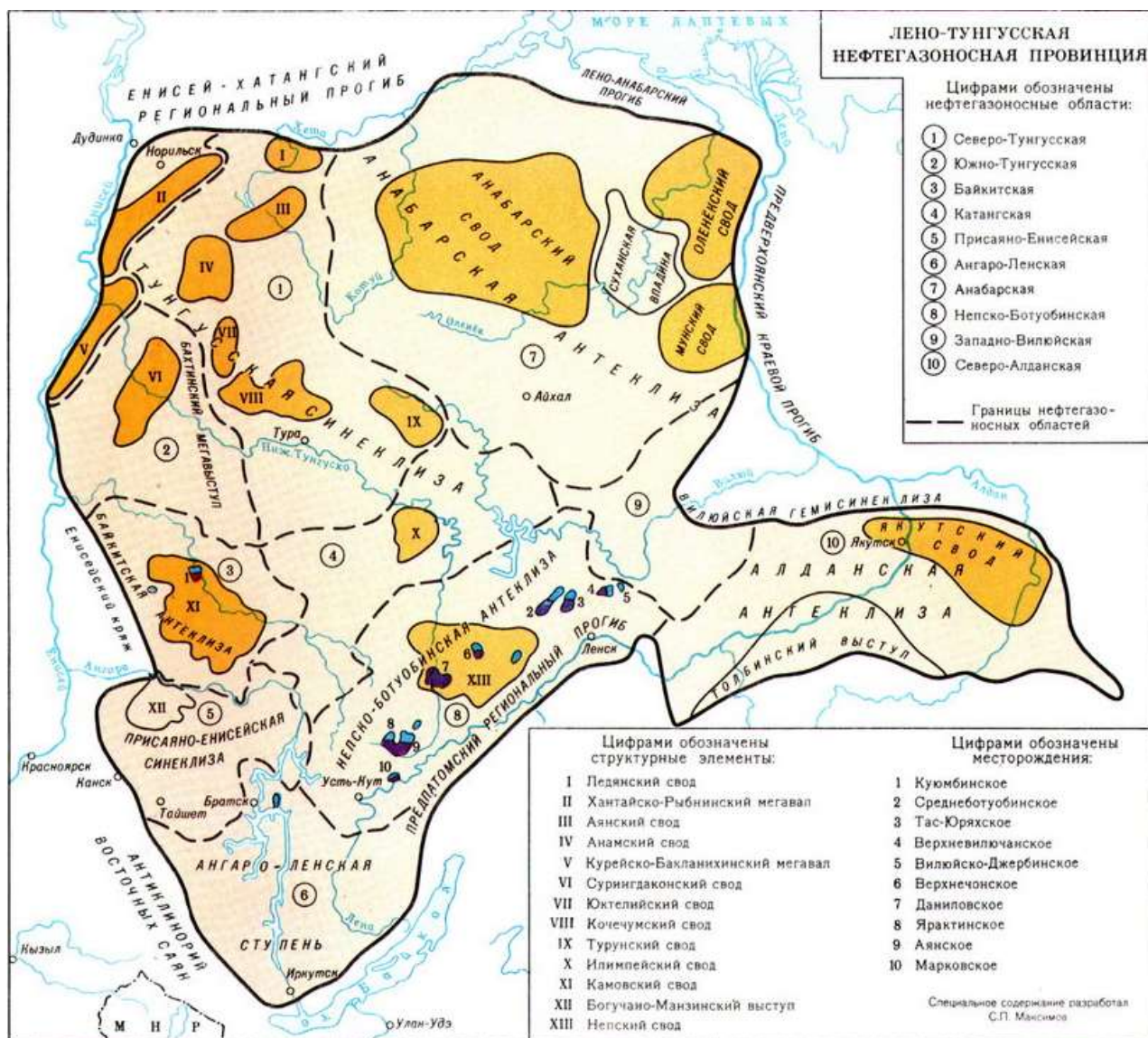


Рисунок 8 – Схема расположения Лено-Тунгусской нефтегазовой провинции

Лено-Тунгусская нефтегазоносная провинция располагается на территории Сибирской платформы. Территория платформы сложена в основном из вендско-кембрийских отложений (Шемин, 2007; Попов, 2011).

Непско-Ботуобинская антеклиза – это поднятие в южной части платформы, содержащие нефтегазоносные комплексы разного литологического состава и коллекторских свойств. Большое развитие получили сложные и неантиклинальные залежи нефти (Попов, 2011).

В юго-западной части Непско-Ботуобинской антеклизы, в районе Иркутской области, был открыт ряд нефтегазоконденсатных месторождений: Ярактинское, Марковское, Аянское, Верхнечонское, Даниловское, Дулисьминское и др. Перечисленные выше месторождения относятся к терригенным вендским и карбонатным венд-кембрийским отложениям (Анциферов и др., 1986). Карта-схема и схема индексации продуктивных горизонтов венд-кембрия Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области представлены на рисунках 9 и 10.

Большое значение получила оценка нефтяного потенциала карбонатных отложений Непского свода Непско-Ботуобинской антеклизы. Непский свод является главным объектом подготовки нефтяных ресурсов. Сибирская платформа отличается от других древних платформ преимущественно карбонатным составом слагающих ее пород. Карбонатные отложения в основном связаны с эпигенетически экранированными ловушками. Стоит отметить, что около 40% мировой добычи нефти связаны именно с карбонатными комплексами крупных высокодебитных месторождений нефти.

Также данная территория выделяется битумоидной аномалией, приуроченной к зоне развития коллекторов в преображенском, усть-кутском и осинском горизонтах. На Непском своде широко развит усть-кутский горизонт. Осинский горизонт подстилается и перекрыт соляными пачками, данный горизонт простирается по всей южной части Сибирской платформы (Самсонов и др., 2010).

Роль коллекторов нефти и газа в карбонатных породах расценивается высоко. В карбонатных коллекторах накапливается достаточно весомая часть от всеобщих мировых нефтяных залежей. Карбонатные коллекторы состоят из рифов, обломочных известняков, хемогенных известняков и доломитов. Их отличительной особенностью являются фильтрационно-емкостная система, имеющая сложную структуру, а также содержащиеся в них залежи полезных ископаемых (Карбонатные коллекторы [сайт] URL: <http://oilloot.ru/77-geologiya-geofizika-razrabotka-neftyanykh-i-gazovykh-mestorozhdenij/805-karbonatnye-kollektory>).

Первое место в мире по запасам нефти и газа принадлежит терригенным коллекторам, в целом на них приходится 58 % мировых запасов нефти и 77 % газа. Именно такие коллекторы распространены на территории Западно-Сибирского бассейна. На долю карбонатных коллекторов приходится 42% запасов нефти и 23% газа, такие коллекторы занимают второе место по запасам нефти и газа (Коллекторы и флюиды [сайт] URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/geologorazvedka-i-geologorazvedochnoe-oborudovanie/142051-kollektory-i-flyuidoupor/>).

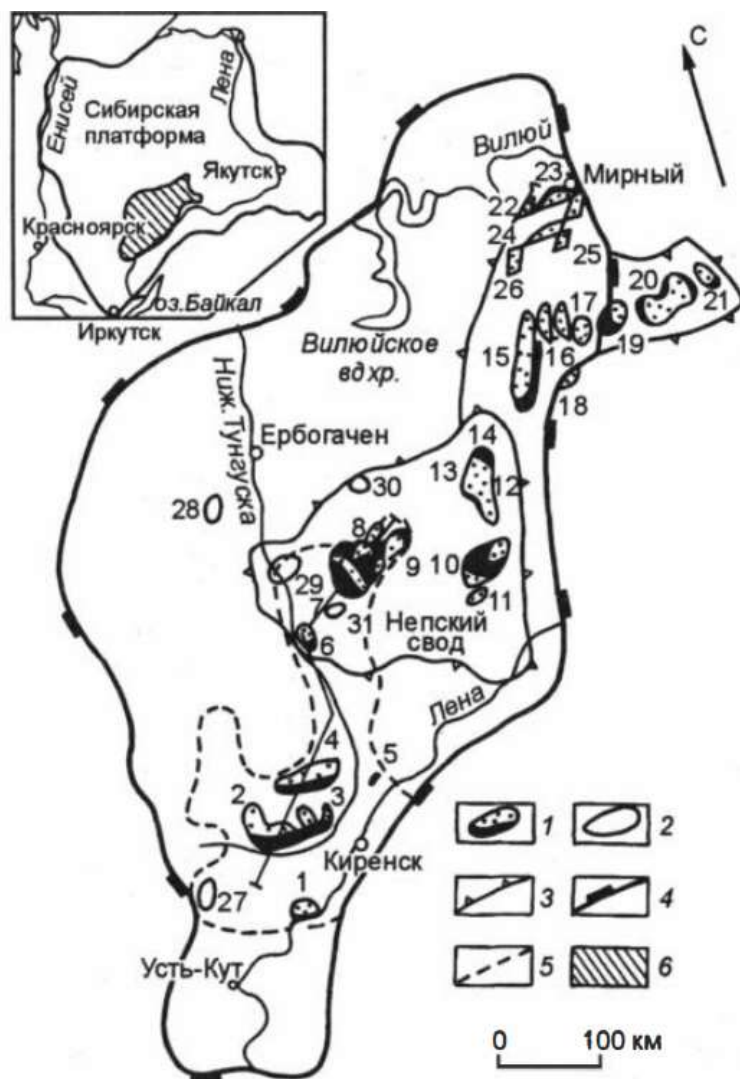
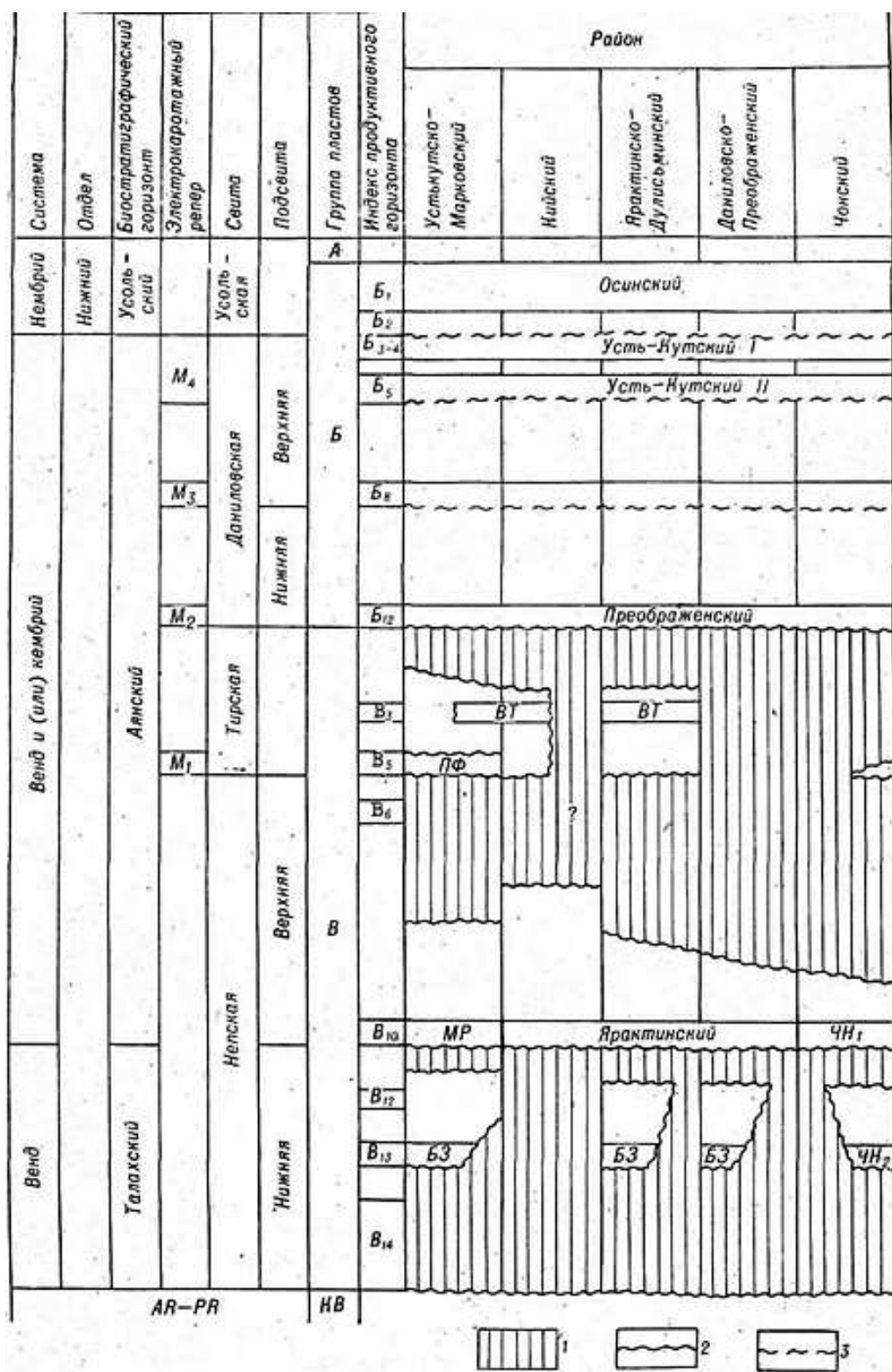


Рисунок 9 – Непско-Ботуобинская нефтегазоносная область

1 – месторождение нефти и газа; 2 – перспективные площади; 3 – структуры первого порядка; 4 – граница Непско-Ботуобинской антиклизы, 5 – граница Ярактинско-Чонской зоны нефтегазонакопления, 6 – Непско-Ботуобинская нефтегазоносная область.

Месторождения: 1 – **Марковское**, 2 – **Ярактинское**, 3 – Аянское, 4 – Дулисьминское, 5 – Пилюдинское, 6 – Даниловское, 7 – Верхнечонское, 8 – Вакулинское, 9 – Тымпучиканское, 10 – Талаканское, 11 – Алинское, 12 – Нижнехамакинское, 13 – Озерное, 14 – Чаяндинское, 15 – Среднеботуобинское, 16 – Тас-Юряхское, 17 – Бесюряхское, 18 – Хотого-Мурбайское, 19 – Иктехское, 20 – Верхневилучанское, 21 – Вилуйско-Джербинское, 22 – Маччобинское, 23 – Иреляхское, 24 – Северо-Нелбинское, 25 – Нелбинское, 26 – Мирнинское. *Перспективные площади*: 27 – Большетирская, 28 – Санарская, 29 – Преображенская, 30 – Могдинская, 31 – Западно-Игнялинская.



1 - отсутствие отложений; 2, 3 - стратиграфические несогласия: 2 - доказанные, 3 - предполагаемые. Продуктивные горизонты: ВТ - верхнетирский, ПФ - парфеновский, ХР - харыстанский, МР - марковский, ЧН - чонский, УЛ - улаханский, БЗ - безымянный, ТЛ - талахский, ВЛ - вилючанский.

Рисунок 10 – Схема индексации продуктивных горизонтов венд-кембрия Непско-Ботубинской нефтегазоносной области

2.2.2.1 Характеристика и особенности геологического строения нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области

Марковское нефтегазоконденсатное месторождение располагается на левобережье реки Лена около села Марково в Иркутской области Усть-Кутского района (Пермяков и др., 2012). Оператором добычи месторождения является ООО «Иркутская Нефтяная Компания».

Марковское месторождение находится в зоне линейных антиклинальных складок Прибайкалья на северо-востоке Иркутского амфитеатра. Месторождение отличается очень сложным геологическим строением. В геологическом отношении месторождение характеризуется развитием осадочных образований ордовикской системы нижнего палеозоя, перекрытых породами четвертичной системы. Чаще всего четвертичные породы представлены глинистыми, глинисто-песчаными образованиями, с небольшой примесью угловатого или слабо окатанного грубообломочного материала (Проектная документация..., 2016).

Геологическая позиция месторождения определяется положением в Марковско-Ичерской зоне брахискладок. В 1962 г. из опорной скважины № 1 на Марковской площади с глубины 2164 м был получен высокодебитный фонтанирующий приток нефти из осинского горизонта усольской свиты до 1000 м³ нефти и до 500 тыс. м³ газа в сутки. В процессе детальной разведки в базальных терригенных отложениях венда были выявлены ещё три пласта-коллектора, которые были названы (снизу вверх) безымянным, марковским и парфёновским горизонтами (Карпов, 1978).

Безымянный горизонт залегает на породах фундамента. В северо-западном направлении, отложения горизонта выклиниваются, в юго-восточном направлении при погружении пород фундамента его мощность возрастает до 25 м. Горизонт сложен разнотернистыми кварцевыми песчаниками и гравелитами, подчиненное значение в разрезе занимают алевролиты и аргиллиты. Низкие коллекторские свойства песчаников безымянного горизонта объясняются плохой сортированностью терригенного материала и большим содержанием глинистого цемента в породе.

Марковский горизонт располагается стратиграфически выше безымянного и отделяется от последнего алевролитно-аргиллитовой пачкой 15–25 м. Литологически горизонт не выдержан, сложен чередованием песчаников, алевролитов, аргиллитов общей мощностью от 11 до 29 м. По результатам пробной эксплуатации было установлено, что газоконденсатная залежь в марковском горизонте является литологически ограниченной и содержит небольшие запасы (Пермяков и др., 2012).

Продуктивный марковский горизонт отделен от парфёновского горизонта непроницаемыми отложениями, сложенными чередованием алевролитов-аргиллитовых пород, мощность такой непроницаемой пачки варьируется от 40-47 метров (Попов, 2011).

Осинский горизонт, залегающий в нижней части усольской свиты, четко выделяется в разрезах всех скважин. Его мощность изменяется от 66 до 92 м. Продуктивные отложения осинского горизонта, содержащие нефть, представлены доломитизированными известняками и засоленными доломитами с прослоями ангидритов и каменной соли. Породы осинского горизонта содержат две литологические залежи нефти, размерами 22×3 и 3,8×2 км, глубина залегания их порядка 2200 м. Они приурочены к меридиональной зоне трещиноватых карбонатных пород шириной 2 км и длиной около 10 км. Мощность продуктивной части пласта 15 – 16 м. Трещинно-кавернозный тип коллекторов обладает невысокими качествами.

Нефти осинского горизонта более тяжёлые и вязкие, чем нефти парфёновского. Характерно высокое содержание серы (до 1,10 %), асфальтены отсутствуют. По соотношению углеводородных групп они относятся к трём классам: нафтеново-метановому, ароматическо-нафтеново-метановому и метановому. По запасам нефти и газа Марковское месторождение относится к категории малых, по запасам гелия в свободном газе (по категориям $C_1 + C_2 = 51\,086$ тыс. м³) – крупных (Пермяков и др., 2012).

Притоки нефти из скважин, приуроченных к зоне тектонического нарушения, и отсутствие таковых по мере удаления от нарушенной зоны свидетельствуют о том, что одним из основных факторов, определяющих коллекторские свойства пород, является трещиноватость (Анциферов и др., 1986).

Ярактинское нефтегазоконденсатное месторождение было выявлено на левобережье р. Нижняя Тунгуска в 1971 г. севернее Марковского. На сегодняшний день оператором добычи месторождения является ООО «Иркутская Нефтяная Компания».

Рельеф местности средне холмистый, структурно-денудационный, грядово-увалистый, изрезанный водотоками. Для всего района характерно незначительное погружение поверхности рельефа в северном направлении.

Ярактинское месторождение расположено в пределах Прибайкальского поднятия Иркутского амфитеатра. Прибайкальское валообразное поднятие, сформировавшееся в начале нижнего кембрия в результате последующего опускания, оказалось погребенным под нижнепалеозойскими осадочными толщами, образовавшими в этом районе пологую моноклиналь с падением пород от окраин древнего Байкальского нагорья к западу, осложненную слабо выраженными антиклинальными структурами северо-восточного простирания.

Нефтегазоносность связана с отложениями вендского и кембрийского возрастов - песчаниками ярактинского горизонта общей толщиной до 40 м. Коллекторские свойства

песчаников изменяются в широких пределах. Зоны повышенной проницаемости приурочены к центральной части Ярактинского месторождения. Залежь ярактинского горизонта относится к неантиклинальному типу литолого-стратиграфических с элементами тектонического экранирования (Анциферов и др., 1986).

Отложения непской и тирской свит подсолевой венд-кембрийской части осадочного чехла являются нефтегазоносными (Мельников и др., 2005). Промышленные притоки нефти и газа связаны с базальной терригенной пачкой, получившей название ярактинского горизонта. В его объёме условно выделено два песчаниковых продуктивных пласта, разделённых «перемычкой» аргиллитов мощностью от 1,0 до 8,4 м. Мощность первого верхнего пласта от 0 до 18 м (исчезновение пласта происходит за счёт замещения аргиллитами). Второй пласт развит только в южной части, его мощность от 3,2 м, увеличивается в южном направлении. По вещественному составу песчаники ярактинской пачки кварцевые с небольшой примесью полевого шпата, разномзернистые – от мелко- до средне-крупнозернистых ритмичнослоистых. Цемент глинистый, карбонатный, ангидритовый. Кроме глинизации и карбонатизации существенную роль в закупорке порового пространства играет фактор засоления, резко снижающий ёмкостные и фильтрационные свойства песчаников. Пористость песчаников изменяется от 3,2 до 18,8 %.

Месторождение расположено на юго-западном моноклиналином склоне Непско-Ботубинской антеклизы, осложнённом малоамплитудными структурными элементами типа небольших террас, мульд и структурных носов. Месторождение является газоконденсатным с нефтяной оторочкой, которая, в свою очередь, подпирается пластовыми водами на абсолютной отметке – 2157 м. По своему типу ярактинская залежь является структурно-литологической. Восточное ограничение установлено литологическим экраном в связи с замещением песчаников ярактинской пачки аргиллитами. Изоляция продуктивных пластов относительная, они подчиняются единому гидродинамическому режиму (рис. 11).

Нефти метанового типа, лёгкие (плотность от 0,802 до 0,849 г/см³), низкопарафинистые (0,22–1,93 %), малосернистые (0,05–0,17 %), малосмолистые (0,88 –4,38 %), асфальтены практически отсутствуют. В составе нефти фракции до 200 °С преобладают метановые углеводороды (58,63–78,59 %), нафтеновые составляют 25,33–13,27 %, ароматические – 4–10,76 %. Конденсаты относятся к метановому типу: их плотность 0,67–0,76 г/см³, сернистость 0,01–0,03 %, содержание парафинов до 0,07 % и смол до 0,29 %. Воды водоносных горизонтов седиментационные – высокоминерализованные рассолы с высокой степенью метаморфизма, содержащие до 6 г/дм³ брома и много калия (Пермяков, 2012).

2.2.3 Геоэкологическая характеристика района исследования

Количественный и качественный состав загрязняющих веществ выбрасываемый в атмосферу определяется за счет промышленного сектора, так в Иркутской области большое значение имеет теплоэнергетика, переработка нефти, цветная металлургия, химическая и нефтехимическая, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность. Свой вклад в загрязнение воздушного бассейна также вносит жилой сектор с печным отоплением, автотранспорт, лесные и торфяные пожары.

Район исследования располагается на территории Усть-Кутского района Иркутской области. Основная отрасль данного района – нефтедобыча, теплоэнергетика, добыча древесины и деревообработка. В районе идет добыча нефти, газа и газоконденсата, ведется постоянная разведка новых месторождений.

Основные предприятия в нефтегазовом комплексе: ООО «Иркутская нефтяная компания», нефтебаза, принадлежащая филиалу компании «Иркутск-Терминал», в лесном комплексе: ООО «Инд ТИМБЕР», ООО «Леналессервис».

Уровень загрязнения атмосферного воздуха оценивается как высокий и очень высокий в 18 городах Иркутской области. Усть-Кутский район не входит в список населенных пунктов с неблагоприятной обстановкой (Государственный доклад..., 2018).

Количество загрязняющих веществ, отходящих от всех стационарных источников, в целом по Иркутской области составляет 2980,011 тыс.т, при этом на Усть-Кутский район приходится 66,973 тыс.т.

В 2018 году в области был проведен социально-гигиенический мониторинг наблюдений за качеством воды источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Усть-Кутский район выделяется неудовлетворительными пробами по показателям альфа-суммарной активности (Государственный доклад..., 2018).

Крупнейшая река, протекающая по территории Усть-Кутского района – р. Лена, большинство рек района относится к ее бассейну. Основными источниками загрязнения р. Лены и ее бассейна являются сточные воды золотодобывающих предприятий, а также хозяйственно - бытовые и промышленные сточные воды хозпредприятий и организаций гг. Усть-Кута, Киренска, Бодайбо.

В целом, качество воды рек и водоемов Иркутской области в 2017 г. в 55 % случаев относилось к категории «условно чистые», в 37 % – к категории «слабо загрязненные», в 7% – к категории «загрязненные», в 1 % – к категории «грязные».

В 1992 г. на территории Усть-Кутской нефтебазы скважинами вскрыты линзы свободного нефтепродукта на зеркале грунтовых вод, где было зафиксировано загрязнение подземных и поверхностных вод растворенными углеводородами. За 2017 г. в пробах воды зафиксированы превышения ПДК для растворенных нефтепродуктов от 1,8 до 34 раз, в редких случаях до 200-500 ПДК. В подземных водах четвертичных отложений отмечается повышение концентрации $Fe_{общ}$ (18,67-66,67 ПДК). В 2017 г. по скважинам отмечалось превышение ПДК по магнию до 1,26 - 2,08 раз, марганцу 5,5 - 40 раз и аммоний до 1,07 - 8,67 раз (Государственный доклад..., 2018).

На территории Усть-Кутского района проводилось исследование по экологическому состоянию почв. Как отмечает автор (Белозерцева, 2018) носителями химического загрязнения при добыче углеводородного сырья служат подземные воды, буровые растворы, химические реагенты и т.д. Структура почвенного покрова Усть-Кутского района сильно дифференцирована и проявляется в закономерной смене типов почв от вершин увалов к долинам рек. На известняках, алевролитах, мергелях, аргиллитах, доломитах сформировались подзолистые остаточно-карбонатные и дерново-подзолистые остаточно-карбонатные почвы.

Фоновое содержание тяжелых металлов в (мг/кг) в подзолах в Усть-Кутском районе изменяется в разном диапазоне: Fe – 0,6 – 1,7 мг/кг, Mn – 327 – 558 мг/кг, Co – 11 - 22 мг/кг, Zn – 19 – 34 мг/кг, Cu – 14 – 36 мг/кг, Ni – 5 – 79 мг/кг, Cr – 28 – 101 мг/кг, Pb – 18 – 23 мг/кг, Cd – 0,4 – 1,1 мг/кг. Фоновое содержание нефтепродуктов варьируется в почвах от 49 – 182 мг/кг (Белозерцева, 2018).

ГЛАВА 3: МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К КОМПЛЕКСНОМУ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ

3.1 Методика исследования

Методика исследования включала в себя отбор проб бурового шлама и жидкой фазы шламовых амбаров нефтяных и нефтегазоконденсатных месторождений Томской, Иркутской областей. Кроме того, в районе исследуемых шламовых амбаров проводился отбор почвы.

Пробы отбирались в летний период. Работы по отбору и подготовке проб бурового шлама, почв и жидкой фазы шламовых амбаров проводились в соответствии с нормативными документами и методическими рекомендациями – ПНД Ф 12.1:2.2.2.2.3:3.2-03, ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 28168-89, ГОСТ 12071-2014, ГОСТ 31861-2012, ГОСТ 17.1.4.01-80.

Пробы бурового шлама отбирались по периметру шламовых амбаров. При расстановке пунктов для отбора почвенных проб учитывались ландшафтно-морфологические особенности местности, направление ветра.

В 2015 г. был осуществлен отбор проб бурового шлама на шламовых амбарах Первомайского, Катильгинского, Южно-Черемшанского и Лугинецкого месторождений. Перечисленные месторождения расположены в пределах соседних районов Томской области Парабельского и Каргасокского.

В 2018 г. произведен отбор проб бурового шлама со шламовых амбаров Марковского месторождения (Иркутская область) и Кульгинского месторождения (Томская область). Объединенные пробы шлама отбирались из эксплуатационных скважин.

В летний период 2018 года автором совместно с сотрудником ПАО «Газпромнефть-Восток» были отобраны пробы бурового шлама и жидкой фазы шламовых амбаров с Южно-Шингинского и Шингинского месторождений (рис. 12), а также проб почв в районе исследуемых шламовых амбаров.

На Южно-Шингинском месторождении буровой шлам и жидкая фаза шламовых амбаров отбирались с трех амбаров, расположенных на кустовой площадке № 3. На Шингинском месторождении пробы отбирались на шламовом амбаре кустовых площадок № 7 и № 8. Схема отбора проб представлена на рисунке 13.

Буровой шлам и почва с территории Ярактинского месторождения Иркутской области опробовались в 2018 году. Следует отметить, что буровой шлам образован в разных технологических условиях. Шлам отбирался с двух кустовых площадок. Первая кустовая площадка оборудована эксплуатационными скважинами, на другой площадке располагалась разведочная скважина.



Рисунок 12 – Фрагмент схемы расположения нефтяных месторождений (Шингинское и Южно-Шингинское) в Томской области

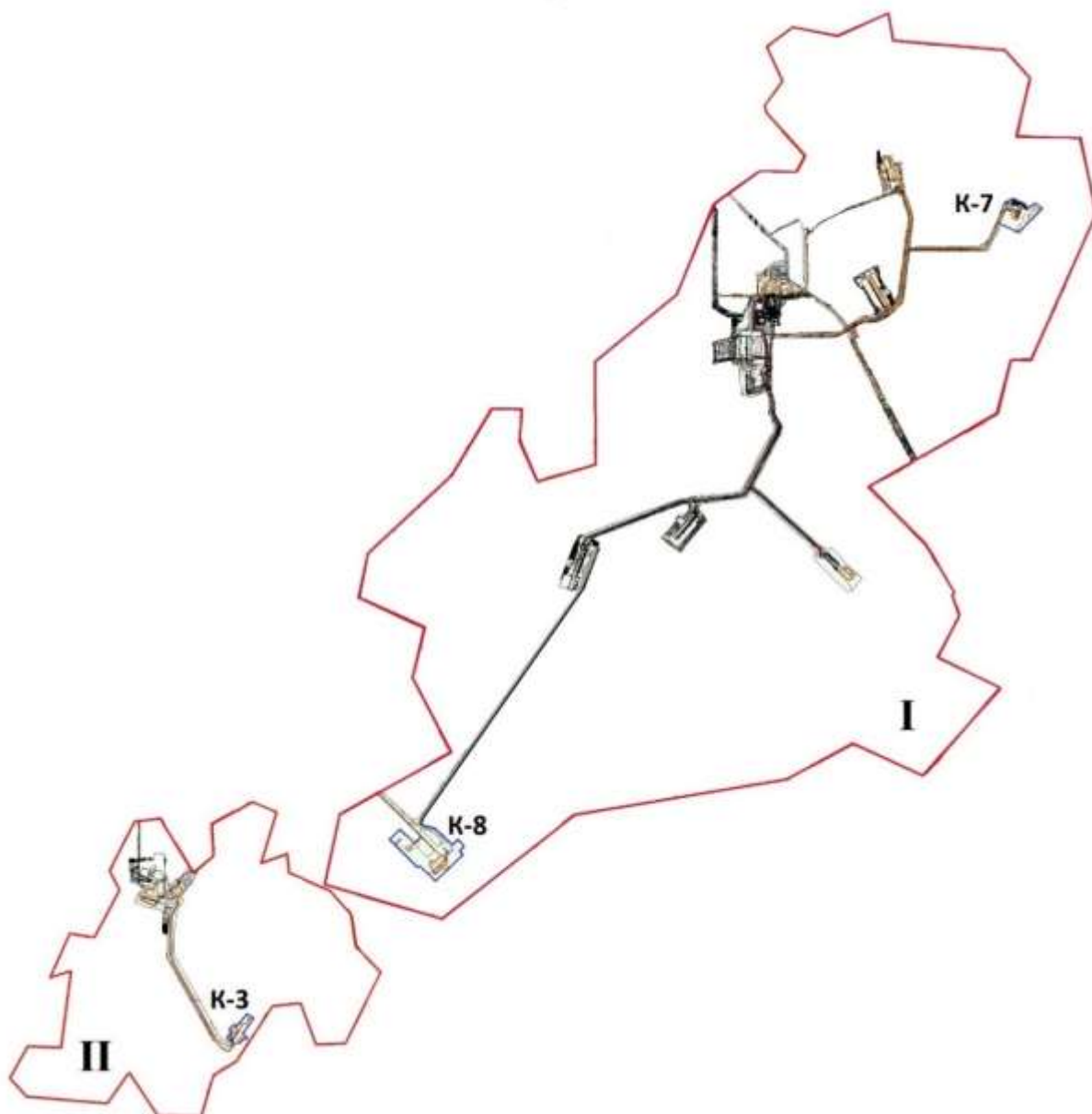


Рисунок 13 – Схема расположения кустовых площадок на территории нефтяных месторождений

*I – Шингинское месторождение, II - Южно-Шингинское месторождение;
Кустовая площадка №3 (K-3), Кустовая площадка №7 (K-7), Кустовая площадка №8 (K-8)*

Подготовка бурового шлама к аналитическим исследованиям включала несколько этапов: предварительное подсушивание, удаление любых включений, растирание и просеивание через сито с диаметром отверстий 1 мм. Дальнейшие операции проводились в соответствии со схемой обработки проб (рис. 14).

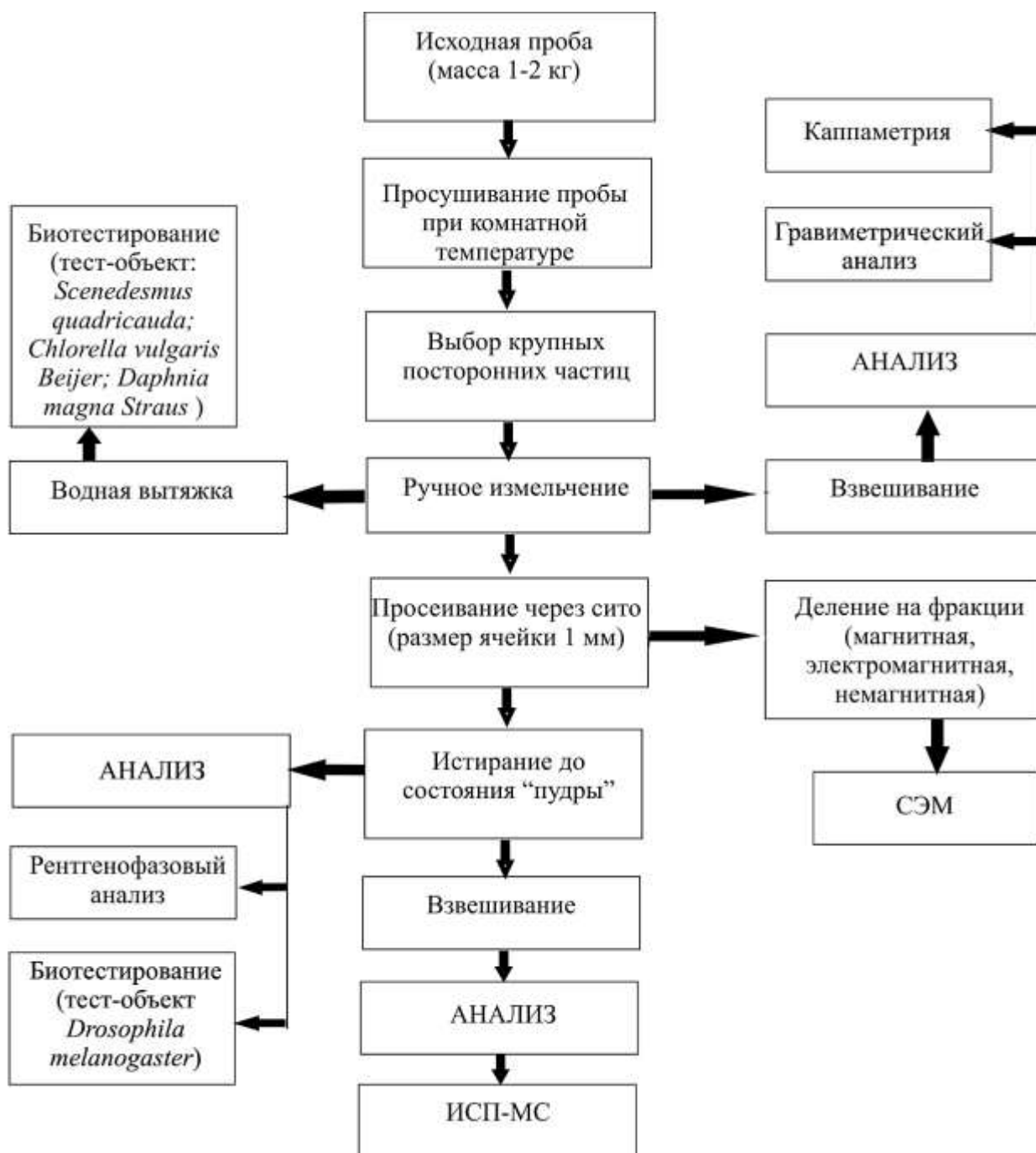


Рисунок 14 – Общая схема обработки и изучения проб бурового шлама

- **Отбор проб почвенного покрова, жидкой фазы шламового амбара**

Пробы почв отбирались в районе шламовых амбаров Южно-Шингинского и Шингинского нефтяных месторождений с двух интервалов 0 – 10 см и 10 – 20 см. Сбор проводился специальной пробоотборной лопаткой в полиэтиленовые пакеты методом конверта

с последующим формированием объединенной пробы. Масса одной пробы составляла не менее 1 кг согласно ГОСТу 17.4.3.01-83. Нумерация и указание основных данных (место, дата пробоотбора) осуществлялось на месте. Пробоотбор проводился в местах, свободных от болотистой местности и леса.

Пробоподготовка почв к аналитическим исследованиям включает следующие этапы: просушивание проб при комнатной температуре, удаление крупных включений растительных остатков и камней, просеивание через сито, а также истирание вручную и на виброистирателе. Схема подготовки почв представлена на рисунке 15.

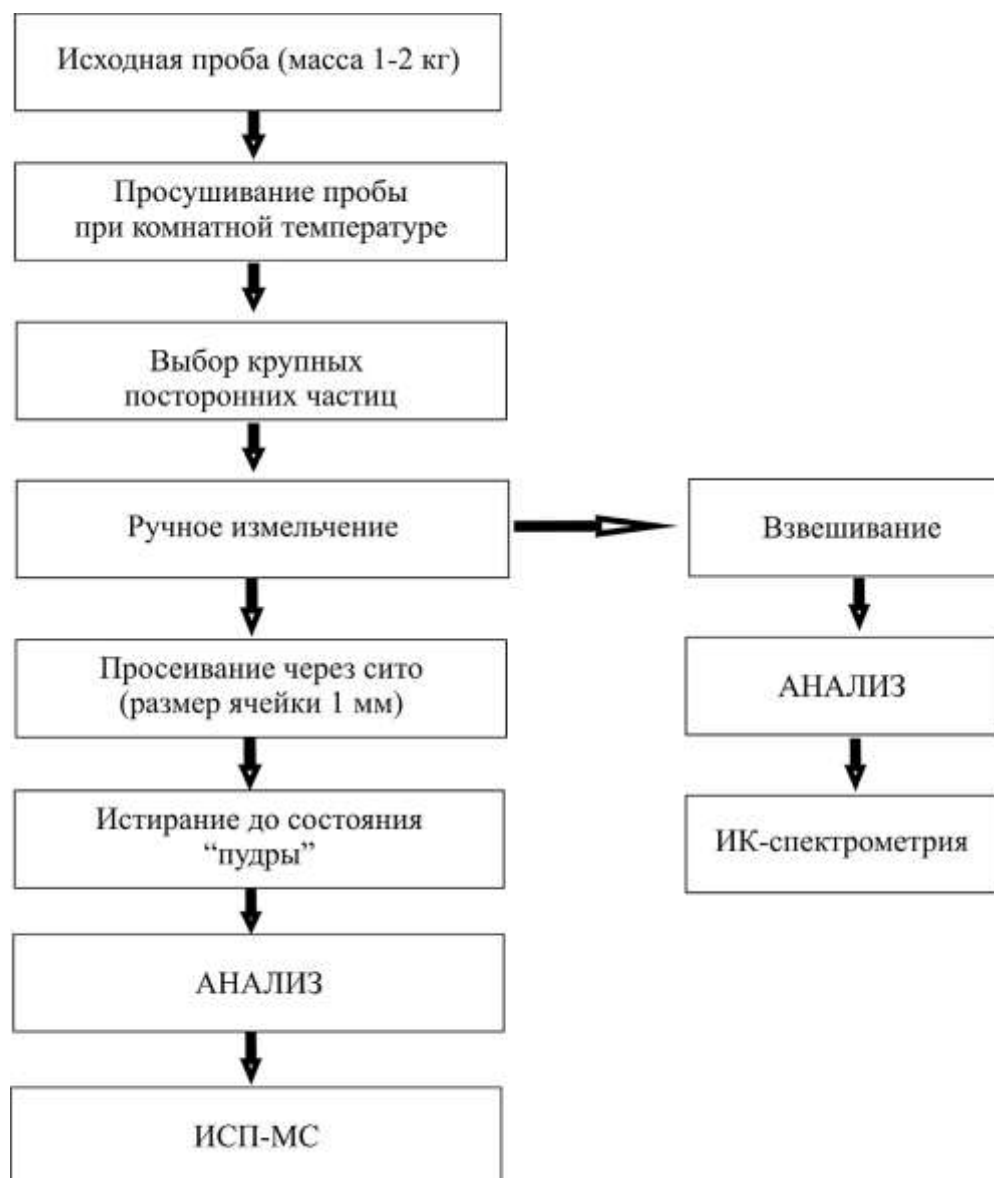


Рисунок 15 – Общая схема обработки и изучения проб почвы

Отбор жидкой фазы шламовых амбаров осуществлялся в летний период. На Южно-Шингинском месторождении пробы отбирались с трех амбаров, расположенных на 3 кусту. На Шингинском месторождении пробы отбирались на шламовом амбаре 7 и 8 куста. Всего отобрано 5 проб с пяти амбаров. Отбор проб осуществлялся согласно нормативным документам ГОСТ

31861-2012, ГОСТ 17.1.4.01-80, в стеклянные герметичные емкости с темным стеклом. Схема подготовки жидкой фазы из амбаров представлена на рисунке 16.



Рисунок 16 – Общая схема обработки и изучения жидкой фазы шламовых амбаров

3.2 Методы аналитических исследований

Определение содержания и форм нахождения элементов в природных средах достигается с помощью комплекса современных методов исследования. Аналитические исследования выполнялись в аккредитованных лабораториях г. Томска, согласно аттестованным методикам с использованием стандартных образцов сравнения. Анализы выполнялись в следующих лабораториях:

1. Химико-аналитический центр «Плазма», г. Томск (аттестат аккредитации RA.RU. 516895 от 24.03.2016).

В центре проводились исследования в помощью метода *масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС)* (аналитик Филипас Т.А.).

Общее количество проб, исследуемых данным методом составило 44, из них – 13 проб бурового шлама, 26 проб почвы и 5 проб жидкой фазы шламовых амбаров. Определено 62 элемента в пробах бурового шлама и 61 элемент в пробах почвы, жидкой фазы и технологических добавках.

2. Томская специализированная инспекция государственного экологического контроля и анализа ОГБУ «Облкомприрода», г. Томск (аттестат аккредитации РОСС RU.0001.510342, дата внесения в реестр сведений об аккредитованном лице 16.10.2014 г.).

Общее количество проб, определяемых на наличие нефтепродуктов – 44 шт, из которых буровой шлам – 13 проб, почва – 26 проб, жидкая фаза шламовых амбаров – 5 проб.

В центре «Облкомприрода» для исследований были использованы следующие методы:

а) *Гравиметрия*. Анализ бурового шлама гравиметрическим методом выполнялся согласно методике ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3:3.64-10.

б) *ИК-спектрометрия*. Пробы почвы анализировались на содержание нефтепродуктов методом ИК-спектрометрии, согласно методике ПНД Ф 16.1:2.2.22-98.

в) *Флуориметрия*. Жидкая фаза шламовых амбаров анализировались согласно методике ПНД Ф 14.1:2.4.128-98.

Для определения нефтепродуктов в пробах бурового шлама, почв, технической воды использовались следующие средства измерения: анализатор жидкости «Флюорат-02-2М», лабораторные электронные весы «BP 221 S», барометр-анероид метеорологический «БАММ-1», прибор комбинированный ТКА-ПКМ (20).

г) *Биотестирование*. Аналитиком А.П. Сороченко был определен класс опасности бурового шлама с помощью биотестирования на двух тест-объектах – *Daphnia magna*, *Scenedesmus quadricauda*, – согласно методикам ФР.1.39.2007.03222 и ФР.1.39.2007.03223.

В качестве средств измерений для биотестирования служили приборы: анализатор жидкости «Флюорат 02-3М», анализатор жидкости портативный «АНИОН-7050», pH-метр-милливольтметр «pH-410», барометр-анероид метеорологический «БАММ-1», комбинированные приборы ТКА-ПКМ(43), ТКА-ПКМ (20), термометр ртутный стеклянный лабораторный ТЛ-5.

3. Международный инновационный научно-образовательный центр (МИНОЦ) «Урановая геология» на базе инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ.

В данном центре исследования проводились с помощью нескольких методов:

а) *Рентгенофазовый анализ*.

Минералогический состав исследуемых проб бурового шлама определялся методом рентгеновской порошковой дифрактометрии на дифрактометре Bruker D2 PHASER в МИНОЦ «Урановая геология» на базе Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ (консультант Соктоев Б.Р.). Всего было проанализировано 13 проб бурового шлама. Пробы доводились до состояния пудры.

б) *Метод сканирующей электронной микроскопии с использованием энергодисперсионной рентгеновской спектрометрии*.

Изучение минеральных форм элементов в бурового шлама проводилось на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с ЭДС приставкой Bruker XFlash 4010/5010 для проведения рентгеноспектрального анализа в МИНОЦ «Урановая геология»

(консультант Ильенок С.С.). Предварительно перед работой на СЭМ пробы бурового шлама были разделены на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. В целом исследовано 13 проб, изучено 263 частиц.

При поддержке Ильенка С.С. проводилось изучение бурового шлама на электронном микроскопе в режиме высокого вакуума с использованием детектора обратно-рассеянных электронов. Данный режим дает информацию о фазовом составе пробы по контрасту. Пыль бурового шлама наносилась на углеродную ленту разреженно, во избежание больших скоплений частиц. С каждой исследуемой частицей работали индивидуально.

Дополнительное применение энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии позволило получить информацию о качественном составе микроминеральных включений. Согласно авторской методике Ильенка С.С., анализ основан на регистрации рентгеновских квантов, испускаемых атомами вещества под воздействием электронов (Ильенок, 2014).

в) Каппаметрия.

Измерение магнитной восприимчивости бурового шлама осуществлялось в отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ с использованием карманного прибора Kappameter Model: KT-5. Всего измерялось 13 проб. Основой для проведения исследования послужили методические рекомендации и запатентованная методика (Временная..., 1968; Методические..., 1988; Миков и др., 1995; Патент № 2133487). Предварительно просеянная проба отсыпается в пластиковую кювету, которая устанавливается на датчик прибора в фиксированном положении. Далее проводится измерение в трехкратных повторениях для каждой пробы. Объем сухой пробы и степень уплотнения материала во всех случаях должен быть одинаковым. Результаты измерений выдавались в системе единиц СИ. Поскольку прибор измеряет в 10^{-3} ед. СИ, был выполнен перевод полученных данных в 10^{-5} ед. СИ.

Такой параметр как капша устойчив во времени и не зависит от температуры, влажности и т.д., то есть от внешних условий. Кроме того, преимуществом метода капшметрии являются: экспрессность, оперативность и большая дидактичность информации, опирающейся на результаты прямой фиксации параметра капша (Миков, 1999).

*г) Биотестирование с использованием тест-объекта *Drosophila melanogaster*.*

На базе Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ в период с 2016 по 2019 гг. были поставлены эксперименты по определению токсичности исследуемых проб бурового шлама на тест-объекте плодовой мушки *Drosophila melanogaster*. Всего просмотрено более 20000 мушек.

4. В проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НИ ТПУ на базе инженерной школы природных ресурсов (аккредитованная научно-исследовательская

лаборатория гидрогеохимии, зарегистрирована в Реестре Системы № РОСС RU.0001.511901 от 12.07.2011 г.).

На базе лаборатории проводились исследования бурового шлама при помощи метода биотестирования с использованием тест-объекта *Chlorella vulgaris* Beijer. Биотестирование четырёх проб было проведено инженером Воробьевой Д.А. Использовалась методика ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 16.1:2.3.7-04 по измерению оптической плотности культуры водоросли хлорелла. Определялась токсичность питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления.

Полный перечень используемых методов исследования и количество проб представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Объекты и методы исследования

Месторождение	Район	Объект исследования	Количество отобранных проб	Количество исследованных (объединенных) проб	Методы	Количество определений
Первомайское; Катыльгинское; Южно-Черемшанское; Лугинецкое	Томская область	Буровой шлам	16	4	МС-ИСП	248 (элемент.определений)
					Флуориметрия	12
					Биотестирование (тест-объекты: <i>Chlorella</i> , <i>Drosophila melanogaster</i>)	20 (эксперимент)
					Рентгенофазовый анализ	4
					Сканирующая электронная микроскопия	49 (микрочастиц)
					Каппаметрия	12
Кульгинское	Томская область	Буровой шлам	4	1	МС-ИСП	124 (элемент.определений)
					Гравиметрия	3
					Биотестирование (тест-объекты: <i>Daphnia</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Drosophila melanogaster</i>)	7 (эксперимент)
					Рентгенофазовый анализ	2
					Сканирующая электронная микроскопия	12 (микрочастиц)
					Каппаметрия	6
Южно-Шингинское	Томская область	Буровой шлам	12	3	МС-ИСП	186 (элемент.определений)
					Гравиметрия	9
					Биотестирование (тест-объекты: <i>Daphnia</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Drosophila melanogaster</i>)	21 (эксперимент)

Продолжение таблицы 6

					Рентгенофазовый анализ	6
					Сканирующая электронная микроскопия	54 (микрочастиц)
					Каппаметрия	9
		Почва	8	8	МС-ИСП	488 (элемент.определений)
					ИК-спектроскопией	24
		Жидкая фаза шламовых амбаров	3	3	МС-ИСП	183 (элемент.определений)
Флуориметрия	9					
Шингинское	Томская область	Буровой шлам	8	2	МС-ИСП	124 (элемент.определений)
					Гравиметрия	6
					Биотестирование (тест-объекты: <i>Daphnia</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Drosophila melanogaster</i>)	14 (экспериментов)
					Рентгенофазовый анализ	4
					Сканирующая электронная микроскопия	45 (микрочастиц)
					Каппаметрия	6
		Почва	6	6	МС-ИСП	366 (элемент.определений)
					ИК-спектроскопией	18
		Жидкая фаза шламовых амбаров	2	2	МС-ИСП	122 (элемент.определений)
					Флуориметрия	6
Южно-Шингинское; Шингинское	Томская область	Технические добавки	8	8	МС-ИСП	488 (элемент.определений)
Ярактинское	Иркутская область	Буровой шлам	8	2	МС-ИСП	434 (элемент.определений)
					Гравиметрия	6

Продолжение таблицы 6

					Биотестирование (тест-объекты: <i>Daphnia</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Drosophila melanogaster</i> , <i>Avéna satíva</i>)	14 (экспериментов)
					Рентгенофазовый анализ	4
					Сканирующая электронная микроскопия	65 (микрочастиц)
					Каппаметрия	6
		Почва	12	12	МС-ИСП	732 (элемент.определений)
					ИК-спектроскопией	36
Марковское	Иркутская область	Буровой шлам	4	1	МС-ИСП	186 (элемент.определений)
					Гравиметрия	3
					Биотестирование (тест-объекты: <i>Daphnia</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Drosophila melanogaster</i>)	7 (экспериментов)
					Рентгенофазовый анализ	2
					Сканирующая электронная микроскопия	38 (микрочастиц)
					Каппаметрия	6

Количество проанализированных проб бурового шлама отражено в таблице 7.

Таблица 7 – Количество проб бурового шлама, используемое в исследовании

Объект исследования	Количество отобранных проб	Количество исследованных (объединенных) проб
Буровой шлам	52	13
Почва	26	26
Жидкая фаза	5	5
Технологические добавки для бурения	8	8

3.3 Биотестирование

Токсическое действие поллютантов при поступлении в окружающую среду может меняться в широком диапазоне. Влияние загрязняющих веществ на живой организм можно оценить методами биотестирования. Пободный методы оценки качества среды примелись рядом исследователей Строганов Н.С. (1968), Филенко О.Ф. (1989), Жмур Н.С. (1997), Терехова В.А. (2003), Азарова С.В. (2005), Мелахова О.П. (2007), Чеснокова С.М. (2008), Заболотских В.В., Васильев А.В. (2012), Олькова А.С. (2015).

Методы биотестирования позволяют определить интегральную токсичность, поскольку живые организмы могут улавливать даже самую низкую концентрацию поллютантов. Ряд химико-аналитических анализов не определяет токсическое влияние оказываемое на организм. Результаты биотестирования могут не совпадать с данными химического анализа, т.к. токсичность, определяемая при биотестировании, является интегральным показателем.

Биотестирование проводится в лабораторных условиях. Оно основано на помещении животного организма или совокупности организмов в компонент окружающей природной среды или искусственно созданной среды, состояние которого необходимо протестировать. По реакции тест-объекта в созданных условиях определяется степень опасности состояния среды по отношению к живым организмам (Мелахова и др., 2007).

В России осуществление государственного экотоксикологического контроля допускается при использовании методик биотестирования, которые внесены в Госреестр или методик – пока они не внесены в Госреестр, – приведенных в РД 118-02-90 (Методическое руководство..., 1991).

В качестве тест-объектов исследователи чаще выбирают гидробионтов, так как наибольшую опасность для объектов природной среды имеет водно-миграционный путь распространения токсичных компонентов (Тереховой, 2003). Однако, как отмечает Беляков А.Ю., Головки Д.С. (2012) при исследовании водной вытяжки из почвы, выявленная токсичность может быть не всегда верна, так как не все токсиканты растворимы в воде (например, углеводороды).

Для определения класса опасности отхода с помощью метода биотестирования водной вытяжки применяется не менее двух тест-объектов из разных систематических групп. За окончательный результат принимается класс опасности, выявленный на тест-объекте, проявившем более высокую чувствительность к анализируемому отходу (Приказ МПР № 511, 2001).

Для оценки токсичности и определения класса опасности проб бурового шлама использовался метод биотестирования с применением тест-объектов разных систематических

групп: представитель ракообразных *Daphnia Magna Straus*; представители отдела зеленые водоросли (лат. *Chlorophyta*) – *Chlorella vulgaris Beijer* и *Scenedesmus quadricauda*; плодовая мушка *Drosophila melanogaster*.

3.3.1 Тест-объект ракообразные *Daphnia Magna Straus*

Биотестирование с использованием *Daphnia magna* начали применять советские учёные Строганов Н.С. (1968), Шуберт Р. (1988) (Олькова и др., 2015, 2017). Обзор научных разработок в области биотестирования природных и техногенных сред (сточные воды, отходы производства) с использованием *Daphnia magna Straus* приводят Олькова А.С., Фокина А.И. (2015).

Дафнии – род ветвистоусых рачков. Внешний вид представлен на рисунке 17. Род дафний включает около 50 видов, самый крупный вид – *Daphnia magna Straus*. Данный организм, относится к группе фильтраторов, обитающих преимущественно в толще воды (Александрова, 2013), питаются взвешенными в воде бактериями, одноклеточными водорослями, детритом, растворенными одноклеточными веществами (Бубнов и др., 2007).



Рисунок 17 – Схематичное изображение *Daphnia Magna Straus*

При биотестировании регистрируется гибель рачков под действием поллютантов. Показателем поведенческой реакции у дафний является их двигательная активность. Рачок постоянно находится в движении для поддержания функций дыхания, питания и размножения. На воздействие токсикантов дафнии могут реагировать как резким повышением двигательной реакции, хаотическим передвижением в пространстве, быстрым вращением на одном месте, так и замедлением гребных движений, что приводит к скоплению, а затем – к обездвиживанию.

В современной аттестованной методике биотестирования предписано использование рачков в возрасте 6 – 24 ч. (ФР.1.39.2007.03222, 2007), т.к. молодые особи *Daphnia magna* более чувствительны к токсичным веществам (Олькова и др., 2015).

3.3.2 Тест-объекты протококковые водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer и *Scenedesmus quadricauda*

Протококковые водоросли – класс зелёных водорослей, объединяющий одноклеточные и колониальные формы. Протококковые водоросли распространены повсеместно в пресных водоёмах, в почве и на её поверхности, редки в морях. Разрабатываются методы промышленного культивирования протококковых водорослей для кормовых, пищевых и др. целей. Важнейшие представители – хлорелла (*Chlorella*) и сценедесмус (*Scenedesmus*) (Большая советская энциклопедия...) (рис. 18).

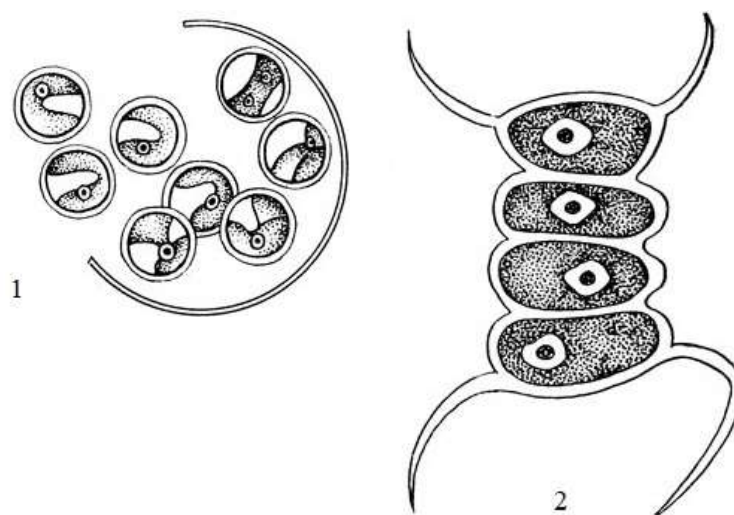


Рисунок 18 – Протококковые водоросли: 1 – хлорелла (*Chlorella*) в момент размножения;

2 – сценедесмус *Scenedesmus quadricauda*

Chlorella vulgaris – это зеленая водоросль, описанная в 1890 году голландским микробиологом доктором Мартинусом Виллемом Бейеринком (Beijerinck M.W.). Современную классификацию рода *Chlorella* провела Андреева В.М. (Андреева, 1975). Данная эукариотическая микроводоросль широко распространена в пресноводных, морских и наземных средах, обладает высокой фотосинтетической способностью и способностью к быстрому росту в автотрофных, миксотрофных и гетеротрофных условиях. Все эти характеристики сделали ее одной из первых микроводорослей, рассматриваемых для крупномасштабного культивирования и коммерческого производства. Организмы, подобные хлорелле, существуют на Земле более 2,5 миллиардов лет. *Chlorella vulgaris* имеет диаметр от 2 до 10 мкм, сферическую или эллипсоидную форму без

жгутиков. Микроводоросль выглядит как одиночные клетки или может образовывать колонии максимум до 64 клеток. Как неподвижная микроводоросль *C. vulgaris* размножается путем производства бесполой автоспор, путем деления материнской клетки на 2 – 32 автоспоры или дочерние клетки. Стенка материнской клетки разрывается при созревании автоспор, и остатки материнских клеток становятся пищей для дочерних клеток (Kai Ru et al., 2020).

Микроводоросли в основном состоят из белков, липидов, углеводов, пигментов, минералов и витаминов. Эти компоненты можно разделить на первичные и вторичные метаболиты. Первичные метаболиты обычно необходимы для роста и основных метаболических процессов, таких как фотосинтез и дыхание, тогда как вторичные метаболиты - это молекулы, полученные из первичных метаболитов, когда организмы подвергаются определенным неблагоприятным воздействиям окружающей среды. Состав изменяется в зависимости от вида и среды культивирования (интенсивности света, температуры, pH, солености и питательных веществ среды) (Kai Ru et al., 2020).

Белки являются основными составляющими большинства микроводорослей, *C. vulgaris* имеет общее содержание белка 43–58% от ее сухой массы. Липиды играют важную роль в метаболизме и росте микроводорослей, выступая в качестве резервуара энергии и углерода. Липидный профиль микроводорослей широкий и колеблется от 2 до 77% в зависимости от вида и окружающей среды, а у *Chlorella vulgaris* - от 5 до 58% от сухого веса. Углеводы, такие как крахмал, глюкоза, сахар и полисахариды, обычно используются в качестве запаса энергии и углерода в микроводорослях. Наиболее распространенными полисахаридами *C. vulgaris* являются крахмал, за которым следует полисахаридная целлюлоза в клеточной стенке.

Chlorella vulgaris богата кальцием, калием, магнием и цинком. Ряд витаминов и минералов, присутствующих в *C. vulgaris*, сделала ее отличным источником необходимых микроэлементов (Kai Ru et al., 2020).

Микроводоросль *Chlorella* описана в работах отечественных исследователей (Музафаров, 1984; Мельников, 1991; Богданов, 2001).

Scenedesmus quadricauda – ценобиальная хлорококковая водоросль, состоящая из удлиненно-цилиндрических клеток. При размножении в материнской клетке образуют 2-4 автоспоры, которые слагаются в колонию (Царенко, 1990).

Проведено сравнение роста и чувствительности к ионам тяжёлых металлов (Cd, Zn, Cu) протококковых зеленых водорослей *Scenedesmus quadricauda* (TURP.) BREB. и *Chlorella vulgaris* Beijer, т.к. обе культуры широко используются в России в качестве тест-объектов при биотестировании. При этом различия в степени подавления роста обеих культур водорослей тяжёлыми металлами были невелики и укладывались в диапазон 20-30 %. Исследования

показали, что рассматриваемые биотесты имеют сходство по чувствительности, что говорит о возможности их применения, не противопоставляя друг другу (Тютюкова и др., 2014).

3.3.3 Тест-объект *Drosophila melanogaster*

Плодовая мушка *Drosophila melanogaster* - это универсальный модельный организм, который более века используется в биомедицинских исследованиях для изучения широкого спектра явлений. Исследования с использованием дрозофилы значительно продвинули наше понимание регенеративной биологии. Дрозофила продуктивно использовалась в качестве модельного организма более века для изучения разнообразных биологических процессов, включая генетику и наследование, эмбриональное развитие.

Использование генетики дрозофил в качестве инструмента для понимания биологии имеет долгую историю, начиная с экспериментов Моргана более 100 лет назад.

Генетический анализ дает существенное представление о роли, которую играют отдельные факторы в данном биологическом процессе. Диапазон генетических инструментов, которые стали доступны для дрозофилы за последнее столетие, намного превосходит таковые для любого другого многоклеточного организма (Jennings, 2011).

Дрозофила может использоваться в качестве модели для тестирования эффектов новых лекарств. Новые лекарства можно тестировать на *Drosophila* намного быстрее, чем на моделях млекопитающих; действительно, они могут даже использоваться для начального процесса высокопроизводительного скрининга в качестве альтернативы культивированию клеток. Скрининг в целом организме способствует отбору соединений с улучшенным профилем безопасности для последующего тестирования на дорогих моделях млекопитающих. Кроме того, при использовании дрозофилы может быть относительно легко манипулировать генетическим фоном, чтобы имитировать болезненное состояние, чтобы проверить эффективность лекарственного средства в этом контексте.

Эмбрионы дрозофилы потенциально могут обеспечить ценную систему для изучения биологической безопасности, поскольку они относительно малы (~ 500 мкм) и могут легко производиться в больших количествах. Развитие тест-объекта особенно чувствительно к неблагоприятным условиям окружающей среды, вызывающим механические или генетические повреждения. Эмбриогенез включает точную координацию многочисленных клеточных процессов, включая межклеточную коммуникацию, деление, гибель, перемещение клеток и изменение их формы. Нарушение любого из этих процессов может иметь разрушительные последствия для эмбриона, включая серьезные деформации, бесплодие или смерть. Культивируемые клетки млекопитающих, которые, вероятно, являются наиболее

распространенной системой для анализа, представляют собой гораздо менее сложную модель, поскольку обычно содержат несколько, а часто только один тип клеток. Таким образом, трудно оценить потенциальный ущерб физическим взаимодействиям и коммуникационным процессам среди набора клеток, которые находятся в самой трехмерной среде тканей животных (Jennings, 2011).

Дрозофила *Drosophila melanogaster* имеет класс *Insecta*, отряд *Diptera*, семейство *Drosophilidae*. Мушка небольшая по размерам – 3 мм, серое тело, красные глаза фасеточного типа, крылья, превышают длину тела (Нехаева, 2011).

Каждая мутагенная форма получила название, отвечающая определенному признаку, по которому она отличается от дикого типа. Название признака и гена обусловлено его развитием, например, *y* – (*yellow*) желтое тело, *sc* (*scute*) – отсутствие щетинок на теле, *vg* – (*vestigial*) – зачаточные крылья. К числу признаков дрозофилы, наиболее часто подверженных мутационным изменениям, относятся признаки глаз, крыльев, щетинок (Козак, 2007).

Например, одна из первых мутаций, выделенных Морганом, известна как *white*; у мух с этой мутацией глаза белые (вместо красных). Гены обычно называют в честь первой выделенной в них мутации (например, *white*). Всем генам *Drosophila* был присвоен «номер CG» во время аннотации последовательности генома, и все еще существует много не охарактеризованных генов без известных мутаций или ортологов, которые обозначаются номером CG (например, CG10026). В настоящее время подсчитано, что у *Drosophila* насчитывается около 14 000 генов.

Дрозофила проходит четыре стадии жизненного цикла; яйцо, личинка, куколка и муха. После оплодотворения эмбрион развивается в яйце около одного дня (при 25 ° C), прежде чем вылупится личинка. Личинка ест и растет в течение пяти дней, пока не окукливается и не превращается во взрослую муху в течение четырех дней. Во время метаморфоза большая часть эмбриональной и личиночной ткани разрушается. Взрослые ткани (например, крыло, ноги, глаз) развиваются из групп клеток, известных как «имагинальные диски», которые были отложены с раннего эмбрионального развития.

Каждая самка мухи может откладывать до 100 яиц в день в течение 20 дней. Для того чтобы эмбрион превратился в плодовитую взрослую муху, требуется приблизительно 10 дней при 25 ° C. Таким образом, относительно легко получить большое количество эмбрионов или мух для экспериментального подхода, если это необходимо. *Drosophila melanogaster* является насекомым с полным превращением (Петухов, 2007).

При выращивании в сравнимых условиях самки дрозофилы обычно несколько крупнее самцов (рис. 19). Конец брюшка у самок имеет заостренную форму, а у самцов – более округлую. Последние брюшные сегменты у самца сильно пигментированы (чёрная точка на конце брюшка). В практической работе чаще ориентируются на форму и пигментацию брюшка (Козак, 2007).

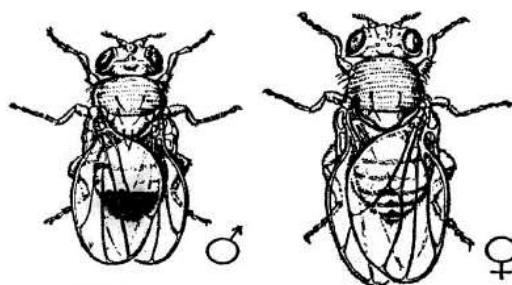


Рисунок 19 – Женская и мужская особь *Drosophila melanogaster* (Козак, 2007)

Drosophila melanogaster не обладает строго специализированным строением ротового аппарата, в виду чего питается свободными жидкостями различного генеза: растительные соки, сахаристые жидкости, разлагающиеся ткани растительного и животного происхождения.

Коллекции мутагенных форм дрозофилы (плодовой или уксусной мушки) широко используются в научных исследованиях (Нехаева, 2011). В различных литературных источниках говорится о возможности применения *Drosophila melanogaster* в качестве тест - объекта (Гавриков и др., 2010; Кауфова, 2013; Сидорская, 2013).

Проводилось изучение выживаемости и плодовитости нефтеустойчивых линий и линий мух *Drosophila melanogaster*, не адаптированных к нефти, в условиях увеличения концентрации нефти в среде обитания на 1 % в каждом поколении. Показана более высокая приспособленность мух, адаптированных к невысоким концентрациям токсиканта (Петухова и др., 2015).

Преимущества *Drosophila melanogaster*, как тест-объекта, заключается в возможности определения мутаций, наличия малого числа хромосом, небольшой жизненный цикл, высокая плодовитость (Бочков, 1989; Усенко, 2011).

Генотоксичность грунтов и донных отложений на тест-объекте *Drosophila melanogaster* оценена Усенко Е.В. (2011). Было изучено влияние редкоземельного элемента Се на продолжительность жизни и биомаркеров у плодовой мухи (*Drosophila melanogaster*) (Huang et al, 2010).

Важную исследовательскую работу по оценке экологической опасности отходов горнодобывающих предприятий методом биотестирования с применением тест-организма *Drosophila melanogaster* провела Азарова С.В. (2004). В процессе проведения экспериментов по биотестированию автор оценивала соотношение полов, морфозы, высоту подъема куколок, среднюю длину тела и крыла по отношению к концентрации пробы в среде. Использовался критерий соответствия Хи-квадрат для определения степени соответствия фактических данных к ожидаемым. Исследования показали, что критерий Хи-квадрат более эффективен в среде с меньшей концентрацией пробы (0,2 %), чем при концентрациях 20 % и 25 % (Азарова, 2004). Также автор сделала вывод, что химические компоненты, присутствующие в пробах в повышенных количествах, оказывают влияние на появление морфоз (Азарова и др., 2004).

В настоящем исследовании был поставлен эксперимент на *Drosophila melanogaster* с целью оценки влияния бурового шлама нефтяных месторождений на тест-объект. Полученные результаты, статистически обработанные методом хи-квадрат, позволят сделать выводы о степени влияния отходов. Объектом изучения выбрана плодовая мушка *Drosophila melanogaster* двух линий – *yellow* и *singed*. Мушки линии *yellow* характеризуются наличием желтой окраски кутикулы и нормальными щетинками. Мушки линии *singed* характеризуются наличием опаленных щетинок и нормальной окраски кутикулы (серой).

При скрещивании самок *yellow* с самцами *singed* в опыте и контроле получены самцы *yellow* и самки дикого типа. Гены, определяющие такие признаки, как желтая окраска кутикулы и опаленные щетинки, находятся в х-хромосоме и являются рецессивными. Поэтому самки имеют нормальную окраску кутикулы и нормальные щетинки, т.е. характерные для мух дикого типа. Схема скрещивания в контроле и в опыте одинаковая.

$$\begin{array}{ll}
 P: \quad \text{♀ } x^{ysn+} & \text{♂ } x^{ysn+}y \\
 \text{тело желтое} & \text{опален. щетинки} \\
 \\
 Cam: & x^{ysn+} \quad x^{y+sn}y \\
 \\
 F_1: & x^{ysn+} x^{y+sn} : x^{ysn+}y \\
 & \quad \quad \quad \frac{1}{2} \quad \quad \frac{1}{2} \\
 \\
 & 50\% - \text{самки дикого типа} \\
 & 50\% - \text{самцы } yellow
 \end{array}$$

Рисунок 20 – Схема скрещивания линий мух *yellow* и *singed*

Для проведения эксперимента использовалась следующая методика постановки скрещиваний: виргинных самок соответствующей линии помещают в одну пробирку с самцами другой линии, в количестве трех штук каждой линии. Эти мухи составляют родительское поколение. Скрещивание линий происходило согласно схеме (рис. 20). Родительские особи остаются в пробирках в течение 4-5 суток, после чего их удаляют из емкостей, а из отложенных яиц развивается новое поколение скрещивания. Опыт ставится в термостате при температуре 24-25°C.

Дрозофилу можно безопасно анестезировать углекислым газом или эфиром, если необходимо манипулировать отдельными мухами (например, для создания генетического скрещивания). В большинстве известных мух-лабораторий мух помещают на пористые подушечки, подключенные к источнику углекислого газа, и перемещают кистью с тонким наконечником, наблюдая за ними с помощью микроскопа.

После вылета мух проводится наркотизация эфиром для подсчета и осмотра мух на появление на теле морфоз. Морфозы – это ненаследственные изменения организма, вызванные

влиянием экстремальных факторов внешней среды. Могут наблюдаться грубые изменения фенотипа, развитие патологии и даже гибель организма.

Подобными морфозами у тест-объекта *Drosophila melanogaster* могут быть раздвоенные щетинки, деформированные крылья и т.д. В качестве статистической оценки отклонения применяется критерий соответствия Хи-квадрат (χ^2).

Первоначально лабораторных мух содержали в бутылках с гниющей банановой мякотью, но в наши дни их чаще всего держат в бутылках с желеобразной пищей, которая обычно готовится из смеси воды, соевой, рисовой, кукурузной муки, дрожжей, солодового экстракта, кукурузный сироп и агар. Питательная среда должна быть достаточно твердой, чтобы мухи не застревали в ней, но и достаточно мягкой, чтобы личинки могли ползать и питаться. Существует множество вариантов основного рецепта и готовых рецептур. Бутылки и флаконы закупоривают ватой, чтобы предотвратить вылет мух.

Для эксперимента готовилась специальная питательная среда. Её приготовление проводилось по рецепту с добавлением бурового шлама в определенном количестве. Чистая среда без примеси бурового шлама использовалась в качестве контрольной.

Существуют различные рецепты питательных сред для дрозофилы, основными компонентами которых являются сахар, дрожжи, манная крупа, вода и агар-агар. Нами был выбран следующий рецепт (табл. 8).

Таблица 8 – Рецепт питательной среды для тест-объекта *Drosophila melanogaster*

Вода	мл.	100	Манная крупа	г.	4,3
Агар-агар	г.	1,3	Сахар	г.	3,7
Дрожжи	г.	11,4	Пропионовая кислота	мл.	0,3

3.4 Методы обработки результатов исследований

Обработка полученных аналитических данных исследования бурового шлама, жидкой фазы шламовых амбаров и почвы осуществлялась с помощью прикладных программ Microsoft Excel и «Statistica 8.0». В диссертационную работу были внесены следующие параметры: вычисление числовых характеристик содержания химических элементов (пределы изменения значений (разброс), расчет математического ожидания (среднее значение), медианы, мода, минимальное и максимальное значение, коэффициент вариации, стандартное отклонение, стандартная ошибка); проверка принадлежности к гипотезе нормального распределения; сравнительный анализ среднего значения и значений дисперсии; анализ корреляционных взаимосвязей между химическими элементами; кластерный анализ ассоциаций химических элементов, факторный анализ методом главных компонентов.

Статистическое сравнение средних значений выборок проводилось с использованием статистических критериев: параметрического критерия Стьюдента в случае нормальной модели и непараметрического критерия – U-критерия Манна-Уитни – в случае отклонения распределения от нормального закона.

Данные, полученные в результате анализа бурового шлама и почвы, сравнивались со средним содержанием элементов в почвах Западной Сибири (Сысо, 2007), средним содержанием химических элементов в осадочных горных породах в целом и средним содержанием химических элементов в верхней части континентальной коры (кларком) по Григорьеву Н.А. (2009).

Данные, полученные в результате анализа жидкой фазы, сравнивались с кларком элементов в речной воде (растворенная форма) по Виноградову А. П. (1967). Кларк концентрации рассчитывался по формуле:

$$Kk = C/Ck \quad (1)$$

где где Kk – кларк концентрации, C – содержание элемента в пробе, мг/кг; Ck – геохимический кларк земной коры по Григорьеву Н.А. (2009), мг/кг; или геохимический кларк в речной воде, мг/кг (по Виноградову, 1967) .

Также был рассчитан суммарный показатель загрязнения с использованием кларка концентрации (Kk), по формуле:

$$Zc = \sum_{i=1}^n Kk - (n - 1) \quad (2)$$

где Kk – кларк концентрации i-го химического элемента; n – число учитываемых аномальных элементов. Суммарный показатель загрязнения разделяется на категории: низкий – менее 16; средний 16-32, высокий 32-128, очень высокий – более 128 (Саэт и др., 1990).

В качестве статистической оценки отклонения применяется критерий соответствия хи-квадрат (χ^2). Статистика позволяет объективно оценить значимость отклонения ожидаемого результата от теоретического, и выявить, насколько получаемый результат соответствует проверяемой гипотезе. Данный показатель, обозначается греческой буквой χ , возведенной в квадрат. Вычисляется данный показатель по формуле:

$$\chi^2 = \sum (O - E)^2 / E \quad (3)$$

где O – фактически наблюдаемое число особей в данном классе, E – теоретически ожидаемое число таких особей, $\sum$ - сумма результатов по всем классам (Гершензон, 1983). Оценка степени соответствия проводилась с помощью критерия хи-квадрат и сравнения полученной величины с табличным значением. Существуют значения χ^2 , определяющие границы ниже которых полученные значения остаются в рамках случайных отклонений. Принято считать допустимой границей вероятность 0,05. Также учитывается число степеней свободы, равное числу классов, уменьшенному на единицу. В нашем случае оно равно 1, т.к. в

эксперименте участвует две линии мух. При вероятности значения 0,05 и степени свободы равной 1, табличное значение равно 3,84, ниже которого теоретическое отклонение от фактического не будет наблюдаться.

Критерий хи-квадрат (χ^2) является положительной величиной и изменяется от нуля до бесконечности. Если критерий хи-квадрат равен нулю ($\chi^2 = 0$), то наблюдается полное соответствие фактического расщепления теоретически ожидаемому. С увеличением разности между эмпирическими и теоретическими данными возрастает величина χ^2 , в то же время, при превышении определенного табличного значения, различия между фактическим и теоретическим результатом будут достоверны (Петухов и др., 2007).

Интерпретирование и обобщение полученных результатов осуществлялось с использованием отечественных и зарубежных материалов, фондовой информации по исследуемой теме.

ГЛАВА 4: МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ТОКСИЧНОСТЬ БУРОВОГО ШЛАМА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Детальную работу по определению минералого-геохимических особенностей баженовской свиты Западной Сибири провели ученые Томского политехнического университета (Рихванов и др., 2015). Результаты их исследования показали, что РЗЭ, Fe, S, Zn, Sr, As, Sb, U имеют повышенную концентрацию и образуют собственную минеральную форму. Отмечен сульфид железа в трех морфологических формах, сульфид цинка (сфалерит), широко распространены минеральные формы бария (барит), стронция (стронцианит).

В настоящей работе принят подход, при котором проводится комплексное исследование по определению минералого-геохимической характеристики, токсичности бурового шлама нефтяных месторождений Томской области. Помимо этого определена величина магнитной восприимчивости проб, оценено содержание нефтепродуктов как в буровом шламе, так и жидкой фазы шламовых амбаров, почве, отобранной рядом со шламовыми амбарами и на месте рекультивированных амбаров. Подобных работ по исследованию минералого-геохимических особенностей буровых шламов ранее не проводилось.

4.1 Характеристика минералогического состава бурового шлама

Определением минерального состава бурового шлама, отобранного на территории Ханты-Мансийского Автономного Округа - Югра, занимались Гвоздецкая М.В., Пашкевич М.А. (2010, 2013). Диагностика минерального состава проводилась с помощью рентгеновского дифрактометра, основную часть проб составил кварц и полевошпат. Была выявлена тяжелая фракция, представляющая собой металлическую стружку и минерал сидерит (карбонат железа). Рентгенофазовый анализ образцов бурового шлама проводил Пичугин Е.А. (2019). Он выяснил, что во всех образцах исследуемого шлама основной фазой является кварц и кальцит (карбонат кальция). Кроме того, обнаружены примеси, идентифицировать которые у автора не получилось.

В данной работе также применялся метод рентгенофазового анализа. Был исследован буровой шлам, отобранный со шламовых амбаров нефтяных месторождений Томской области: Первомайское, Катыльгинское, Южно-Черемшанское, Лугинецкое, Кулгинское, Шингинское и Южно-Шингинское. Результаты представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты рентгенофазового анализа бурого шлама нефтяных месторождений Томской области

Месторождение	Первомайское	Катыльгинское	Южно-Черемшанское	Лутинецкое	Кулгинское	Шингинское		Южно-Шингинское		
						Кустовая площадка №7	Кустовая площадка №8	Кустовая площадка №3		
	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 2	амбар 3
Наименование минералов	содержание, %									
Кварц	22,3	33,3	36,2	56,6	44,4	56,8	63,3	52,7	56,9	45
Мусковит	10,6	26,2	31,5	9,2	26,8	6,9	4,4	6,9	17,5	16,1
Альбит	4,4	21	5,9	12,4	16,9	18,7	19,6	18,6	14,8	27,7
Анортоклаз	-	-	-	17,1	-	10	9,2	10,4	9,1	-
Клинохлор	3,2	5,8	-	-	-	2,8	2,1	6,6	-	5,6
Кальцит	-	-	-	-	2,8	-	-	4,9	1,7	5,6
Кальцит магнезиальный	-	-	-	-	-	4,7	1,5	-	-	-
Иллит	59,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Микроклин	-	13,7	26,4	-	-	-	-	-	-	-
Каолинит	-	-	-	4,7	6,5	-	-	-	-	-
Доломит	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	-

Согласно данным полученным исходя рентгенофазового анализа, в составе каждой исследуемой пробы бурового шлама встречается породообразующая минеральная ассоциация, занимающая значимую долю в составе – это кварц, альбит, мусковит. Также выделяются такие минералы как микроклин, анортоклаз, кальцит, иллит, каолинит и т.д. Такой парагенезис минералов характерен для осадочных пород.

Отмечаются различия в минеральном составе отдельных месторождений. Так, в буровом шламе с Катыльгинское и Южно-Черемшанское месторождений выделено высокое содержание микроклина. Микроклин является широко распространенным минералом класса силикатов из группы полевых шпатов. В пробах шлама с Первомайского месторождения основным минералом является иллит, слюдистый минерал глинистых отложений. Иллит – продукт гидролиза мусковита, а иногда – и полевых шпатов. Лугинецкое месторождение отличается наличием анортоклаза и каолинита. Каолинит – глинистый минерал, класса алюмосиликатов, анортоклаз – кали-натриевый полевой шпат. Все перечисленные минералы являются породообразующими.

Ассоциация минералов, выявленная в пробе шлама с Кульгинского месторождения, выделяется (кроме указанной породообразующей минеральной ассоциации) наличием каолинита, кальцита и доломита.

Похожий состав бурового шлама с Шингинского и Южно-Шингинского месторождений, что понятно, поскольку эти месторождения близки территориально. Кварц и альбит преобладают в составе проб с Южно-Шингинского и Шингинского месторождений. Отделенная фракция методом отмучивания состоит из глинистого минерала каолинита и гидрослюд. Гидрослюды представлены иллитом и вермикулита, относятся к классу силикатов.

Тем не менее, минералогический состав проб разнится: в шламе с амбаров Южно-Шингинского месторождения фиксируется кальцит, в то время как в пробах с Шингинского месторождения присутствует магнезиальный кальцит (Климова и др., 2020). Минералогический состав бурового шлама Южно-Шингинского месторождения отличается в зависимости от шламового амбара. В буровом шламе с амбара №1 включает кварц, мусковит, альбит, анортоклаз, клинохлор, кальцит. В буровом шламе амбара №2 клинохлор не выявлен, в шламе с амбара №3 отсутствует анортоклаз.

Следует отметить, что валовые пробы бурового шлама с Шингинского и Южно-Шингинского месторождений выделялись отсутствием глинистых минералов. Поэтому для данных проб проводилось дополнительное исследование, которое заключалось в выделении глинистой составляющей методом отмучивания, с последующей фильтрацией и анализом полученной фракции на дифрактометре. Результаты рентгенофазового анализа выделенной составляющей представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Минералогический состав выделенной фракции методом отмучивания из проб бурового шлама с Шингинского и Южно-Шингинского месторождений (Климова и др., 2020).

Месторождение	Шингинское		Южно-Шингинское		
	Кустовая площадка №7	Кустовая площадка №8	Кустовая площадка №3		
	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 2	амбар 3
Минерал	содержание, %				
Кварц	29,4	33,4	36,2	29,9	32,7
Альбит	7,8	20,5	21,7	7,3	3,2
Мусковит	19,0	26,4	24,0	16,6	17,5
Каолинит	7,1	-	10,2	5,6	-
Кальцит	6,4	4,9	7,2	2,5	6,9
Цеолит	0,5	-	0,7	0,2	0,2
Иллит	29,8	-	-	37,9	31,8
Клинохлор	-	14,4	-	-	5,9
Доломит	-	-	-	-	1,9
Вермикулит	-	0,3	-	-	-

По табличным значениям видно, что после проведения отмучивания бурового шлама Шингинского и Южно-Шингинского месторождений выделились такие минералы как: иллит, вермикулит, доломит, цеолит.

Минералогический состав бурового шлама Южно-Шингинского месторождения отличается в зависимости от шламового амбара. В буровом шламе с амбара №1 отсутствуют в составе гидрослюды (иллит и вермикулит). Минералы доломит и клинохлор диагностированы только в шламе с амбара №3, но при этом в данном амбаре отсутствует каолинит.

По данным Сысо А.И. (2007) фракция глины состоит на 70% из илистых частиц, размер которых менее 0.001 мм, сама фракция глины размером менее 0.01 мм. В целом, глинистые минералы (гидрослюды, каолинит, монтмориллонит, хлорит) играют значимую роль в накоплении микроэлементов в почвообразующих породах (Сысо, 2007).

Обобщенный минеральный состав проб бурового шлама представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Обобщенный минеральный состав исследуемых проб

Месторождение Минерал	Первомайское	Катыльгинское	Южно-Черемшанское	Лугинецкое	Кулгинское	Шингинское	Южно-Шингинское
Кварц	+	+	+	+	+	+	+
Мусковит	+	+	+	+	+	+	+
Альбит	+	+	+	+	+	+	+
Иллит	+	-	-	-	-	+	+
Клинохлор	+	+	-	-	-	+	+
Микроклин	-	+	+	-	-	-	-
Анортоклаз	-	-	-	+	-	-	-
Каолинит	-	-	-	+	+	+	+
Кальцит	-	-	-	-	+	+	+
Доломит	-	-	-	-	+	+	+
Цеолит	-	-	-	-	-	+	+
Вермикулит	-	-	-	-	-	+	-

Методом рентгенофазового анализа также были проанализированы образцы технологических добавок бурового раствора. Технологические добавки представлены преимущественно карбонатами, алюмофосфатами, солями и другими веществами, которые не оказывают существенного влияния на состав бурового шлама (табл. 12).

Таблица 12 – Минерально-вещественный состав технологических добавок для буровых растворов по данным рентгенофазового состава

Технические добавки 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%
Полианионочная целлюлоза	-	-	-	81,3%	18,7%	-
Понижитель фильтрации	дифрактограмма не определена					
Polypac* R (Polyanionic Cellulose Polymer)	* натрий карбоксиметилцеллюлоза / полианионная целлюлоза (паспорт безопасности)					
Каустическая сода	дифрактограмма не определена *гидроксид натрия NaOH					

4.2 Характеристика элементного состава бурового шлама, технической воды и почвы

4.2.1 Характеристика элементного состава бурового шлама

Различные исследователи ранее проводили анализ элементного состава бурового шлама. Результаты их исследований представлены в сводной таблице 13.

Таблица 13 – Содержание химических элементов (мг/кг) в буровом шламе по данным различных авторов

Элемент	Пичугин (2015, 2019), ХМАО-Югры (месторождения Тайлаковское, Самотлорское, Приобское) Метод: атомно- эмиссионная спектрометрия	Соромотин А.В. (2015) ХМАО-Югры, Томская область, Омская область Методы определения: атомно- абсорбционный, Hg – метод холодного пара на ртутном анализаторе.	Пашкевич М.А., Гвоздецкая М.В. (2013), ХМАО-Югры, Методы определения: рентгено- флуоресцентного анализ	Phillips et al. (1998), Neff J.M. (2005) Калифорния, платформы в открытом море
Cu	17,6-50,8	31,63	27-89	56-70
Ni	21,5-55,2	41,48	49-78	17-47
Cr	51,7-105,6	87,33	94-170	94-104
Fe	18500-41480	-	4300-46300	-
Mn	320,0-1201	-	-	-
Zn	48,4-161,0	106,63	43-120	664-972
As	-	6,88	-	10-13
Ba	-	625,55	-	15,084-1180
Be	-	0,43	-	-
Cd	-	0,19	8-9	2,89-3,62
Hg	-	0,05	-	0,04-0,07
Pb	-	25,54	30-36	32-356
Sr	-	150,89	-	-
V	-	82,43	-	100
Al	-	-	1510-144200	-
Ag	-	-	-	0,5-0,63

В настоящем исследовании с целью определения широкого спектра элементов (62 элемента) в буровом шламе применялся метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Среднее содержание элементов в пробах бурового шлама, отобранного на территории Томской области, представлено в таблице 14.

Таблица 14 – Среднее содержание химических элементов (мг/кг) в буровом шламе, в осадочных горных породах и в верхней части континентальной коры

Элемент	Первомайское, n=1	Катыльгинское, n=1	Южно-Черемшанское, n=1	Лугинское, n=1	Кулгинское, n=2	Шингинское, n=2	Южно-Шингинское, n=3	ПДКвал.*/ОДК**	ОГП	Кларк
Li	27,01	17,67	13,04	17,47	$13,29 \pm 4,35$ (8,94 – 17,64)	$21,34 \pm 2,97$ (18,38 – 24,31)	$30,61 \pm 1,19$ (28,23 – 31,82)	-	39,0	33,0
Be	0,25	1,16	0,70	1,62	$0,88 \pm 0,05$ (0,83 – 0,93)	$2,94 \pm 0,3$ (2,64 – 3,24)	$0,97 \pm 0,72$ (0,25 – 2,4)	-	2,1	2,3
Na	11123,34	10663,79	12829,35	10636,93	$5615,96 \pm 574,95$ (5041,01 – 6190,92)	$13776,13 \pm 2773,28$ (11002,85 – 16549,4)	$9054,08 \pm 716,05$ (7787,4 – 10266,05)	-	13100,0	20700,0
Mg	6067,11	5596,31	3481,44	4898,99	$7161,08 \pm 973,48$ (6187,6 – 8134,6)	$5742,69 \pm 253,54$ (5489,15 – 5996,23)	$8540,8 \pm 498,17$ (7650,22 – 9372,95)	-	18300,0	17700,0
Al	45017,46	37663,16	40932,02	41541,97	$37835,62 \pm 227,2$ (37608,4 – 38062,8)	$44779,2 \pm 122,73$ (44656,46 – 44901,93)	$56415,45 \pm 3405,8$ (50406,69 – 62198,23)	-	64400,0	76100,0
Si	265776,64	272444,51	308674,38	304546,93	$128625,8 \pm 4138,9$ (124486,9 – 132764,7)	$233048,3 \pm 5016,9$ (228031,3 – 238065,3)	$239762,14 \pm 23842,06$ (196022,5 – 278077,7)	-	238400,0	283200,0
P	413,54	327,15	143,22	331,25	$300,15 \pm 36,33$ (263,82 – 336,48)	$484,74 \pm 79,39$ (405,34 – 564,13)	$421,69 \pm 48,88$ (333,37 – 502,14)	-	670,0	690,0
K	13510,17	11873,93	14442,40	13119,90	$8558,2 \pm 125,98$ (8432,2 – 8684,18)	$13193,7 \pm 392,37$ (12801,33 – 13586,07)	$12922,25 \pm 446,34$ (12071,22 – 13581,14)	-	19800,0	22300,0
Sc	0,05	0,05	1,77	0,05	$10,71 \pm 0,97$ (9,74 – 11,68)	$4,41 \pm 1,22$ (3,19 – 5,63)	$2,74 \pm 2,0$ (0,05 – 6,65)	-	9,7	5,5
Ti	3270,23	2621,25	4094,28	2751,29	$2557,91 \pm 35,7$ (2522,21 – 2593,6)	$3892,0 \pm 239,36$ (3652,64 – 4131,36)	$4417,41 \pm 132,82$ (4264,58 – 4681,98)	-	3500,0	3930,0
V	80,53	52,33	69,71	81,54	$63,48 \pm 20,06$ (43,42 – 83,54)	$53,98 \pm 7,89$ (46,09 – 61,87)	$93,28 \pm 3,64$ (86,0 – 97,18)	150*	91,0	120,0
Cr	70,58	56,04	55,98	72,13	$153,64 \pm 103,61$ (3652,64 – 4131,36)	$83,98 \pm 1,95$ (82,04 – 85,93)	$97,03 \pm 5,63$ (89,73 – 108,1)	-	76,6	92,4
Mn	1005,69	564,39	450,62	570,43	$571,41 \pm 123,85$ (447,55 – 695,26)	$609,2 \pm 12,69$ (596,51 – 621,88)	$729,31 \pm 48,18$ (633,4 – 785,31)	1500*	730,0	770,0

Fe	36855,93	27165,31	17380,80	27940,92	$\frac{29854,18 \pm 4225,9}{(25628,3 - 34080,06)}$	$\frac{29619,9 \pm 2473,71}{(27146,19 - 32093,61)}$	$\frac{39924,3 \pm 486,8}{(39175,63 - 40837,62)}$	-	35400,0	40600,0
Co	14,31	9,92	7,54	11,07	$\frac{9,87 \pm 1,4}{(8,46 - 11,27)}$	$\frac{11,14 \pm 1,02}{(10,12 - 12,16)}$	$\frac{15,21 \pm 0,39}{(14,46 - 15,74)}$	5*	14,0	17,0
Ni	9,64	5,32	7,25	18,47	$\frac{11,92 \pm 5,35}{(6,57 - 17,27)}$	$\frac{12,09 \pm 0,26}{(11,83 - 12,35)}$	$\frac{20,01 \pm 6,7}{(11,38 - 33,21)}$	40**	38,0	50,0
Cu	67,08	31,87	14,88	34,85	$\frac{23,49 \pm 3,49}{(20,0 - 26,98)}$	$\frac{74,63 \pm 43,87}{(30,76 - 118,50)}$	$\frac{68,19 \pm 17,94}{(44,59 - 103,39)}$	66**	31,0	39,0
Zn	177,74	79,45	58,02	77,55	$\frac{61,49 \pm 12,0}{(49,49 - 73,49)}$	$\frac{127,39 \pm 46,13}{(81,26 - 173,52)}$	$\frac{230,02 \pm 81,5}{(126,81 - 391,45)}$	110**	69,0	75,0
Ga	12,15	10,42	10,36	11,01	$\frac{9,73 \pm 1,0}{(8,74 - 10,73)}$	$\frac{11,86 \pm 0,01}{(11,85 - 11,87)}$	$\frac{15,97 \pm 0,53}{(15,12 - 16,94)}$	-	12,0	19,0
Ge	1,71	1,35	1,03	1,04	$\frac{0,95 \pm 0,07}{(0,88 - 1,02)}$	$\frac{1,07 \pm 0,21}{(0,86 - 1,29)}$	$\frac{1,39 \pm 0,04}{(1,31 - 1,46)}$	-	1,4	1,3
As	2,50	2,50	18,18	25,63	$\frac{18,31 \pm 9,33}{(8,98 - 27,64)}$	$\frac{4,61 \pm 2,11}{(2,5 - 6,71)}$	$\frac{8,79 \pm 2,16}{(5,83 - 13,0)}$	2*/5**	7,7	5,6
Rb	65,99	59,21	57,49	62,62	$\frac{40,69 \pm 5,58}{(35,11 - 46,27)}$	$\frac{59,0 \pm 0,29}{(58,71 - 59,29)}$	$\frac{74,94 \pm 2,49}{(70,01 - 78,01)}$	-	92,0	98,0
Sr	148,34	187,36	155,61	213,45	$\frac{106,3 \pm 4,38}{(101,95 - 110,7)}$	$\frac{187,81 \pm 37,23}{(150,58 - 225,03)}$	$\frac{226,82 \pm 44,63}{(142,1 - 293,5)}$	-	270,0	270,0
Y	12,18	9,42	10,84	10,12	$\frac{9,08 \pm 0,32}{(8,77 - 9,4)}$	$\frac{12,92 \pm 0,07}{(12,85 - 12,99)}$	$\frac{15,21 \pm 0,19}{(14,85 - 15,52)}$	-	29,0	26,0
Zr	83,81	69,82	104,65	70,87	$\frac{65,09 \pm 2,25}{(62,84 - 67,35)}$	$\frac{102,83 \pm 0,23}{(102,6 - 103,07)}$	$\frac{107,57 \pm 0,31}{(107,19 - 108,17)}$	-	170,0	160,0
Nb	7,80	6,65	10,34	6,55	$\frac{6,42 \pm 0,24}{(6,17 - 6,66)}$	$\frac{9,37 \pm 0,4}{(8,97 - 9,77)}$	$\frac{11,25 \pm 0,56}{(10,51 - 12,35)}$	-	7,6	12,0
Mo	2,00	3,35	0,68	3,06	$\frac{2,95 \pm 0,1}{(2,85 - 3,05)}$	$\frac{2,49 \pm 1,13}{(1,35 - 3,62)}$	$\frac{1,93 \pm 0,71}{(0,8 - 3,23)}$	-	1,5	1,6
Ag	0,25	0,12	0,20	0,14	$\frac{0,17 \pm 0,03}{(0,14 - 0,2)}$	$\frac{0,22 \pm 0,05}{(0,17 - 0,28)}$	$\frac{0,20 \pm 0,01}{(0,19 - 0,2)}$	-	0,1	0,1
Cd	0,33	0,12	0,21	0,24	$\frac{0,22 \pm 0,08}{(0,13 - 0,3)}$	$\frac{0,29 \pm 0,14}{(0,15 - 0,43)}$	$\frac{0,27 \pm 0,03}{(0,21 - 0,31)}$	-	0,8	0,6
Sn	2,40	1,35	1,58	1,90	$\frac{1,92 \pm 0,61}{(1,31 - 2,52)}$	$\frac{18,29 \pm 15,24}{(3,06 - 33,53)}$	$\frac{2,59 \pm 0,36}{(2,15 - 3,30)}$	-	2,7	3,5

Sb	3,05	0,69	0,50	0,89	$\frac{0,85 \pm 0,17}{(0,69 - 1,02)}$	$\frac{1,61 \pm 0,61}{(1,0 - 2,22)}$	$\frac{1,58 \pm 0,54}{(0,81 - 2,62)}$	4,5*	0,9	0,8
Cs	3,16	2,92	1,99	2,80	$\frac{2,7 \pm 0,35}{(2,35 - 3,05)}$	$\frac{2,78 \pm 0,19}{(2,59 - 2,97)}$	$\frac{4,58 \pm 0,15}{(4,31 - 4,85)}$	-	9,5	5,5
Ba	429,86	447,80	490,51	457,79	$\frac{228,94 \pm 7,88}{(221,07 - 236,82)}$	$\frac{457,32 \pm 94,24}{(363,08 - 551,56)}$	$\frac{481,23 \pm 26,0}{(429,92 - 514,18)}$	-	410,0	510,0
La	16,36	16,37	19,24	15,22	$\frac{14,41 \pm 0,79}{(13,62 - 15,2)}$	$\frac{20,46 \pm 0,76}{(19,7 - 21,23)}$	$\frac{23,74 \pm 0,52}{(22,95 - 24,73)}$	-	32,0	32,0
Ce	34,86	34,08	41,68	33,46	$\frac{29,21 \pm 0,41}{(28,8 - 29,62)}$	$\frac{43,03 \pm 0,77}{(42,26 - 43,81)}$	$\frac{50,88 \pm 0,43}{(50,23 - 51,7)}$	-	52,0	63,0
Pr	3,77	3,89	4,61	3,82	$\frac{3,58 \pm 0,23}{(3,35 - 3,81)}$	$\frac{4,99 \pm 0,09}{(4,9 - 5,07)}$	$\frac{5,84 \pm 0,06}{(5,74 - 5,92)}$	-	6,8	8,7
Nd	14,93	14,22	17,02	14,58	$\frac{13,97 \pm 1,8}{(12,17 - 15,77)}$	$\frac{18,41 \pm 0,43}{(17,98 - 18,83)}$	$\frac{21,58 \pm 0,42}{(20,98 - 22,39)}$	-	24,0	29,0
Sm	2,93	2,44	3,34	2,77	$\frac{2,4 \pm 0,35}{(2,04 - 2,75)}$	$\frac{3,5 \pm 0,07}{(3,43 - 3,56)}$	$\frac{4,15 \pm 0,12}{(3,91 - 4,28)}$	-	5,5	5,7
Eu	0,71	0,57	0,71	0,64	$\frac{0,57 \pm 0,03}{(0,55 - 0,6)}$	$\frac{0,75 \pm 0,05}{(0,7 - 0,8)}$	$\frac{0,92 \pm 0,03}{(0,87 - 0,99)}$	-	0,9	1,3
Gd	3,31	2,72	3,26	2,72	$\frac{2,57 \pm 0,25}{(2,32 - 2,82)}$	$\frac{3,39 \pm 0,03}{(3,36 - 3,42)}$	$\frac{4,08 \pm 0,19}{(3,84 - 4,45)}$	-	4,0	6,3
Tb	0,47	0,41	0,42	0,36	$\frac{0,29 \pm 0,03}{(0,26 - 0,32)}$	$\frac{0,53 \pm 0,01}{(0,52 - 0,55)}$	$\frac{0,57 \pm 0,02}{(0,54 - 0,60)}$	-	0,7	0,9
Dy	2,45	2,12	2,11	2,17	$\frac{1,91 \pm 0,05}{(1,86 - 1,96)}$	$\frac{2,5 \pm 0,15}{(2,36 - 2,65)}$	$\frac{3,06 \pm 0,02}{(0,03 - 3,10)}$	-	3,6	4,8
Ho	0,48	0,39	0,44	0,52	$\frac{0,34 \pm 0,01}{(0,33 - 0,36)}$	$\frac{0,47 \pm 0,01}{(0,46 - 0,48)}$	$\frac{0,59 \pm 0,02}{(0,56 - 0,62)}$	-	0,9	1,3
Er	1,28	1,14	1,28	0,98	$\frac{0,96 \pm 0,02}{(0,93 - 0,98)}$	$\frac{1,43 \pm 0,06}{(1,37 - 1,49)}$	$\frac{1,69 \pm 0,03}{(1,64 - 1,73)}$	-	1,7	2,7
Tm	0,25	0,18	0,21	0,17	$\frac{0,17 \pm 0,01}{(0,16 - 0,19)}$	$\frac{0,22 \pm 0,02}{(0,21 - 0,24)}$	$\frac{0,26 \pm 0,01}{(0,25 - 0,28)}$	-	0,4	0,4
Yb	1,36	1,09	1,17	1,13	$\frac{0,93 \pm 0,09}{(0,84 - 1,01)}$	$\frac{1,43 \pm 0,01}{(1,43 - 1,44)}$	$\frac{1,55 \pm 0,04}{(1,50 - 1,62)}$	-	2,0	2,5
Lu	0,20	0,14	0,17	0,13	$\frac{0,14 \pm 0,0}{(0,14 - 0,14)}$	$\frac{0,20 \pm 0,0}{(0,20 - 0,21)}$	$\frac{0,24 \pm 0,02}{(0,21 - 0,27)}$	-	0,3	0,5

Продолжение таблицы 14

Hf	1,49	1,33	2,11	1,33	$\frac{1,3 \pm 0,03}{(1,27 - 1,32)}$	$\frac{2,08 \pm 0,03}{(2,05 - 2,11)}$	$\frac{2,08 \pm 0,14}{(1,80 - 2,25)}$	-	3,9	4,5
Ta	0,55	0,43	0,68	0,42	$\frac{0,42 \pm 0,01}{(0,40 - 0,43)}$	$\frac{0,68 \pm 0,08}{(0,60 - 0,76)}$	$\frac{0,73 \pm 0,05}{(0,66 - 0,82)}$	-	1,0	1,4
W	5,72	0,87	0,86	1,09	$\frac{9,45 \pm 3,69}{(5,76 - 13,14)}$	$\frac{1,52 \pm 0,14}{(1,38 - 1,65)}$	$\frac{1,99 \pm 0,28}{(1,6 - 2,53)}$	-	2,0	2,0
Tl	0,36	0,33	0,28	0,34	$\frac{0,23 \pm 0,06}{(0,17 - 0,29)}$	$\frac{0,31 \pm 0,04}{(0,27 - 0,34)}$	$\frac{0,37 \pm 0,02}{(0,33 - 0,40)}$	-	0,9	0,8
Pb	345,92	20,31	14,06	25,06	$\frac{30,76 \pm 13,63}{(17,13 - 44,39)}$	$\frac{161,96 \pm 112,83}{(49,13 - 274,79)}$	$\frac{85,36 \pm 42,18}{(25,07 - 166,6)}$	32*	12,0	17,0
Bi	0,23	0,11	0,11	0,12	$\frac{0,16 \pm 0,02}{(0,14 - 0,18)}$	$\frac{0,25 \pm 0,12}{(0,13 - 0,37)}$	$\frac{0,27 \pm 0,03}{(0,22 - 0,33)}$	-	0,3	0,3
Th	4,50	4,05	5,05	4,34	$\frac{3,19 \pm 0,09}{(3,82 - 4,01)}$	$\frac{5,61 \pm 0,12}{(5,49 - 5,73)}$	$\frac{7,08 \pm 0,14}{(6,8 - 7,26)}$	-	9,9	9,1
U	1,74	1,61	1,18	1,88	$\frac{1,25 \pm 0,19}{(1,05 - 1,44)}$	$\frac{1,87 \pm 0,03}{(1,84 - 1,89)}$	$\frac{1,97 \pm 0,11}{(1,83 - 2,19)}$	-	3,2	2,5

Примечание: среднее содержание химических элементов (мг/кг) в буровых шламах по данным анализа ИСП-МС, $\pm$ - стандартная ошибка; (min-max) – минимальное и максимальное значение.

ОГП – среднее содержание химических элементов в осадочных горных породах в целом.

Кларк – среднее содержание химических элементов в верхней части континентальной коры (Григорьев, 2009).

*ПДК почвы - ГН 2.1.7.2041-06

**ОДК почвы - ГН 2.1.7.2511-09

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.

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. 15).

Таблица 15 – Геохимические ряды для бурового шлама нефтяных месторождений Томской области

Месторождение	Геохимический ряд	Zc
Первомайское	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}	29,19
Катыльгинское	Mo _{2,14} –Pb _{1,19} –Ag _{1,10} –Zn _{1,05} –Ge _{1,03}	2,54
Южно-Черемшанское	As _{3,24} –Ag _{1,79} –Si _{1,08} –Ti _{1,04}	4,17
Лугинецкое	As _{4,57} –Mo _{1,96} –Pb _{1,47} –Ag _{1,23} –Sb _{1,09} –Si _{1,07} –Zn _{1,03}	6,45
Кулгинское	W _{4,66} –As _{3,27} –Sc _{1,95} –Mo _{1,89} –Pb _{1,81} –Cr _{1,66} –Ag _{1,55} –Sb _{1,05}	10,84
Шингинское	Pb _{9,52} –Sn _{5,22} –Ag _{2,03} –Sb _{1,98} –Cu _{1,91} –Zn _{1,69} –Mo _{1,59} –Be _{1,27}	18,26
Южно-Шингинское	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}	10,61

Примечание: Zc – суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по результатам МС- ИСП; степени загрязнения (Сае и др., 1990): низкая (0 - 16); средняя (16 - 32); высокая (32 - 128); очень высокая (более 128).

Геохимические ряды представлены элементами, расположенными в порядке убывания по кларку концентрации (Kk). Так как кларк концентрации свидетельствует о рассеянии элемента в природе, то элемент с наименьшим кларком концентрации будет максимально рассеян в исследуемом объекте, и наоборот. Сравнение геохимических рядов, полученных при анализе показало, что в числе элементов с максимальной концентрацией (больше единицы) выделяются Ag, Pb, Zn, As, Mo, Cu. Данные элементы накапливаются в более половине случаев.

Накопление элементов в исследуемых пробах бурового шлама различное. Буровой шлам с Первомайского месторождения характеризуется высокой концентрацией Pb, Sb, W, Zn, Ag, Cu, Ge, Mn, Mo. В данной пробе свинец выделяется максимальной концентрацией в сравнении с другими исследуемыми пробами бурового шлама. В целом, проба характеризуется высоким кларком концентрации для большинства химических элементов, что подтверждает показатель суммарного загрязнения. В пробе бурового шлама с Катыльгинского месторождения отмечено

накопление таких элементов как Mo, Pb, Ag, Zn, Ge. Показатель суммарного загрязнения наименьший в сравнении с остальными пробами бурового шлама.

Анализ данных, полученных при исследовании пробы бурового шлама с Южно-Черемшанского месторождения, показал высокое накопления As, Ag, Si, Ti. Проба бурового шлама с Лугинецкого месторождения выделяется накоплением тяжелых металлов – As, Mo, Pb, Zn, также концентрируются – Ag, Sb, Si. При исследовании пробы бурового шлама с Кулгинского месторождения отмечается высокое накопление W, As, Sc, Mo, Ag, Pb.

По степени загрязнения пробы бурового шлама, в основном, имеют низкую степень загрязнения, за исключением проб с Первомайского и Шингинского месторождений, которые имеют среднюю степень.

Поскольку на Шингинском и Южно-Шингинском месторождениях пробы отбирались на разных кустовых площадках и шламовых амбарах, геохимические ряды строились по среднему значению кларков концентрации. В целом, пробы характеризуются высоким показателем суммарного загрязнения, идет накопление таких элементов, как Pb, Zn, Ag, Sb, Cu, Mo. Буровой шлам с Шингинского месторождения выделяется накоплением Sn, Be. В шламе с Южно-Шингинского месторождения концентрируются As, Ti, Ge, Cr.

На Шингинском и Южно-Шингинском месторождениях проводилось комплексное опробование: отбирались пробы бурового шлама и жидкой фазы шламовых амбаров, почва с рекультивируемых амбаров и рядом с действующими шламовыми амбарами. Элементный состав проб буровых шламов с Шингинского и Южно-Шингинского месторождения рассматривался отдельно.

Диаграммы для бурового шлама с Шингинского и Южно-Шингинского нефтяных месторождений представлены на рис. 21 и 22.

Шингинское месторождение

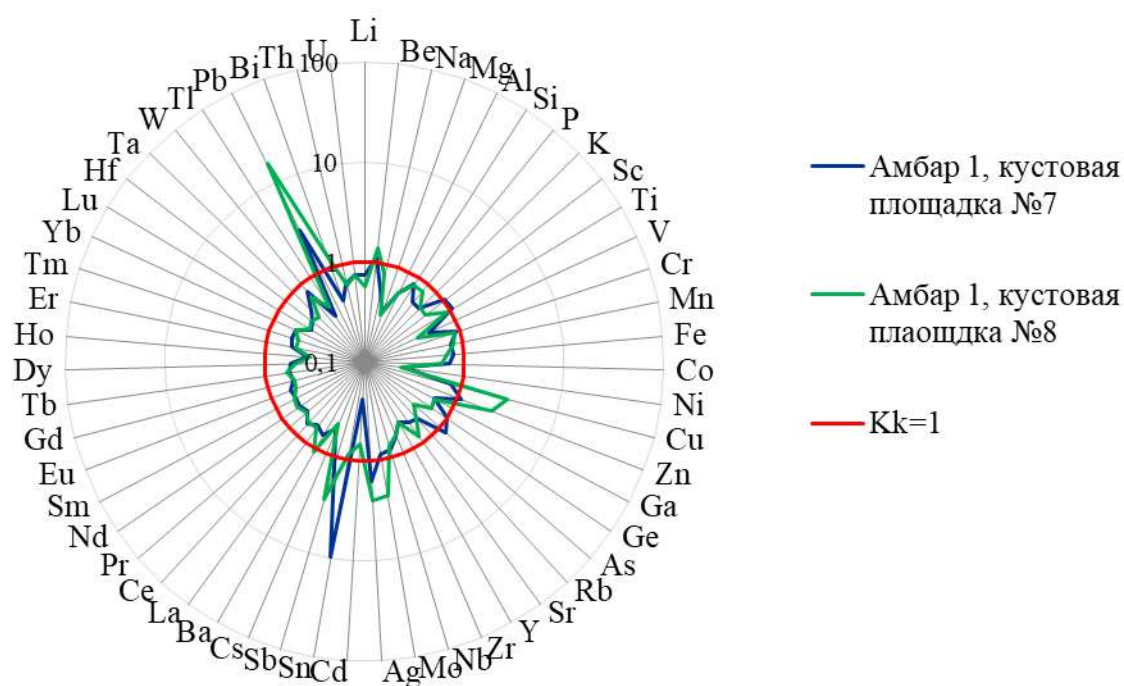


Рисунок 21 – Геохимическая специфика бурового шлама с Шингинского месторождения, кустовая площадка № 7 и № 8

Южно-Шингинское месторождение, кустовая площадка №3

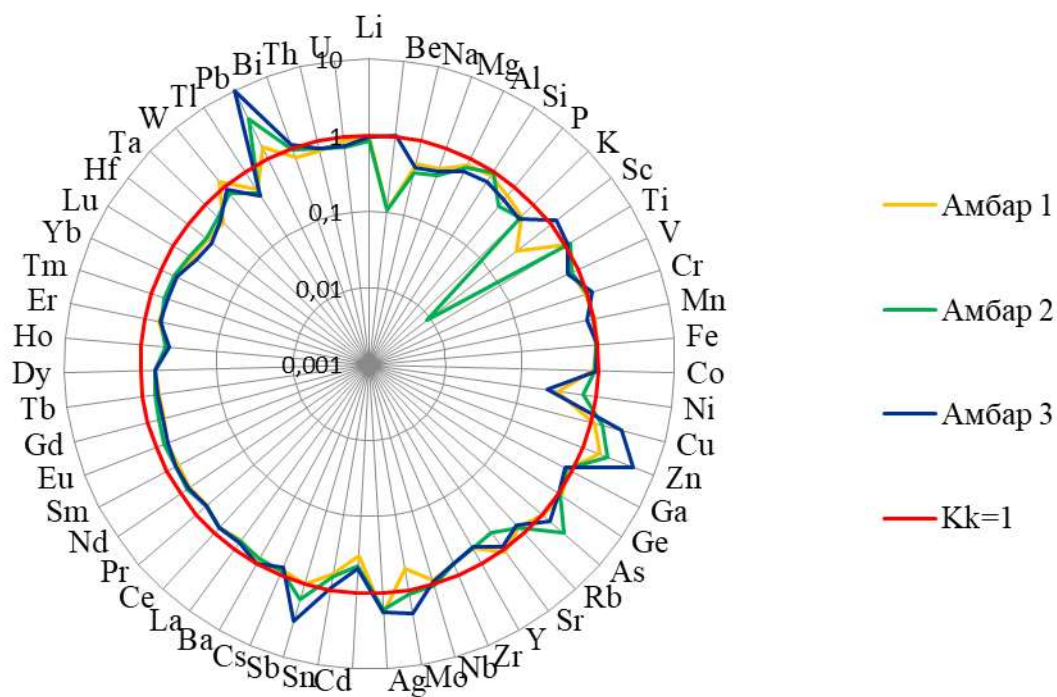


Рисунок 22 – Геохимическая специфика бурового шлама с Южно-Шингинского месторождения, кустовая площадка № 3

Буровые шламы из амбаров разных кустовых площадок Шингинского месторождения характеризуются содержанием следующих элементов: для шламов с амбаров кустовой площадки № 7 характерны повышенные концентрации Pb, Sn, Sb, Ag, As; кустовой площадки № 8 – Pb, Zn, Sb, Cu, Mo, Ag, Be. В буровых шламах из амбаров Южно-Шингинского месторождения отмечены повышенные концентрации Pb, Zn, Cu, Mo, Ag, W, Sb, As. Динамика накопления элементов в буровом шламе хорошо прослеживается на примере таких элементов, как Zn, Pb, Mo, Sb, для которых фиксируется увеличение концентрации от амбара № 1 к амбару № 3. Следует отметить, что содержание элементов в шламе амбара № 3 выше, чем в шламе остальных амбаров на данном месторождении, что, вероятно, связано с тем, что на момент отбора данный амбар находился в эксплуатации (табл. 16).

Территориально близкое расположение месторождений оказало влияние на схожесть элементного состава исследуемых буровых шламов. В их составе преобладают металлы и металлоиды и, в соответствии с полученными данными, химические вещества можно разделить по степени опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83): наиболее опасный, I класс – As, Pb, Zn; II класс – Cu, Mo, Sb; III класс – Ba, Mn, W.

Таблица 16 – Кларки концентрации химических элементов в буровом шламе нефтяных месторождений (Шингинское и Южно-Шингинское) (Климова и др., 2020).

Диапазон	Химические элементы				
	Шингинское месторождение (2)		Южно-Шингинское месторождение (3)		
	Кустовая площадка №7	Кустовая площадка №8	Кустовая площадка №3		
	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 2	амбар 3
> 3	Sn,	Pb, Cu	-	Pb	Pb, Sb, Zn
2 - 3	Pb	Sb, Ag, Mo, Zn	-	As, Zn	Cu, Mo
1 - 2	Ag, Sb, As, Be, Zn, Ti, Sc	Be, Bi, Ba	Ag, Zn, Pb, W, Cu, Ge, Sr, Ti, As, Mn, Sb	Ag, Sb, Cu, Ti, Mo, Hg, Ge, Nb, Cr, Mn	Ag, As, Sc, Cr, Bi, Ti, Be, Ba, Ge, Fe,
0,5 - 1	Ge, Cr, Mo, Si, Nb, W, Fe, Cu, Mn, Li, U, Co, Ba, Ce, Zr, Th, Ga, Nb, La, Eu, Rb, Sm, Al, P, Tb, Tm, Yb, K, Pr, Sr, Er, Dy, Ta, Gd, Cs, Na, V, Y	Ti, Cr, Sn, Sr, P, Mn, Si, Na, U, Nb, W, Cd, Ce, Fe, La, Ge, Nd, Zr, Sm, Ga, Tb, K, Th, Rb, Co, Al, Pr, Sc, Yb, Li, Eu, Gd, Er	Ba, Fe, Cr, Li, Ga, Nb, U, Si, Co, Cs, Al, V, Ce, Rb, Th, Bi, P, Nd, La, Eu, Sm, Zr, Pr, Dy, Er, Tm, Sn, Tb, Yb, K, Gd, Y, Mg, Tl, Mo, Lu	Si, Bi, Fe, Co, Cs, Li, Ba, Ga, Ce, V, Th, Rb, W, Nd, Eu, Sm, Al, La, U, Gd, Tb, Pr, Zr, Ni, Tm, Sn, Yb, Dy, Er, K, Y, Ta, Lu, Sr, Hf	Li, Sn, Co, Nb, Sr, W, Mn, Ce, Ga, Th, Cs, La, U, Sm, Nd, V, Rb, Si, Pr, Zr, Eu, Al, Dy, Tb, Er, Gd, P, Tm, Yb, Y, K, Ta
< 0,5	Hf, Bi, Lu, Hg, Ho, Tl, Mg, Ni, Cd	Y, Tm, Dy, Cs, Hf, As, Tl, Lu, Ta, Hg, V, Ho, Mg, Ni	Na, Hf, Ta, Ho, Hg, Cd, Ni, Sc, Be	P, Ho, Tl, Cd, Mg, Na, Be, Sc	Cd, Mg, Lu, Na, Tl, Ho, Hf, Hg, Ni
Zc	12,78	24,85	3,81	8,54	20,77

Примечание: в скобках указано количество проб; Zc - суммарный показатель загрязнения.

*- расчет произведен относительно среднего состава верхней части континентальной земной коры по Григорьеву Н.А. (2009).

В представленной таблице показана специфика накопления химических элементов в буровом шламе. Наибольшая концентрация элементов отмечается в амбаре № 3 Южно-Шингинского месторождения, где выделяются 15 элементов у которых кларк концентрации выше единицы. Накопление химических элементов снижается от эксплуатируемого амбара № 3 к недействующим амбарам (№ 1 и № 2). Величина суммарного показателя загрязнения, рассчитанная по кларку концентрации, показывает, что пробы шлама преимущественно относятся к низкой степени загрязнения, а в отдельных амбарах (Шингинское месторождение, кустовая площадка № 8 и Южно-Шингинское месторождение, кустовая площадка № 3, амбар № 3) к средней степени загрязнения.

Для установления геохимической характеристики бурового шлама было решено провести сравнительный анализ содержания химических элементов в буровых шламах (элементы с повышенными концентрациями: Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Sn, Sb, Ba, Pb) относительно среднего содержания химических элементов в верхней части континентальной коры, а также с такими показателями, как содержание химических элементов в почвах горизонта В, С Васюганской равнины и со средним содержанием химических элементов в осадочных горных породах в целом (табл. 17) (Климова и др., 2020).

В пробах бурового шлама с Шингинского и Южно-Шингинского месторождения содержание таких элементов как Pb, Zn, Cu превышает среднее содержание в почве (горизонт В и С), в осадочных горных породах в целом и также среднее содержание химических элементов в верхней части континентальной коры. Элементы Ba и Ti отмечены в повышенном количестве относительно рассматриваемых горизонтов почвы и осадочных горных пород (Климова и др., 2020).

Так как в ходе исследования выявилось повышенное содержание ряда элементов по данным масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, среднее содержание химических элементов в пробах бурового шлама сравнивалось с содержанием этих элементов в добавках для бурения, которые используются на исследуемых месторождениях (табл. 18). Установлено, что содержание элементов в добавках для бурения не оказывает существенного влияния на химический состав исследуемых проб бурового шлама. Тем не менее, есть элементы, содержание которых в технических добавках выше, чем в буровом шламе. Так, в добавках выше содержание Na, чем в буровом шламе, отобранном на Южно-Шингинском и Шингинском месторождении; Sr и Cs превышают средние значения в шламе относительно добавки за счёт ингибитора глины. В добавках для бурения содержится больше Tl. Его источниками являются профосфат натрия кислый, понизитель фильтрации, ингибитор глины, полионионовая целлюлоза.

Таблица 17 – Средние содержания химических элементов (мг/кг) в буровом шламе, в почве горизонта В, С, в осадочных горных породах и в верхней части континентальной коры (Климова и др., 2020).

Элементы	Данные автора		Сысо А.И., 2007*		Григорьев Н.А., 2009**	
	Шингинское месторождение	Южно-Шингинское месторождение	Горизонт В (70-80 см)	Горизонт С (155-165 см)	ОГП	Кларк
Ti	$\frac{3892,0 \pm 239,36}{(3652,64 - 4131,36)}$	$\frac{4417,41 \pm 132,82}{(4264,58 - 4681,98)}$	3400,00	3000,00	3500,00	3930
Cr	$\frac{83,98 \pm 1,95}{(82,04 - 85,93)}$	$\frac{97,03 \pm 5,63}{(89,73 - 108,1)}$	125,00	125,00	76,60	92,4
Mn	$\frac{609,2 \pm 12,69}{(596,51 - 621,88)}$	$\frac{729,31 \pm 48,18}{(633,4 - 785,31)}$	900,00	800,00	730,00	770
Fe, %	$\frac{2,96 \pm 0,24}{(2,71 - 3,2)}$	$\frac{3,99 \pm 0,048}{(3,91 - 4,08)}$	4,5	4,0	3,54	4,06
Cu	$\frac{74,63 \pm 43,87}{(30,76 - 118,5)}$	$\frac{68,19 \pm 17,94}{(44,59 - 103,39)}$	44,00	36,00	31,00	39
Zn	$\frac{127,39 \pm 46,13}{(81,26 - 173,52)}$	$\frac{230,02 \pm 81,5}{(129,81 - 391,45)}$	90,00	75,00	69,00	75
As	$\frac{4,61 \pm 2,11}{(2,5 - 6,71)}$	$\frac{8,79 \pm 2,16}{(5,83 - 13,0)}$	9,00	7,00	7,70	5,6
Mo	$\frac{2,49 \pm 1,13}{(1,35 - 3,62)}$	$\frac{1,93 \pm 0,71}{(0,8 - 3,23)}$	10,30	5,40	1,53	1,56
Ag	$\frac{0,22 \pm 0,05}{(0,17 - 0,28)}$	$\frac{0,2 \pm 0,01}{(0,19 - 0,2)}$	н.о.	н.о.	0,11	0,11
Sn	$\frac{18,29 \pm 15,24}{(3,06 - 33,53)}$	$\frac{2,59 \pm 0,36}{(2,15 - 3,3)}$	н.о.	н.о.	2,7	3,5
Sb	$\frac{1,61 \pm 0,61}{(1,0 - 2,22)}$	$\frac{1,58 \pm 0,54}{(0,81 - 2,62)}$	н.о.	н.о.	0,89	0,81
Ba	$\frac{457,32 \pm 94,24}{(363,08 - 551,56)}$	$\frac{481,23 \pm 26,0}{(429,92 - 514,18)}$	460,00	420,00	410,00	510
Pb	$\frac{161,96 \pm 112,83}{(49,13 - 274,79)}$	$\frac{85,36 \pm 42,18}{(25,07 - 166,6)}$	18,00	17,00	12,00	17

Примечание: среднее содержание химических элементов (мг/кг) в технических добавках для бурения по данным анализа ИСП-МС, $\pm$ - стандартная ошибка; (min-max) – минимальное и максимальное значение.

Сысо А.И., 2007* - содержание химических элементов в дерново-подзолистых почвах южной тайги Западной Сибири (Васюганская равнина).

Григорьев Н.А., 2009**: ОГП – среднее содержание химических элементов в осадочных горных породах в целом; кларк – среднее содержание химических элементов в верхней части континентальной коры.

Таблица 18 – Содержание химических элементов (в мг/кг) в технологических добавках для бурения в сравнении со средним содержанием элементов в буровом шлама

Элементы	Li	Be	Na	Mg	Al	Si	P	K	Sc	Ti	V	Cr	Mn
Среднее арифметическое значение по пробам бурового шлама	26,91	1,76	10942,90	7421,55	51760,95	237076,62	446,91	13030,83	3,41	4207,25	77,56	91,81	681,27
Профосфат натрия кислый	0,24	0,66	188175,32	78,29	213,90	3284,89	178680,06	158,03	1,12	25,57	<0,10	1,34	12,20
Понизитель фильтрации	0,37	<0,30	156682,36	201,09	219,38	3042,42	112,88	1727,88	0,14	44,57	0,94	6,22	10,13
Ингибитор глина	2,02	1,21	41791,41	4040,61	2605,82	11523,85	39,95	1055,95	1,68	166,82	33,81	6,28	147,85
Полипас *R	0,10	<0,30	78533,52	89,54	130,06	639,49	43,64	48,30	0,83	8,91	<0,10	1,94	2,90
Полионионовая целлюлоза	0,13	0,33	160592,92	105,46	251,14	879,35	54,40	84,41	2,68	14,32	0,15	3,64	12,90
Элементы	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
Среднее арифметическое значение по пробам бурового шлама	35802,54	13,58	16,84	70,77	188,97	14,32	1,26	7,12	68,56	211,21	14,29	105,67	10,50
Профосфат натрия кислый	217,28	0,18	1,35	2,69	12,18	1,04	<0,02	<0,50	0,38	0,84	<0,20	0,28	0,36
Понизитель фильтрации	639,24	0,25	0,35	7,46	25,83	<0,02	<0,02	<0,50	0,50	10,56	<0,20	0,44	0,05
Ингибитор глина	7050,53	1,60	2,56	4,06	11,24	0,85	0,18	<0,50	2,74	263,17	0,83	5,40	0,36
Полипас *R	130,43	0,02	0,41	0,85	0,30	<0,02	<0,02	<0,50	0,18	0,81	0,24	0,16	<0,05
Полионионовая целлюлоза	299,83	0,23	2,89	2,39	26,61	0,07	0,03	<0,50	0,14	1,82	<0,20	0,69	<0,05

Продолжение таблицы 18

Элементы	Mo	Cd	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
Среднее арифметическое значение по пробам бурового шлама	2,15	0,28	8,87	1,59	3,86	471,67	22,43	47,74	5,50	20,31	3,89	0,85	3,80
Профосфат натрия кислый	0,03	0,03	2,63	0,03	2,03	0,09	0,27	0,03	0,07	<0,01	0,01	0,03	<0,01
Понизитель фильтрации	<0,03	0,01	0,15	0,01	3,60	0,08	0,21	0,01	0,07	<0,01	0,01	0,02	<0,01
Ингибитор глина	0,14	<0,01	0,12	0,08	215,17	1,55	3,14	0,31	1,26	0,17	0,04	0,24	0,04
Полипас *R	<0,03	<0,01	0,06	0,01	1,76	0,05	0,11	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Полианиононая целлюлоза	<0,03	<0,01	0,13	0,01	1,92	0,08	0,18	0,01	0,07	<<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Элементы	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	Tl	Pb	Bi	Th
Среднее арифметическое значение по пробам бурового шлама	0,56	2,84	0,54	1,59	0,25	1,50	0,23	2,08	0,71	0,34	116,00	0,27	6,49
Профосфат натрия кислый	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,54	<0,01	0,02	0,01
Понизитель фильтрации	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	1,56	0,02	0,03	0,03
Ингибитор глина	0,18	0,02	0,12	0,02	0,07	0,02	0,14	0,04	0,07	6,88	0,02	0,45	0,22
Полипас *R	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,13	<0,01	<0,01	<0,01
Полианиононая целлюлоза	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,62	<0,01	0,03	0,01

4.2.2 Характеристика элементного состава проб жидкой фазы шламового амбара

Определение элементного состава и содержания нефтепродуктов в жидкой фазе шламовых амбаров проводилось в аккредитованных лабораториях химикоаналитического центра «Плазма» и областного государственного бюджетного учреждения (ОГБУ) «Облкомприрода» по аттестованным методикам.

По результатам исследования были получены данные о содержании химических элементов в жидкой фазе шламовых амбаров по сравнению с предельно допустимыми концентрациями химических веществ в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования; а также по сравнению и кларком элементов в речной воде (табл. 19). Таблица 19 – Содержание химических элементов (в мг/кг) в жидкой фазе шламовых амбаров по сравнению с предельно допустимыми концентрациями химических веществ в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования; а также по сравнению с кларком элементов в речной воде

Элемент	Южно-Шингинское месторождение			Шингинское месторождение		*ПДК _{хв} з. мг/л	**Кларк РВ
	Амбар 1, (КП №3), n=1	Амбар 2, (КП №3), n=1	Амбар 3, (КП №3), n=1	Амбар 1 (КП №7), n=1	Амбар 1 (КП №8), n=1		
Li	0,013	0,014	0,013	0,02	0,047	0,03	0,0025
Na	200	198	277	290	205	200	5
Mg	4,64	4,67	12,3	7,06	5,79	50	2,9
Al	0,305	0,395	1,24	1,2	1,46	0,2	0,16
Si	3,25	3,78	6,45	8,1	8,35	10	6
P	<0,05	<0,05	0,36	0,93	0,13	0,0001	0,04
K	4,65	4,59	7,6	8,18	23,95	-	2
Ca	19,64	24,78	82,39	40,55	33,86	-	12
Sc	0,0032	0,0021	0,0016	0,00071	<0,0005	-	0,000004
Ti	0,03	0,037	0,11	0,033	0,101	0,1	0,003
V	0,0042	0,00399	0,00703	0,0103	0,0074	0,1	0,001
Cr	0,0051	0,0049	0,01	0,0134	0,0034	0,05	0,001
Mn	0,056	0,077	0,76	0,38	0,25	0,1	0,01
Fe	0,58	0,64	3,15	4,76	2,56	0,3	0,04
Co	0,00047	0,00067	0,0014	0,0019	0,0018	0,1	0,0003
Ni	0,0025	0,0035	0,0036	0,0062	0,0039	0,02	0,0025
Cu	0,006	0,0051	0,0055	0,015	0,0073	1	0,007
Zn	0,013	0,0099	0,019	0,034	0,022	1	0,02
Ga	0,00018	0,00025	0,0006	0,00072	0,00059	-	0,0001
Ge	0,00018	<0,0001	0,00015	0,00023	0,00017	-	0,00007
As	0,0069	0,0071	0,0077	0,012	0,0098	0,01	0,002
Se	0,00068	0,00085	0,0048	<0,0001	0,0027	0,01	0,0002
Rb	0,0042	0,0041	0,0063	0,0047	0,0052	-	0,00002
Sr	0,58	0,57	2,52	1,2	1,02	7	0,05

Продолжение таблицы 19

Y	0,00036	0,00045	0,004	0,0081	0,0028	-	0,0007
Zr	0,00086	0,0012	0,0026	0,0022	0,003	-	0,0026
Nb	0,000057	0,000097	0,00028	0,000083	0,00018	0,01	0,000001
Mo	0,014	0,014	0,029	0,17	0,013	0,25	0,001
Ag	0,000047	0,000029	0,000042	0,0000102	<0,00001	0,05	0,0002
Cd	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,00012	0,000067	0,001	0,0002
Sn	<0,0001	<0,0001	0,00012	<0,0001	<0,0001	-	0,00004
Sb	0,00037	0,00049	0,00074	0,00045	0,00029	0,005	0,001
Cs	0,000059	0,00007	0,00018	0,00013	0,00011	-	0,00003
Ba	0,055	0,051	0,44	0,31	0,25	0,7	0,03
La	0,00067	0,00076	0,0042	0,0103	0,0036	-	0,00005
Ce	0,0015	0,00088	0,0101	0,026	0,0078	-	0,00008
Pr	0,00015	0,00015	0,0013	0,0029	0,00087	-	0,000007
Nd	0,00058	0,00082	0,005	0,013	0,0036	-	0,00004
Sm	0,00018	0,000023	0,0012	0,0028	0,00077	-	0,000008
Eu	0,000029	0,000036	0,00022	0,00064	0,00017	-	0,000001
Gd	0,00015	0,00012	0,00102	0,0024	0,00077	-	0,000008
Tb	0,000011	0,0000074	0,00017	0,00037	0,00012	-	0,000001
Dy	0,000075	0,0001	0,00073	0,0018	0,00048	-	0,000005
Ho	0,000015	0,000016	0,00012	0,00036	0,000101	-	0,000001
Er	0,000027	0,000039	0,00033	0,00071	0,00027	-	0,000004
Tm	0,0000088	0,0000104	0,00005	0,0001	0,000026	-	0,000001
Yb	0,0000087	0,000049	0,00023	0,00052	0,00018	-	0,000004
Lu	0,0000096	0,0000024	0,000044	0,00008	0,000033	-	0,000001
W	0,0043	0,0045	0,0036	0,011	0,0049	0,05	0,00003
Tl	<0,000001	0,0000073	0,0000084	0,0000031	<0,000001	0,0001	0,001
Pb	0,0015	0,0014	0,0056	0,0095	0,0084	0,01	0,0001
Th	0,00018	0,00017	0,00056	0,00062	0,00049	-	0,0001
U	0,0006	0,00051	0,0012	0,00203	0,00067	0,1	0,0005

Примечание: *ПДКхоз - ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования; ** Кларк РВ - кларки элементов в речной воде (растворенная форма) по (Виноградову, 1967.).

Среднее значение содержания химических элементов в жидкой фазе шламовых амбаров, полученное по результатам анализа пяти проб, представлено в таблице 20.

Таблица 20 – Среднее содержание химических элементов (мг/кг) в жидкой фазе шламовых амбаров в целом по сравнению с кларком элементов в речной воде

Элемент	Техническая вода, n=5	Кларк РВ	Элемент	Техническая вода, n=5	Кларк РВ
Li	$\frac{0,021 \pm 0,007}{(0,013 - 0,047)}$	0,0025	Nb	$\frac{0,00014 \pm 0,00004}{(0,00006 - 0,00028)}$	0,000001
Na	$\frac{234,0 \pm 20,34}{(198,0 - 290,0)}$	5	Mo	$\frac{0,048 \pm 0,031}{(0,013 - 0,17)}$	0,001
Mg	$\frac{6,89 \pm 1,42}{(4,64 - 12,3)}$	2,9	Ag	$\frac{0,00003 \pm 0,00001}{(0,00001 - 0,00005)}$	0,0002
Al	$\frac{0,92 \pm 0,23}{(0,305 - 1,46)}$	0,16	Cd	$\frac{0,00004 \pm 0,00002}{(0,00001 - 0,00012)}$	0,0002
Si	$\frac{5,98 \pm 1,06}{(3,25 - 8,35)}$	6	Sn	$\frac{0,00006 \pm 0,00001}{(0,00005 - 0,00012)}$	0,00004
P	$\frac{0,294 \pm 0,17}{(0,025 - 0,93)}$	0,04	Sb	$\frac{0,00047 \pm 0,00008}{(0,00029 - 0,00074)}$	0,001
K	$\frac{9,79 \pm 3,61}{(4,59 - 23,95)}$	2	Cs	$\frac{0,00011 \pm 0,00002}{(0,00006 - 0,00018)}$	0,00003
Ca	$\frac{40,24 \pm 11,14}{(19,64 - 82,39)}$	12	Ba	$\frac{0,221 \pm 0,075}{(0,051 - 0,44)}$	0,03
Sc	$\frac{0,002 \pm 0,001}{(0,0003 - 0,003)}$	0,000004	La	$\frac{0,004 \pm 0,0018}{(0,0007 - 0,010)}$	0,00005
Ti	$\frac{0,062 \pm 0,018}{(0,03 - 0,11)}$	0,003	Ce	$\frac{0,009 \pm 0,004}{(0,0009 - 0,026)}$	0,00008
V	$\frac{0,007 \pm 0,001}{(0,004 - 0,01)}$	0,001	Pr	$\frac{0,0011 \pm 0,0005}{(0,0002 - 0,003)}$	0,000007
Cr	$\frac{0,007 \pm 0,002}{(0,003 - 0,013)}$	0,001	Nd	$\frac{0,007 \pm 0,002}{(0,0006 - 0,013)}$	0,00004
Mn	$\frac{0,305 \pm 0,128}{(0,056 - 0,76)}$	0,01	Sm	$\frac{0,001 \pm 0,0005}{(0,056 - 0,0028)}$	0,000008
Fe	$\frac{2,34 \pm 0,79}{(0,58 - 4,76)}$	0,04	Eu	$\frac{0,0002 \pm 0,0001}{(0,00003 - 0,0006)}$	0,000001
Co	$\frac{0,001 \pm 0,0003}{(0,0005 - 0,002)}$	0,0003	Gd	$\frac{0,0009 \pm 0,0004}{(0,00012 - 0,0024)}$	0,000008
Ni	$\frac{0,004 \pm 0,001}{(0,003 - 0,006)}$	0,0025	Tb	$\frac{0,0001 \pm 0,00007}{(0,00001 - 0,0004)}$	0,000001
Cu	$\frac{0,008 \pm 0,002}{(0,005 - 0,015)}$	0,007	Dy	$\frac{0,0006 \pm 0,0003}{(0,00008 - 0,0018)}$	0,000005
Zn	$\frac{0,02 \pm 0,004}{(0,01 - 0,034)}$	0,02	Ho	$\frac{0,00012 \pm 0,00006}{(0,00002 - 0,00036)}$	0,000001
Ga	$\frac{0,0005 \pm 0,0001}{(0,0002 - 0,001)}$	0,0001	Er	$\frac{0,0003 \pm 0,0001}{(0,00003 - 0,00071)}$	0,000004
Ge	$\frac{0,0002 \pm 0,00001}{(0,0001 - 0,0002)}$	0,00007	Tm	$\frac{0,00004 \pm 0,00001}{(0,0001 - 0,0010)}$	0,000001
As	$\frac{0,009 \pm 0,001}{(0,007 - 0,012)}$	0,002	Yb	$\frac{0,0002 \pm 0,00009}{(0,00001 - 0,00052)}$	0,000004
Se	$\frac{0,002 \pm 0,001}{(0,0001 - 0,005)}$	0,0002	Lu	$\frac{0,000034 \pm 0,000014}{(0,000002 - 0,00008)}$	0,000001
Rb	$\frac{0,005 \pm 0,0004}{(0,004 - 0,006)}$	0,00002	W	$\frac{0,006 \pm 0,0014}{(0,0036 - 0,011)}$	0,00003
Sr	$\frac{1,18 \pm 0,36}{(0,57 - 2,52)}$	0,05	Tl	$\frac{0,000004 \pm 0,0000017}{(0,0000005 - 0,00001)}$	0,001
Y	$\frac{0,003 \pm 0,001}{(0,0004 - 0,008)}$	0,0007	Pb	$\frac{0,005 \pm 0,0017}{(0,0014 - 0,0095)}$	0,0001

Zr	$\frac{0,002 \pm 0,0004}{(0,001 - 0,003)}$	0,0026	Th	$\frac{0,0004 \pm 0,0001}{(0,00017 - 0,00062)}$	0,0001
-	-	-	U	$\frac{0,001 \pm 0,00028}{(0,00051 - 0,00203)}$	0,0005

Примечание: среднее содержание химических элементов (мг/кг) в пробах жидкой фазы по данным анализа ИСП-МС, $\pm$ - стандартная ошибка; (min-max) – минимальное и максимальное значение. Кларк РВ - среднее содержание химических элементов в речной воде. n – количество проб.

Определение элементного состава выявило высокое содержание элементов относительно кларка элементов в речной воде (растворенная форма) (по Виноградову, 1967). Распределение кларков концентрации показано на рис. 23 и 24. Проанализировав полученные данные в результате исследования проб жидкой фазы шламовых амбаров, отобранной с Шингинского месторождения, видно, что происходит накопление РЗЭ, таких как: W, Pb, Li, Na, Sc, Mn, Fe, Ga, As, Rb, Sr, Nb, Mo. Есть различия в накоплении ряда элементов: для бурового шлама с амбара, расположенного на кустовой площадке № 7, отмечается повышенная концентрация у РЗЭ W, P, Y, Sc, Cr, Mo, U; в буровом шламе с кустовой площадки № 8 в большей степени концентрируются Li, Al, K, Ti, Se.

Согласно результатам элементного анализа проб жидкой фазы шламовых амбаров с Южно-Шингинского месторождения, концентрирование происходит у следующего ряда элементов: РЗМ, W, Pb, Na, Sc, Mn, Fe, Rb, Nb, Mo, As, V, Cr, P. Прослеживается динамика в накоплении элементов от недействующего шламового амбара к эксплуатируемому амбару на момент отбора. При сравнении результатов по месторождениям, отмечается повышенное концентрирование РЗЭ, W, Pb, Na, Sc, Rb, Nb, Mo. Содержание большинства химических элементов превышает значения кларка речной воды (по Виноградову, 1967). Были выделены элементы, превышающие значения ПДК вод – это Fe, P, Na, Al.

Также сравнивалось содержание элементного состава жидкой фазы шламовых амбаров с ПДК в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Для Шингинского месторождения есть превышения для элементов: Mo – 19 ПДК; Al – 16,2 ПДК; Fe – 14,6 ПДК; Cu – 6 ПДК; W – 5 ПДК; Sr – 3 ПДК; Na – 1,9 ПДК; Zn – 1,4 ПДК. Для Южно-Шингинского месторождения превышения отмечается для Mo – 92 ПДК; Al – 33,3 ПДК; Fe – 36,6 ПДК; Cu – 11 ПДК; W – 10 ПДК; Zn – 2,8 ПДК; Sr – 2,8 ПДК; Na – 2 ПДК; РВ - 1,5 ПДК ; Ti – 1,1 ПДК.

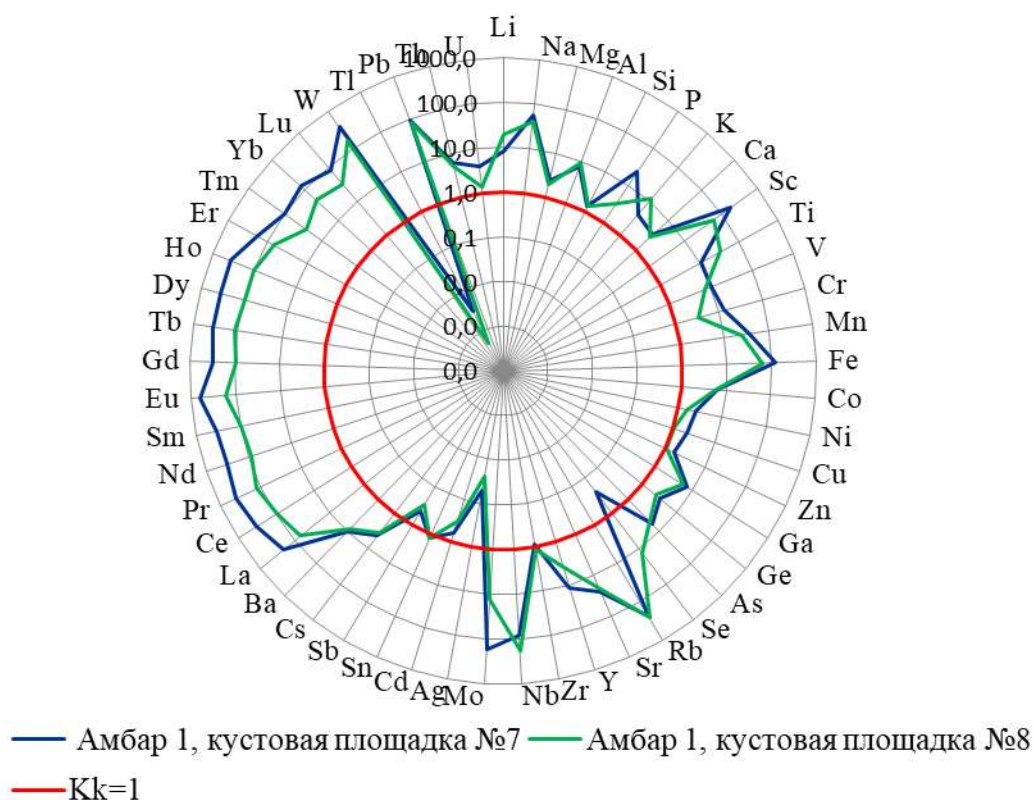


Рисунок 23 – Распределение кларков концентрации (Кк) в исследуемых пробах жидкой фазы шламовых амбаров Шингинского месторождений

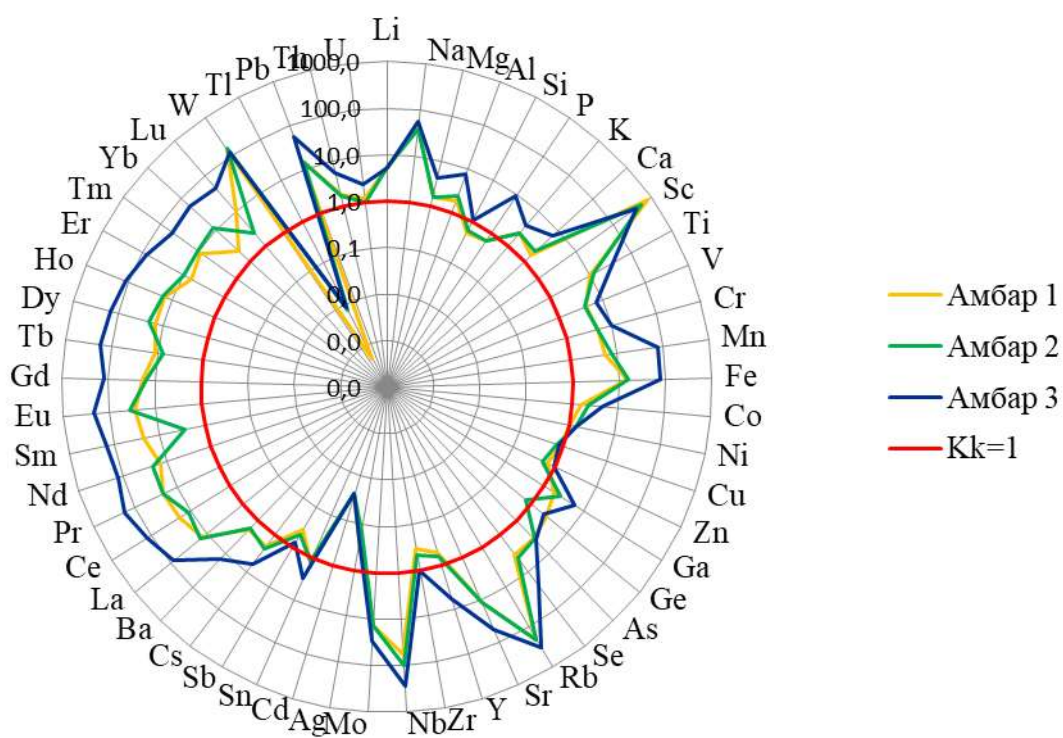


Рисунок 24 – Распределение кларков концентрации (Кк) в исследуемых пробах жидкой фазы шламовых амбаров Южно-Шингинского месторождений, кустовая площадка № 3

4.2.3 Характеристика элементного состава почвы

В данной работе была предпринята попытка изучения элементного состава почв, отобранных рядом со шламовыми амбарами с целью установления их влияния (как возможного источника загрязнения).

В настоящем исследовании содержание химических элементов в почвах, отобранных рядом со шламовыми амбарами, сравнивалось с величиной кларков в земной коре (Григорьева, 2009) и со средним содержанием элементов в почвах Западной Сибири (Сысо, 2007).

Анализ данных в исследуемом материале показал, что содержание химических элементов в пробах почвы не превышает кларковое значение и среднее содержание элементов в почвах Западной Сибири, за исключением ряда элементов, концентрация которых выше кларка ЗК – это Ti, Ge, Se, Nb, Ag, Sb. Тем не менее, относительно фоновой пробы превышений не установлено. Полученные результаты представлены в таблице 21.

Согласно представленной таблице, у ряда элементов (As, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn, Co) сравнивалось значение среднего содержания химических элементов в пробах почвы и валового ПДК/ОДК для почв (ГН 2.1.7.2041-06; ГН 2.1.7.2511-09). Отмечается, что среднее содержание Pb и Co превышает ПДК. Содержание Mn, Sb ниже установленного ПДК, Zn, Cu, Ni меньше ОДК.

Также для почв был рассчитан кларк концентрации химических элементов земной коры и построены диаграммы распределения по интервалам отбора проб (рис. 25). Установлено, что, распределение химических элементов по интервалам отбора равномерное. Есть различия в распределении ряда элементов. Так, например, в почвах с Шингинского месторождения элементы Al, Cd, Hg накапливаются больше в интервале отбора от 0-10 см, в то время как Be больше концентрируется в нижнем слое (10-20 см). У проб с Южно-Шингинского месторождения ситуации похожая у Ni, Cu, Hg, W – концентрация выше в верхнем слое (0-10 см). В интервале от 10-20 см накапливаются Be, Cd, Cs.

Общими элементами, накапливающимися в почвах Шингинского и Южно-Шингинского месторождений, независимо от интервала отбора пробы, являются Ti, Ge, Se, Ag, Sb. Для почв Южно-Шингинского месторождения характерно накопление Pb, Nb.

Таблица 21 – Среднее содержание химических элементов (мг/кг) в пробах почвы с Шингинского и Южно-Шингинского месторождения, в почве горизонта А и в верхней части континентальной коры

Элементы	Данные автора						ПДКвал.* /ОДК**	Сысо А.И., 2007 Горизонт А ₁ (3-13 см)	Григорьев Н.А, 2009 Кларк ЗК
	Шингинское месторождение		Южно-Шингинское месторождение		Фон				
	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см			
Li	$\frac{23,26 \pm 1,13}{(21,17 - 25,06)}$	$\frac{23,50 \pm 2,26}{(19,73 - 27,53)}$	$\frac{18,93 \pm 4,76}{(12,15 - 28,09)}$	$\frac{21,89 \pm 5,35}{(13,60 - 31,90)}$	15,86	15,62	-	-	33
Be	$\frac{0,67 \pm 0,06}{(0,56 - 1,78)}$	$\frac{1,49 \pm 0,26}{(1,23 - 2,02)}$	$\frac{1,24 \pm 0,31}{(0,72 - 1,80)}$	$\frac{1,52 \pm 0,11}{(1,32 - 1,68)}$	1,07	1,68	-	-	2,3
Na	$\frac{8711,40 \pm 850,47}{(4513,01 - 5625,39)}$	$\frac{8476,44 \pm 1150,97}{(7313,22 - 10778,33)}$	$\frac{10390,21 \pm 1162,02}{(8362,32 - 12387,34)}$	$\frac{10198,10 \pm 965,27}{(8267,73 - 11184,88)}$	10197,69	9546,61	-	-	20700
Mg	$\frac{5198,42 \pm 346,14}{(4513,01 - 5625,39)}$	$\frac{5523,45 \pm 582,91}{(4443,15 - 6443,15)}$	$\frac{5242,0 \pm 1088,53}{(3660,53 - 7328,45)}$	$\frac{5693,50 \pm 1100,49}{(4545,19 - 7893,78)}$	4455,85	4579,15	-	-	17700
Al	$\frac{46403,13 \pm 1438,26}{(43526,75 - 47865,74)}$	$\frac{44038,59 \pm 2412,65}{(40697,68 - 48724,24)}$	$\frac{46593,66 \pm 5367,60}{(38113,03 - 56534,2)}$	$\frac{46811,85 \pm 4122,76}{(42095,0 - 55027,32)}$	41997,27	46058,79	-	-	76100
P	$\frac{269,55 \pm 52,98}{(204,62 - 374,53)}$	$\frac{225,67 \pm 71,96}{(130,70 - 366,81)}$	$\frac{248,94 \pm 87,97}{(156,06 - 424,79)}$	$\frac{240,36 \pm 82,26}{(108,54 - 391,52)}$	471,61	460,93	-	-	690
K	$\frac{13093,29 \pm 554,05}{(12171,64 - 14086,87)}$	$\frac{12524,32 \pm 338,25}{(11976,46 - 13141,94)}$	$\frac{12975,35 \pm 1324,5}{(10471,34 - 14975,92)}$	$\frac{12430,50 \pm 844,86}{(11433,84 - 14110,51)}$	12667,39	13241,16	-	-	22300
Ca	$\frac{7696,02 \pm 267,79}{(7234,01 - 8161,64)}$	$\frac{9229,50 \pm 549,34}{(8463,50 - 10294,6)}$	$\frac{6728,97 \pm 1181,82}{(5302,17 - 9074,31)}$	$\frac{7265,02 \pm 1340,04}{(5923,69 - 9945,11)}$	6616,72	5800,17	-	-	38900
Ti	$\frac{4734,89 \pm 529,43}{(3952,74 - 5744,07)}$	$\frac{4482,15 \pm 857,43}{(3348,22 - 6163,20)}$	$\frac{56151,85 \pm 596,38}{(5152,32 - 7215,27)}$	$\frac{5989,16 \pm 377,54}{(5249,34 - 6489,87)}$	5701,29	5999,76	-	-	3930
Cr	$\frac{83,53 \pm 2,81}{(78,02 - 87,27)}$	$\frac{76,34 \pm 4,45}{(67,44 - 80,92)}$	$\frac{69,88 \pm 9,12}{(60,6 - 88,12)}$	$\frac{68,19 \pm 9,90}{(50,84 - 85,14)}$	84,49	64,41	-	-	92,4
Mn	$\frac{524,76 \pm 17,40}{(504,53 - 559,39)}$	$\frac{530,45 \pm 46,34}{(483,27 - 623,13)}$	$\frac{510,59 \pm 126,38}{(291,32 - 729,09)}$	$\frac{550,41 \pm 139,88}{(361,81 - 823,65)}$	1870,45	1579,78	1500*	860	770

Fe	$\frac{26626,61 \pm 888,61}{(24860,94 - 27684,74)}$	$\frac{26833,44 \pm 1907,93}{(22030,27 - 28864,25)}$	$\frac{25748,63 \pm 5702,36}{(17854,52 - 36824,01)}$	$\frac{27616,17 \pm 5009,1}{(20839,05 - 37394,3)}$	28133,73	25878,90	-	39000	40600
Co	$\frac{11,20 \pm 0,06}{(11,11 - 11,31)}$	$\frac{11,66 \pm 1,43}{(9,61 - 14,42)}$	$\frac{10,03 \pm 3,35}{(4,94 - 16,34)}$	$\frac{10,53 \pm 3,46}{(5,92 - 17,30)}$	19,96	18,79	5*	19	17
Ni	$\frac{14,68 \pm 5,22}{(4,66 - 22,21)}$	$\frac{12,96 \pm 1,10}{(10,82 - 14,47)}$	$\frac{14,97 \pm 6,8}{(7,99 - 28,57)}$	$\frac{7,89 \pm 3,54}{(1,59 - 13,84)}$	7,56	9,51	40**	45	50
Cu	$\frac{23,16 \pm 1,91}{(19,87 - 26,48)}$	$\frac{24,65 \pm 1,16}{(22,45 - 26,38)}$	$\frac{25,52 \pm 5,69}{(14,37 - 33,12)}$	$\frac{21,61 \pm 3,82}{(17,65 - 29,24)}$	23,04	16,47	66**	35	39
Zn	$\frac{67,18 \pm 3,94}{(59,30 - 71,46)}$	$\frac{70,15 \pm 4,45}{(63,95 - 78,77)}$	$\frac{72,10 \pm 9,44}{(60,85 - 90,86)}$	$\frac{73,21 \pm 9,12}{(61,52 - 91,18)}$	81,33	77,54	110**	72	75
Ga	$\frac{13,41 \pm 0,39}{(12,85 - 14,16)}$	$\frac{12,94 \pm 0,91}{(11,39 - 14,53)}$	$\frac{14,47 \pm 1,68}{(12,62 - 17,81)}$	$\frac{14,36 \pm 1,52}{(12,51 - 17,37)}$	13,82	13,52	-	9	19
Ge	$\frac{1,39 \pm 0,02}{(1,35 - 1,42)}$	$\frac{1,36 \pm 0,10}{(1,19 - 1,53)}$	$\frac{1,40 \pm 0,15}{(1,10 - 1,55)}$	$\frac{1,42 \pm 0,07}{(1,29 - 1,52)}$	1,64	1,30	-	-	1,3
Se	$\frac{5,89 \pm 1,91}{(2,32 - 8,83)}$	$\frac{7,48 \pm 1,96}{(3,62 - 9,99)}$	$\frac{5,51 \pm 1,34}{(3,51 - 8,05)}$	$\frac{5,47 \pm 1,08}{(4,25 - 7,61)}$	7,03	7,17	-	-	0,15
Rb	$\frac{71,15 \pm 2,97}{(66,7 - 76,79)}$	$\frac{69,18 \pm 3,63}{(64,17 - 76,23)}$	$\frac{74,09 \pm 13,80}{(47,27 - 93,17)}$	$\frac{78,64 \pm 4,80}{(69,07 - 84,07)}$	84,34	90,09	-	-	98
Sr	$\frac{112,57 \pm 4,52}{(104,02 - 119,39)}$	$\frac{108,19 \pm 6,51}{(96,43 - 118,90)}$	$\frac{120,31 \pm 6,94}{(109,05 - 132,97)}$	$\frac{116,03 \pm 1,72}{(113,30 - 119,21)}$	100,81	110,87	-	205	270
Y	$\frac{12,61 \pm 1,13}{(10,37 - 14,02)}$	$\frac{12,55 \pm 0,81}{(11,44 - 14,12)}$	$\frac{12,51 \pm 2,41}{(9,50 - 17,28)}$	$\frac{11,97 \pm 2,50}{(9,14 - 16,96)}$	9,64	10,04	-	-	26
Zr	$\frac{102,86 \pm 8,57}{(89,68 - 118,92)}$	$\frac{99,75 \pm 15,44}{(75,90 - 128,66)}$	$\frac{122,03 \pm 6,40}{(115,33 - 134,83)}$	$\frac{119,41 \pm 3,30}{(114,86 - 125,82)}$	118,67	126,65	-	-	160
Nb	$\frac{13,62 \pm 1,37}{(9,33 - 15,36)}$	$\frac{11,17 \pm 2,25}{(8,62 - 15,66)}$	$\frac{15,45 \pm 1,65}{(12,45 - 18,14)}$	$\frac{15,00 \pm 1,13}{(12,73 - 16,21)}$	15,04	15,24	-	-	12

Продолжение таблицы 21

Mo	$\frac{1,06 \pm 0,13}{(0,90 - 1,31)}$	$\frac{1,00 \pm 0,08}{(0,85 - 1,13)}$	$\frac{1,09 \pm 0,04}{(1,03 - 1,17)}$	$\frac{1,06 \pm 0,01}{(1,03 - 1,07)}$	1,51	0,64	-	6,0	1,56
Ag	$\frac{0,18 \pm 0,01}{(0,16 - 0,20)}$	$\frac{0,15 \pm 0,03}{(0,10 - 0,19)}$	$\frac{0,22 \pm 0,01}{(0,20 - 0,25)}$	$\frac{0,21 \pm 0,02}{(0,19 - 0,25)}$	0,21	0,29	-	-	0,11
Cd	$\frac{0,29 \pm 0,02}{(0,25 - 0,33)}$	$\frac{0,22 \pm 0,05}{(0,16 - 0,31)}$	$\frac{0,23 \pm 0,04}{(0,15 - 0,30)}$	$\frac{0,30 \pm 0,05}{(0,21 - 0,35)}$	0,40	0,36	-	-	0,64
Sn	$\frac{1,72 \pm 0,28}{(1,29 - 2,26)}$	$\frac{1,67 \pm 0,13}{(1,43 - 1,88)}$	$\frac{2,34 \pm 0,07}{(2,25 - 2,48)}$	$\frac{2,25 \pm 0,23}{(1,88 - 2,68)}$	2,50	1,83	-	-	3,5
Sb	$\frac{0,84 \pm 0,03}{(0,77 - 0,89)}$	$\frac{0,83 \pm 0,03}{(0,77 - 0,88)}$	$\frac{0,90 \pm 0,10}{(0,74 - 1,08)}$	$\frac{0,93 \pm 0,06}{(0,84 - 1,05)}$	0,88	0,76	4,5*	-	0,81
Cs	$\frac{3,44 \pm 0,17}{(3,11 - 3,67)}$	$\frac{3,40 \pm 0,14}{(3,11 - 3,56)}$	$\frac{3,51 \pm 0,81}{(2,08 - 4,86)}$	$\frac{4,17 \pm 0,57}{(3,30 - 5,24)}$	3,79	3,94	-	-	5,5
Ba	$\frac{444,97 \pm 13,07}{(427,51 - 470,55)}$	$\frac{439,26 \pm 11,12}{(417,15 - 452,31)}$	$\frac{412,81 \pm 31,99}{(349,0 - 448,63)}$	$\frac{417,73 \pm 24,16}{(380,07 - 462,77)}$	421,88	419,51	-	510	510
La	$\frac{21,44 \pm 0,84}{(19,87 - 22,72)}$	$\frac{22,51 \pm 1,53}{(19,52 - 24,59)}$	$\frac{23,56 \pm 1,74}{(20,51 - 26,53)}$	$\frac{23,09 \pm 1,8}{(20,81 - 26,65)}$	20,77	19,37	-	-	32
Ce	$\frac{46,49 \pm 2,19}{(42,14 - 49,13)}$	$\frac{46,44 \pm 2,00}{(42,48 - 48,89)}$	$\frac{48,03 \pm 5,07}{(40,54 - 57,70)}$	$\frac{48,00 \pm 4,07}{(43,67 - 56,14)}$	42,86	40,19	-	-	63
Pr	$\frac{5,14 \pm 0,20}{(4,81 - 5,49)}$	$\frac{5,18 \pm 0,15}{(4,89 - 5,38)}$	$\frac{5,52 \pm 0,61}{(4,50 - 6,60)}$	$\frac{5,35 \pm 0,47}{(4,86 - 6,30)}$	4,57	4,53	-	-	8,7
Nd	$\frac{19,80 \pm 0,95}{(18,05 - 21,32)}$	$\frac{19,02 \pm 0,67}{(17,71 - 19,87)}$	$\frac{19,769 \pm 1,85}{(16,78 - 23,12)}$	$\frac{20,10 \pm 2,34}{(17,48 - 24,76)}$	16,37	16,89	-	-	29
Sm	$\frac{3,56 \pm 0,14}{(3,29 - 3,74)}$	$\frac{3,54 \pm 0,16}{(3,37 - 3,86)}$	$\frac{3,67 \pm 0,38}{(3,06 - 4,37)}$	$\frac{3,62 \pm 0,61}{(2,85 - 4,82)}$	3,21	3,07	-	-	5,7
Eu	$\frac{0,72 \pm 0,05}{(0,62 - 0,79)}$	$\frac{0,76 \pm 0,03}{(0,70 - 0,81)}$	$\frac{0,75 \pm 0,15}{(0,55 - 1,04)}$	$\frac{0,71 \pm 0,12}{(0,59 - 0,95)}$	0,59	0,57	-	-	1,3

Продолжение таблицы 21

Gd	$\frac{3,43 \pm 0,25}{(2,99 - 3,85)}$	$\frac{3,53 \pm 0,18}{(3,33 - 3,89)}$	$\frac{3,38 \pm 0,27}{(2,58 - 4,38)}$	$\frac{3,41 \pm 0,70}{(2,58 - 4,81)}$	2,80	2,63	-	-	6,3
Tb	$\frac{0,47 \pm 0,04}{(0,42 - 0,53)}$	$\frac{0,46 \pm 0,04}{(0,41 - 0,54)}$	$\frac{0,45 \pm 0,09}{(0,35 - 0,62)}$	$\frac{0,46 \pm 0,10}{(0,35 - 0,65)}$	0,36	0,33	-	-	0,89
Dy	$\frac{2,55 \pm 0,26}{(2,07 - 2,98)}$	$\frac{2,44 \pm 0,09}{(2,27 - 2,60)}$	$\frac{2,38 \pm 0,48}{(1,60 - 3,24)}$	$\frac{2,36 \pm 0,55}{(1,66 - 3,46)}$	1,69	1,87	-	-	4,8
Ho	$\frac{0,48 \pm 0,03}{(0,41 - 0,52)}$	$\frac{0,45 \pm 0,02}{(0,42 - 0,49)}$	$\frac{0,47 \pm 0,09}{(0,35 - 0,65)}$	$\frac{0,46 \pm 0,11}{(0,32 - 0,67)}$	0,38	0,40	-	-	1,3
Er	$\frac{1,33 \pm 0,04}{(1,27 - 1,42)}$	$\frac{1,38 \pm 0,07}{(1,26 - 1,52)}$	$\frac{1,30 \pm 0,24}{(0,94 - 1,77)}$	$\frac{1,34 \pm 0,28}{(1,00 - 1,90)}$	1,10	0,93	-	-	2,7
Tm	$\frac{0,19 \pm 0,02}{(0,16 - 0,22)}$	$\frac{0,20 \pm 0,01}{(0,19 - 0,23)}$	$\frac{0,20 \pm 0,03}{(0,16 - 0,27)}$	$\frac{0,22 \pm 0,03}{(0,18 - 0,27)}$	0,20	0,16	-	-	0,42
Yb	$\frac{1,33 \pm 0,09}{(1,16 - 1,46)}$	$\frac{1,34 \pm 0,08}{(1,19 - 1,46)}$	$\frac{1,33 \pm 0,20}{(1,08 - 1,74)}$	$\frac{1,36 \pm 0,24}{(1,07 - 1,82)}$	1,11	1,24	-	-	2,5
Lu	$\frac{0,20 \pm 0,02}{(0,16 - 0,21)}$	$\frac{0,21 \pm 0,03}{(0,18 - 0,26)}$	$\frac{0,20 \pm 0,03}{(0,16 - 0,26)}$	$\frac{0,20 \pm 0,03}{(0,15 - 0,26)}$	0,16	0,18	-	-	0,48
Hf	$\frac{2,13 \pm 0,25}{(1,68 - 2,53)}$	$\frac{2,11 \pm 0,37}{(1,56 - 2,82)}$	$\frac{2,33 \pm 0,14}{(2,14 - 2,62)}$	$\frac{2,28 \pm 0,03}{(2,24 - 2,33)}$	2,23	2,05	-	-	4,5
Ta	$\frac{0,85 \pm 0,11}{(0,70 - 1,06)}$	$\frac{0,83 \pm 0,16}{(0,64 - 1,15)}$	$\frac{1,06 \pm 0,10}{(0,89 - 1,24)}$	$\frac{1,02 \pm 0,09}{(0,87 - 1,19)}$	0,94	1,03	-	-	1,4
W	$\frac{1,42 \pm 0,07}{(1,29 - 1,51)}$	$\frac{1,32 \pm 0,17}{(1,08 - 1,66)}$	$\frac{1,92 \pm 0,30}{(1,49 - 2,49)}$	$\frac{1,60 \pm 0,12}{(1,43 - 1,83)}$	1,54	1,74	-	-	2,03
Hg	$\frac{0,04 \pm 0,01}{(0,03 - 0,06)}$	$\frac{0,03 \pm 0,00}{(0,03 - 0,03)}$	$\frac{0,04 \pm 0,02}{(0,03 - 0,08)}$	$\frac{0,03 \pm 0,00}{(0,03 - 0,03)}$	0,03	0,03	2,1*	-	0,065
Tl	$\frac{0,35 \pm 0,01}{(0,34 - 0,37)}$	$\frac{0,38 \pm 0,03}{(0,34 - 0,45)}$	$\frac{0,37 \pm 0,03}{(0,31 - 0,42)}$	$\frac{0,39 \pm 0,03}{(0,33 - 0,45)}$	0,35	0,41	-	-	0,77

Продолжение таблицы 21

Pb	$\frac{16,29 \pm 0,83}{(14,81 - 17,70)}$	$\frac{15,43 \pm 1,49}{(13,69 - 18,40)}$	$\frac{18,30 \pm 1,12}{(16,20 - 20,04)}$	$\frac{18,94 \pm 0,51}{(17,94 - 19,59)}$	24,52	25,20	32*/ 65**	14	17
Bi	$\frac{0,21 \pm 0,02}{(0,19 - 0,24)}$	$\frac{0,20 \pm 0,02}{(0,15 - 0,23)}$	$\frac{0,22 \pm 0,02}{(0,19 - 0,26)}$	$\frac{0,23 \pm 0,01}{(0,20 - 0,25)}$	0,26	0,25	-	-	0,29
Th	$\frac{6,45 \pm 0,38}{5,71 - 6,92)}$	$\frac{6,83 \pm 0,98}{5,20 - 8,59)}$	$\frac{6,32 \pm 0,63}{5,34 - 7,50)}$	$\frac{6,50 \pm 0,85}{5,31 - 8,14)}$	5,76	5,37	-	-	9,1
U	$\frac{1,65 \pm 0,18}{(1,33 - 1,95)}$	$\frac{1,54 \pm 0,23}{(1,13 - 1,93)}$	$\frac{1,76 \pm 0,10}{(1,59 - 1,95)}$	$\frac{1,75 \pm 0,05}{(1,66 - 1,82)}$	1,90	1,82	-	-	2,5

Примечание: среднее содержание химических элементов (мг/кг) в пробах почвы по данным анализа ИСП-МС, $\pm$ - стандартная ошибка; (min-max) – минимальное и максимальное значение.

Сысо А.И., 2007* – содержание химических элементов в дерново-подзолистых почвах южной тайги Западной Сибири (Васюганская равнина).

Григорьев Н.А., 2009** – кларк – среднее содержание химических элементов в верхней части континентальной коры.

*ПДК вал. почвы – ГН 2.1.7.2041-06.

**ОДК почвы – ГН 2.1.7.2511-09.



Рисунок 25 – Кларки концентраций химических элементов почвах (по Григорьеву, 2009)

4.3 Характеристика магнитной восприимчивости бурового шлама

Величина магнитной восприимчивости зависит от содержания в пробах ферромагнитных (сильномагнитных) и парамагнитных (слабомагнитных) ионов (Fe, Mn, Co, Cr, Ni, PЗЭ), а также связана с присутствием магнитных фаз (Миков, 1999; Ерофеев и др., 2006).

Изучением магнитной восприимчивости почв и грунтов фоновых участков и территорий промышленных районов на территории Западной Сибири занимались О.А. Миков (1999) и Е.Г. Язиков (2006). В среднем магнитная восприимчивость фоновых почв имеет разброс значений от 20 до $40 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ при средней величине $32,8 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (Миков, 1999), что согласуется с данными, полученными В.М. Овсянниковым (1991), для почв различных природно-климатических зон. Кроме того, в работах О.А. Микова и Е.Г. Язикова показана корреляция результатов измерения магнитной восприимчивости и данных расчетов суммарного показателя загрязнения: в районах, которые имеют повышенные значения каппа относительно среднего, зафиксированы ореолы максимальных значений суммарного показателя загрязнения (Миков, 1999; Язиков, 2006).

Результаты исследований почв территорий различных промышленных районов показывают, что величина магнитной восприимчивости почв возрастает от нефтегазодобывающего района ($28 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) к району машиностроения и металлообработки ($1358 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), где имеются чугунолитейные производства (Язиков, 2006).

Результаты измерения магнитной восприимчивости могут использоваться не только в экологических целях для экспрессной оценки загрязненности территории соединениями Fe, Mn, Co, Cr, Ni и др., а также с целью изучения изменений в условиях осадконакопления (Жорняк, 2009).

В настоящем исследовании были проведены измерения магнитной восприимчивости проб бурового шлама, отобранных из шламовых амбаров нефтяных месторождений, с использованием запатентованной методики (Патент № 2133487). Полученные данные представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Среднее значение магнитной восприимчивости и суммарного показателя загрязнения проб бурового, ед. СИ

Месторождения	$k \cdot 10^{-5}$ ед. СИ $m \pm \sigma$ (min/max)	Zc (степень загрязнения)
Первомайское	$84 \pm 0,5$ (83/85)	29,19 (средняя)
Катыльгинское	$81,3 \pm 0,3$ (81/82)	2,54 (низкая)
Южно-Черемшанское	$10,6 \pm 0,3$ (10/11)	4,17 (низкая)
Лугинецкое	$42,3 \pm 0,3$ (42/43)	6,45 (низкая)
Кулгинское	$22 \pm 1,0$ (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)

Примечание: m – среднее значение; σ – стандартная ошибка; Z_c – суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по результатам ИСП-МС; степени загрязнения (Сагит Ю.Е. и др., 1990): Z_c от 0 до 16 – низкая; 16-32 – средняя; 32-128 – высокая; более 128 – очень высокая.

Исходя из данных таблицы, можно сделать вывод, что максимальное значение магнитной восприимчивости наблюдается в пробе бурового шлама Шингинского месторождения, отобранной из действующего шламового амбара кустовой площадки № 8. Также высокие значения магнитной восприимчивости наблюдаются в пробе Южно-Шингинского месторождения (действующий амбар на момент отбора) и в пробах Первомайского и Катыльгинского месторождений. Минимальное значение магнитной восприимчивости отмечено в пробе бурового шлама Южно-Черемшанского месторождения.

Результаты измерений магнитной восприимчивости в основном коррелируют с результатами расчетов суммарного показателя загрязнения почв. Данная тенденция отмечена ранее в исследованиях Микова О.А. (1999) и Язикова Е.Г. (2006). Так, параметру каппа с значением более $80 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ соответствует средняя степень загрязнения, рассчитанная по суммарному показателю загрязнения. Исключение составляет проба, отобранная на Катыльгинском месторождении.

4.4 Характеристика содержания нефтепродуктов в буровом шламе, в жидкой фазе шламовых амбаров и почвы

В аналитической практике «нефтепродуктами» принято считать сумму неполярных и малополярных углеводородов (алифатических, алициклических, ароматических), растворимых в гексане и не сорбирующихся на оксиде алюминия (Лурье, 1984).

Отмечается, что при концентрации нефти до 300 мл/кг почва становится основным трофическим субстратом для углеводородоокисляющих микроорганизмов, при этом другие микроорганизмы, растения и животные находятся в угнетенном состоянии. Превышение этой дозы практически полностью подавляет биологическую активность почвы (Фомин и др., 2001).

Тем не менее, концентрация нефтепродуктов в почве на биологически безопасном уровне не установлена из-за сложного и непостоянного химического состава нефти. Допустимое содержание нефти и нефтепродуктов в почве должно иметь подтвержденный региональный норматив, в котором учтены провинциальные особенности каждого конкретного типа почвы и наличие в них специфических и неспецифических органических соединений. В настоящее время не существует корректного обоснования предельно допустимой концентрации нефтепродуктов в почвах, так как в их состав входят соединения, являющиеся необходимым компонентом любой незагрязненной почвы (Околелова и др., 2019).

Ориентировочным уровнем содержания нефти и нефтепродуктов в почвах предлагается считать нижний допустимый уровень загрязнения, при котором в данных природных условиях почва в течение одного года восстанавливает свою продуктивность, а негативные последствия для почвенного биоценоза могут быть самопроизвольно ликвидированы (Леоненко и др., 2010).

Для оценки загрязненности почвы принята классификация показателей уровня загрязнения по концентрации нефтепродуктов в почве (Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами (утв. Роскомземом 10 ноября 1993 г. и Минприроды РФ 18 ноября 1993 г.)): допустимый уровень (менее 1000 мг/кг); низкий уровень (1000 – 2000 мг/кг); средний уровень (2000 – 3000 мг/кг); высокий уровень (3000 – 5000 мг/кг); очень высокий уровень (более 5000 мг/кг)

Также утвержден порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами (Письмо Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ от 27.12.1993 г. № 04-25-61-5678), где приведена следующая градация:

1. Уровень допустимый – до 1000 мг/кг.
2. Уровень низкий – от 1000 до 2000 мг/кг.
3. Уровень средний – от 2000 до 3000 мг/кг.
4. Уровень высокий – от 3000 до 5000 мг/кг.
5. Уровень очень высокий - более 5000 мг/кг.

Поэтому в данной работе для нормирования проб бурового шлама и почвы применялось ОДК, равное 1000 мг/кг. Предельно допустимая концентрация нефти и нефтепродуктов для водных объектов хозяйственно-питьевого водопользования составляет 0,3 мг/дм³ (ГН 2.1.5.1315-03).

4.4.1 Характеристика содержания нефтепродуктов в буровом шламе

В 2017 г. на базе эколого-биологической лаборатории кафедры ГЭГХ был проведен количественный анализ проб бурового шлама на нефтепродукты флуориметрическим методом. Результаты измерений представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Концентрация нефтепродуктов в буровом шламе

Месторождение	Флуориметрический метод (методика ПНД Ф 16.1:2.21-98)	ОДК, мг/кг
	Концентрация нефтепродуктов, мг/кг	
Первомайское	1020	1000
Катыльгинское	2140	1000
Южно-Черемшанское	270	1000
Лугинецкое	2710	1000

В 2018 г. на базе лаборатории ОГБУ «Облкомприрода» проведен количественный анализ содержания нефтепродуктов в пробах буровых шламов гравиметрическим методом. Анализ выполнялся согласно методике ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3:3.64-10 (табл. 24).

Таблица 24 – Концентрация нефтепродуктов в буровом шламе

Месторождение	Гравиметрический метод (методика ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3:3.64-10)	ОДК, мг/кг
	Концентрация нефтепродуктов, мг/кг	
Кульгинское	2790	1000
Южно-Шингинское, 3 кустовая площадка, Амбар 1	3850	1000
Южно-Шингинское, 3 кустовая площадка Амбар 2	3250	1000
Южно-Шингинское, 3 кустовая площадка, Амбар 3	37960	1000
Шингинское, 7 кустовая площадка, Амбар 1	2630	1000
Шингинское, 8 кустовая площадка, Амбар 1	740	1000

По данным количественного анализа содержание нефтепродуктов в исследуемых пробах варьирует в широком диапазоне от 270 до 37960 мг/кг. В пределы ориентировочно-допустимой концентрации входят пробы с трех месторождений (Первомайское, Южно-Черемшанское и Шингинское (амбар № 1, № 8 кустовая площадка). Остальные пробы превышают установленное ОДК.

Динамику загрязнения нефтепродуктами можно проследить по пробам бурового шлама, отобранным на Южно-Шингинском месторождении из шламовых амбаров разной степени эксплуатации. Амбар № 3 на Южно-Шингинском месторождении, 3 кустовой площадки на момент отбора эксплуатировался, что отражается в высокой концентрации нефтепродуктов.

4.4.2 Характеристика содержания нефтепродуктов в жидкой фазе шламовых амбаров

Определение содержания нефтепродуктов в жидкой фазе шламовых амбаров проводилось в аккредитованной лаборатории областного государственного бюджетного учреждения (ОГБУ) «Облкомприрода» по аттестованным методикам. Использовался флуориметрический метод. Флуориметрический метод анализа основан на возбуждении электронных спектров испускания молекул определяемого вещества при внешнем УФ - облучении и измерении интенсивности их фотолуминесценции. Анализ проводится в жидкой фазе после экстракции нефтепродуктов, растворённых в воде, гексаном (Илларионова, 2011). Результаты представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Концентрация нефтепродуктов в жидкой фазе шламовых амбаров

№ п/п	Месторождение	Флуориметрический метод (методика ПНД Ф 16.1:2.21-98)	ПДК
		Концентрация нефтепродуктов, мг/дм ³	
1	Южно-Шингинское, 3 кустовая площадка, Амбар 1	0,15	0,3
2	Южно-Шингинское, 3 кустовая площадка Амбар 2	0,33	0,3
3	Южно-Шингинское, 3 кустовая площадка, Амбар 3	2,24	0,3
4	Шингинское, 7 кустовая площадка, Амбар 1	10,6	0,3
5	Шингинское, 8 кустовая площадка, Амбар 1	0,23	0,3

Результаты анализа показали различное содержание нефтепродуктов в пробах – от минимального значения 0,15 мг/дм³ до повышенного в 35 ПДК, при норме ПДК в нефтепродуктах, равной 0,3 мг/дм³ (ГН 2.1.5.1315-03). Повышенное содержание нефтепродуктов в пробах коррелирует с повышенным содержанием кларка концентрации относительно кларка речной воды. Так, пробы жидкой фазы из шламового амбара № 3 Южно-Шингинского месторождения и шламового амбара № 7 Шингинского месторождения имеют содержание нефтепродуктов 7 ПДК и 35 ПДК соответственно.

4.4.3 Характеристика содержания нефтепродуктов в почве

Концентрация нефтепродуктов в пробах почвы определялась методом ИК-спектроскопии. Пробы почвы отбирались на фоновой территории (в зоне минимального техногенного воздействия), на рекультивированных амбарах, а также рядом со шламовыми амбарами, где ранее осуществлялся отбор проб бурового шлама. Полученные нами результаты представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Концентрация нефтепродуктов в пробах почв с Южно-Шингинского и Шингинского месторождений

Месторождение	Точки отбора	Метод ИК-спектроскопии (методика ПНД Ф 16.1:2.2.22-98)	ОДК, мг/кг
		Концентрация нефтепродуктов, мг/кг	
Фон	почва фон, горизонт 1	332	1000
	почва фон, горизонт 2	236	1000
Южно-Шингинское	рекультивированный амбар, горизонт 1	253	1000
Южно-Шингинское	рекультивированный амбар, горизонт 2	419	1000
	точка 2-4, горизонт 1	238	1000
	точка 2-4, горизонт 2	79	1000
	точка 2-5, горизонт 1	236	1000
	точка 2-5, горизонт 2	259	1000
Шингинское	рекультивируемый амбара, 7 кустовая площадка, горизонт 1	244	1000
	рекультивируемый амбара, 7 кустовая площадка, горизонт 2	207	1000
	7 кустовая площадка, горизонт 1	229	1000
	7 кустовая площадка, горизонт 2	223	1000
	8 кустовая площадка, горизонт 1	132	1000
	8 кустовая площадка, горизонт 2,	142	1000

Согласно данным, представленным в таблице, концентрации нефтепродуктов в почве, отобранной рядом со шламовыми амбарами, а также на рекультивированных амбарах, находится в пределах допустимого уровня.

4.5 Характеристика минеральных форм по данным сканирующей электронной микроскопии в буровом шламе

В настоящем исследовании применялся анализ шламов на сканирующем электронном микроскопе с целью нахождения возможных форм элементов и дополнения геохимической характеристики. В процессе использования данного метода выявлены микроминеральные фазы различных элементов, установлены минеральных формы нахождения элементов. В пробах

найденны частицы, содержащие разные элементы – примеси, что указывает на особенности состава проб с разных месторождений.

Для всех нефтяных месторождений Томской области характерно наличие в пробах бурового шлама микрочастиц, в составе которых содержатся Fe-содержащие фазы, в основном, это оксиды и сульфиды железа. Ba-содержащие фазы в виде минерала барита, встречаются почти в каждой пробе, за исключением проб с Первомайского месторождения. Часто встречаются Fe-, Ti-, Pb- и Zr- содержащие фазы. Минеральные фазы, найденные в процессе исследования проб бурового шлама нефтяных месторождений Томской области, представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Минеральные фазы в пробах бурового шлама нефтяных месторождений Томской области

Элемент-содержащие фазы / минерал		Первомайское	Катальгинское	Южно-Черемшанское	Лугинское	Кулгинское	Шингинское	Южно - Шингинское
Fe - содержащие фазы	дисульфид железа / пирит	+++	+++	+	++	+++	+++	+++
	оксид железа / гематит	-	++	++	+	+	+++	+++
	оксид железа (сферула)	-	-	-	-	-	+++	+++
Ti - содержащие фазы	оксид титана / рутил	-	-	-	+	-	-	-
Fe - Ti - содержащие фазы	ильменит	-	-	+	+	+	+	+
	псевдорутит	-	-	+	+	-	+	-
Fe-Cr содержащие фазы	хромит	-	-	-	-	-	+	++
Ba - содержащие фазы	сульфат бария / барит	-	++	+	+	++	+++	+++
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 свинца	-	-	-	+	-	-	-
Zr - содержащие фазы	циркон	-	++	++	+	+	-	-

TR - содержащие фазы	монацит	-	-	++	+	-	-	-
Y-P- содержащие фазы	фосфат иттрия / ксенотим	-	-	+	-	-	-	+
Ca-P - содержащие фазы	фосфат кальция / апатит	-	+	-	-	-	+	-
U - содержащие фазы	коффинит	+						

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

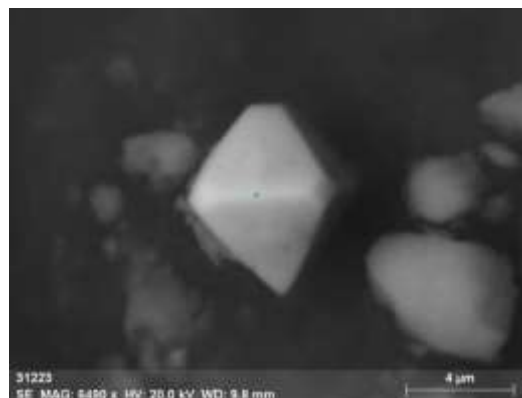
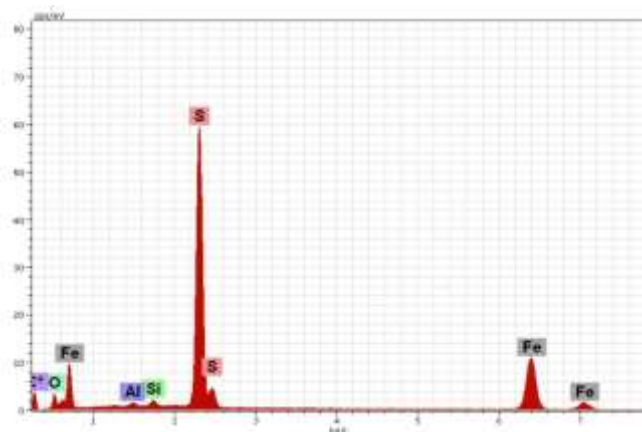
Далее в работе приводятся минеральные формы, выявленные в пробах шламов по данным сканирующей электронной микроскопии (отдельно по каждому месторождению). Представлены снимки минеральных форм в режиме обратно рассеянных электронов и их спектры.

Ряд элементов не учитывался нами при определении энергодисперсионных спектров частиц, поскольку присутствующие пики элементов C, Al, Si и O связаны с параметрами проведения исследований: напыление исследуемых образцов состоит из твердой составляющей взвеси углерода во избежание накопления электрического заряда на поверхности образца. Исследование малых размеров частиц в образцах в режиме обратно-рассеянных электронов при низком вакууме спектры записываются с области, захватывающей и «матрицу» образца (Шахова, 2018).

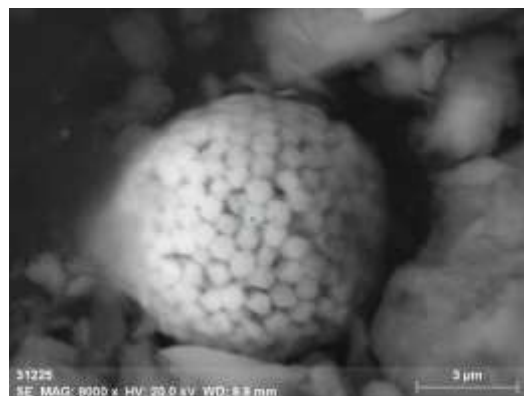
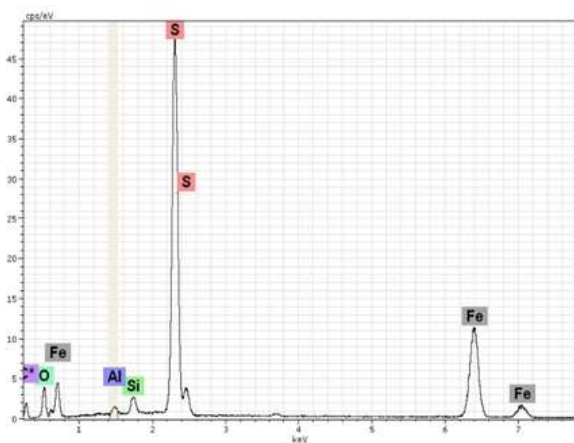
В образце бурового шлама с **Первомайского месторождения** были выявлены частицы, спектры которых, соответствуют сульфиду железа (пирит). Предполагаемый минерал встречается в различных модификациях, например, в фрамбоэдрической (фрамбоэдрической) форме, с ярко выраженной кубической сингонией (рис. 26). В пробе выявлены Pb – содержащие частицы (рис. 27). Среди алюмосиликатной матрицы (рис. 28) была выявлена U – содержащая частица, спектр химических элементов которой соответствует силикату урана (коффинит), в её составе обнаружено высокое содержание урана, кислорода и кремния. В ходе исследования составлялись диаграммы спектров минералов и делались снимки в режиме обратно рассеянных электронов.

Следует отметить, что за исключением оксида кремния и алюминия, матрица включает в себя такие элементы, как Na, Mg, Fe, K. Такой элементный состав соответствует породообразующим минералам – иллиту и альбиту, определенных ранее с помощью

рентгенофазового анализа на дифрактометре. Размер найденных минеральных фаз варьирует от 4 до 12 μm .

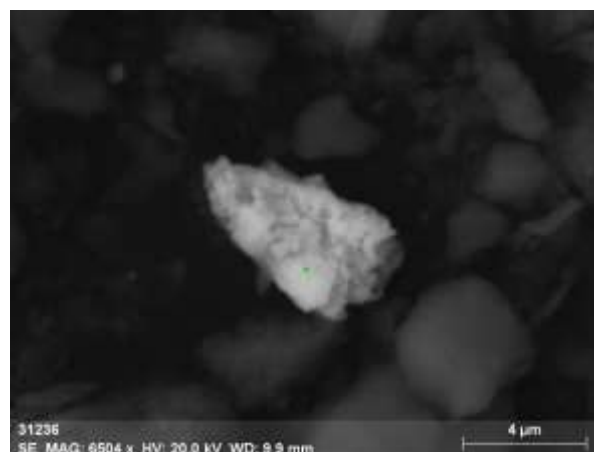
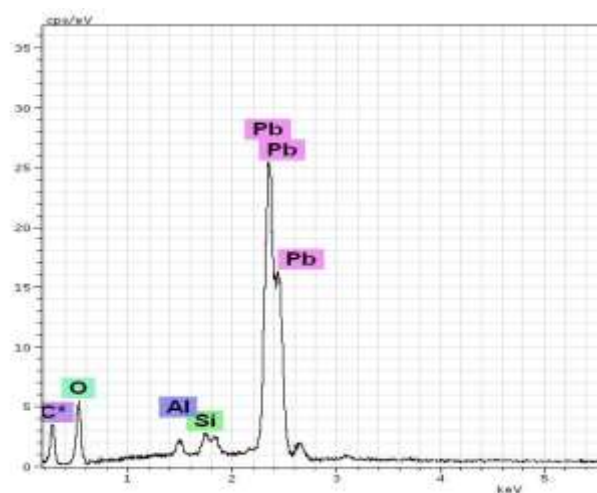


% масс: Fe - 41, S - 37, O - 13

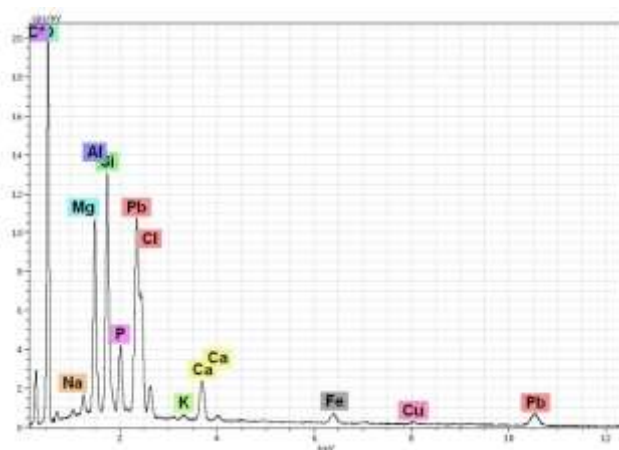


% масс: Fe - 47, S - 38, O - 12

Рисунок 26 – Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектр железо - содержащих частиц (пирит)

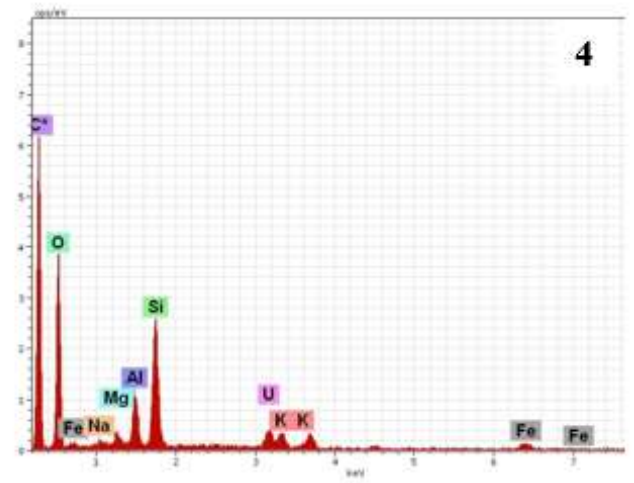
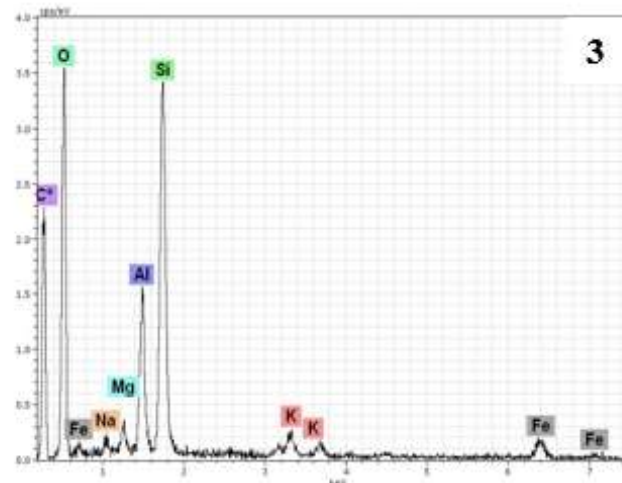
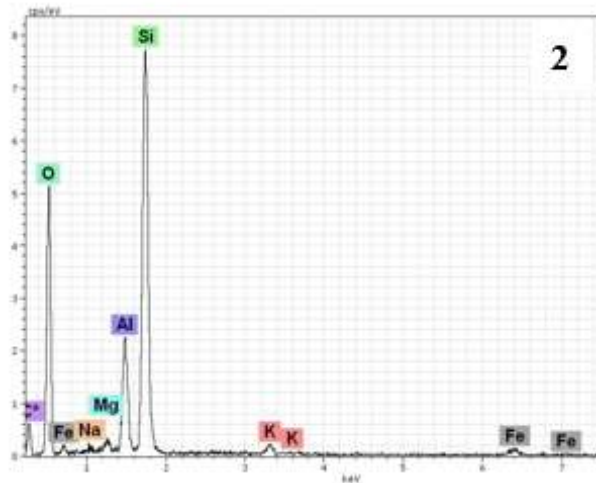
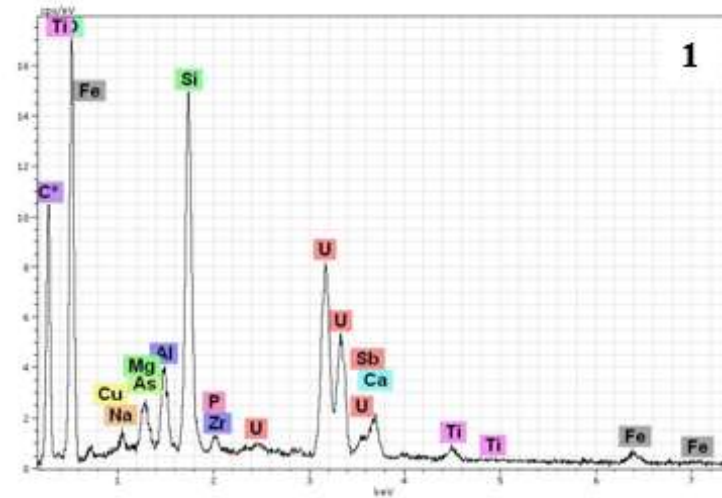


% масс: Pb - 77, O - 21



% масс: Pb - 24, O - 43

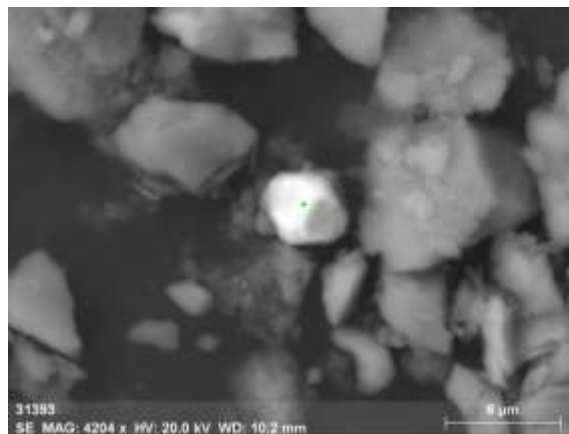
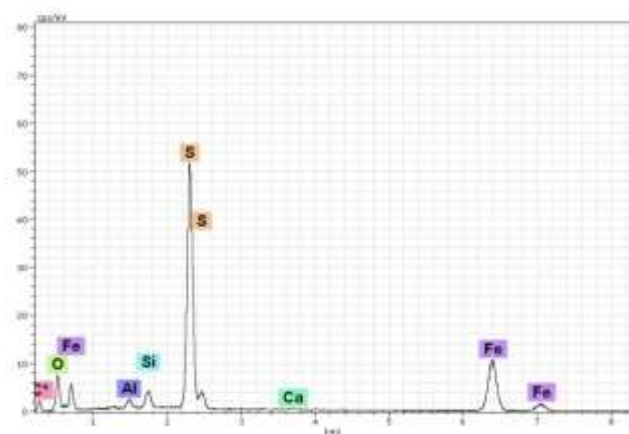
Рисунок 27 – Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Pb - содержащих частиц



% масс: 1) U - 35, Si - 11,4, O - 36,1 As - 3,2, Fe - 1,9; 2) Si - 23, O - 68 3) Si - 21, Al - 8, Fe - 9 4) U - 15,5, Si - 15, Al - 6, Fe - 5

Рисунок 28 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр включений 1 – коффинит, размером 4μm; 2,3,4 – алюмосиликатная матрица.

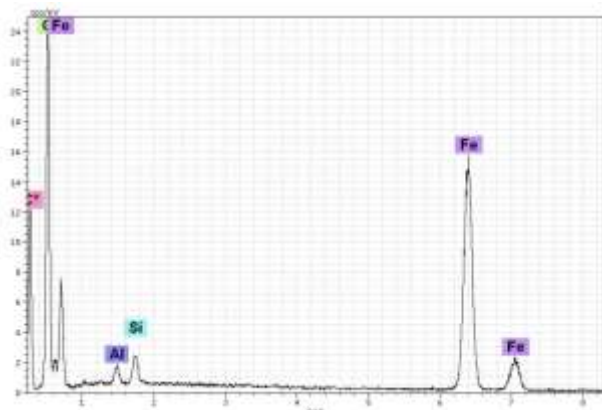
Исследована проба бурового шлама из шламового амбара **Катыльгинского месторождения**. Результаты исследования представлены на рисунках 29 – 33. Следует отметить, что территориально Катыльгинское месторождение ближайшее к Первомайскому. Фон представлен алюмосиликатной матрицей. Выявлен спектр сульфида железа, с характерной кубической сингонией (рис. 29).



% масс: Fe - 41, S 37, O - 18

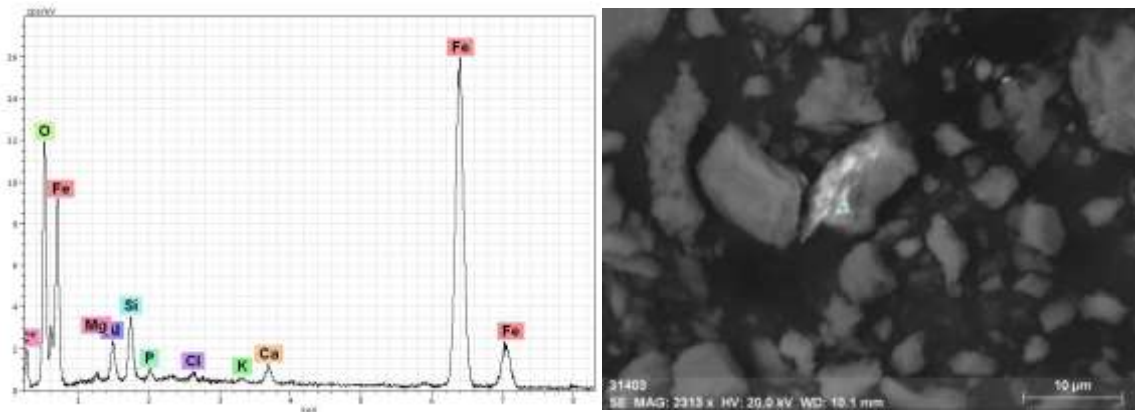
Рисунок 29 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр сульфида железа (пирит), размер 4,8 μm

Высокое содержание железа и кислорода указывает на образование оксида железа, такая химическая ассоциация может соответствовать минералу гематит (рис. 30-31). На рисунке 32 спектр химических элементов соответствует минералу циркон, размер включения составляет 5 μm.



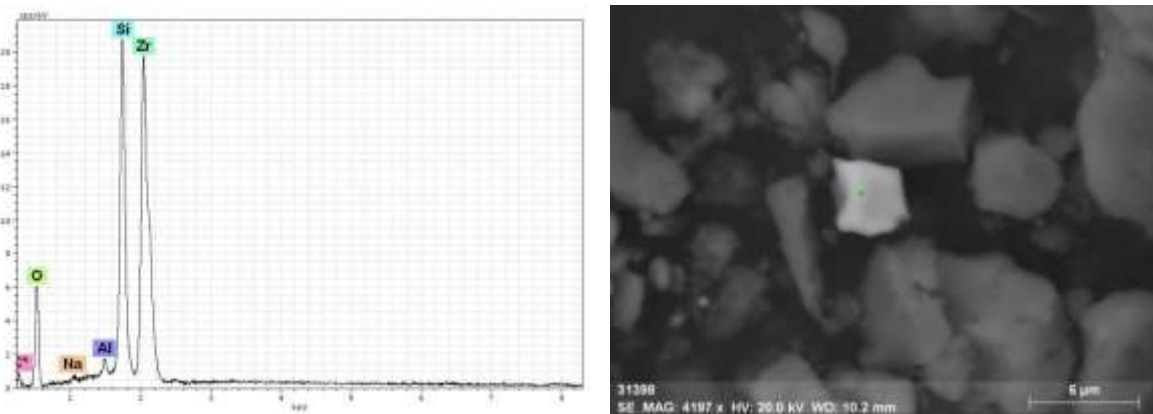
% масс: Fe - 63, O - 36

Рисунок 30 – Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектры включений оксидов железа (гематит)



% масс: Fe - 70, O - 23

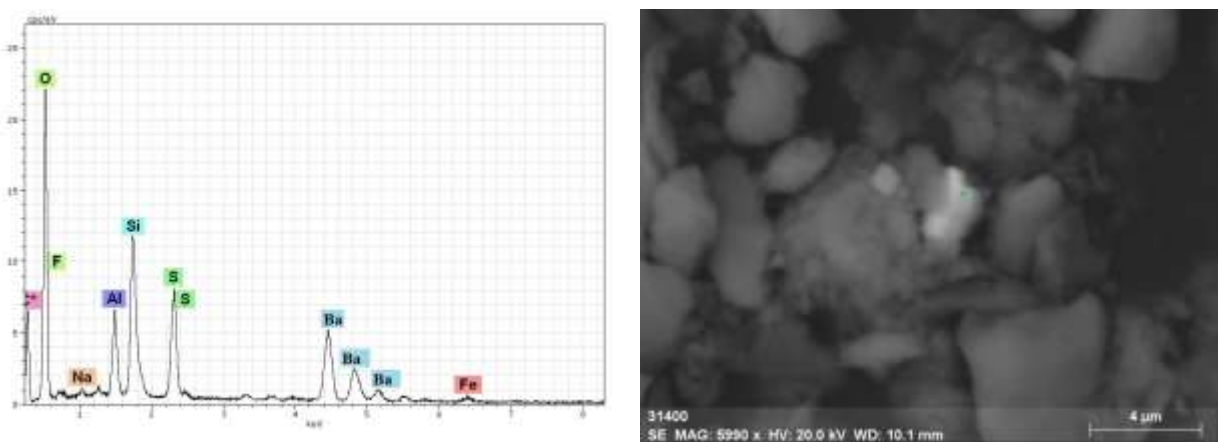
Рисунок 31 – Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектры включений оксидов железа (гематит)



% масс: Zr - 55, O - 28, Si - 15,8

Рисунок 32 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Zr-содержащей частицы (циркон)

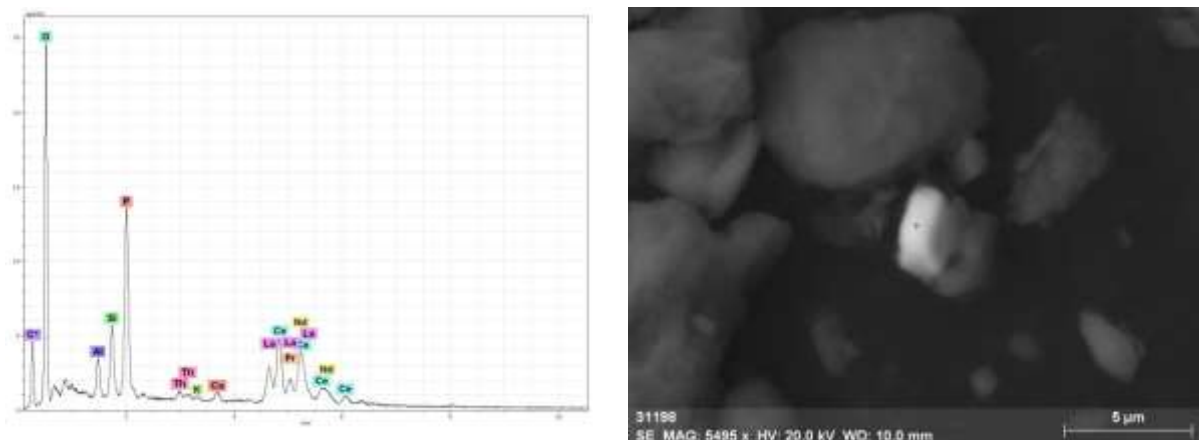
Спектр химических элементов обнаруженного включения соответствует минералу бариту, размер образования составляет 3,5 μm (рис. 33).



% масс: Ba - 24, O - 52, S - 9

Рисунок 33 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Ba-содержащей частицы (барит)

В образце пробы бурового шлама с **Южно-Черемшанского месторождения** также были сняты спектры минералов и сделаны снимки в режиме обратно рассеянных электронов. Результаты представлены ниже (рис. 34 – 36).

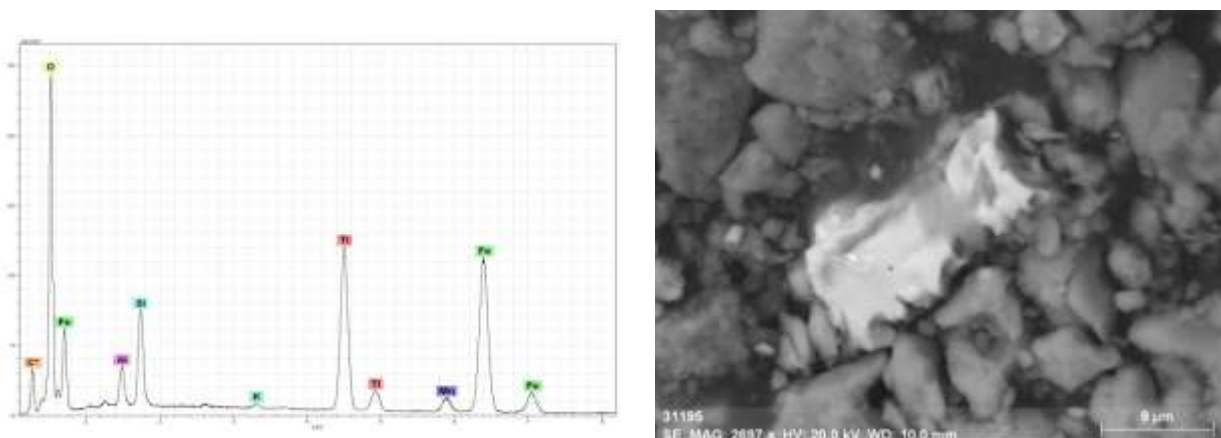


% масс: Ce - 21, La - 11, Nd - 9, Th - 2, Nd - 2, P - 12

Рисунок 34 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр редкоземельной содержащей частицы (монацит), размером 5 µm

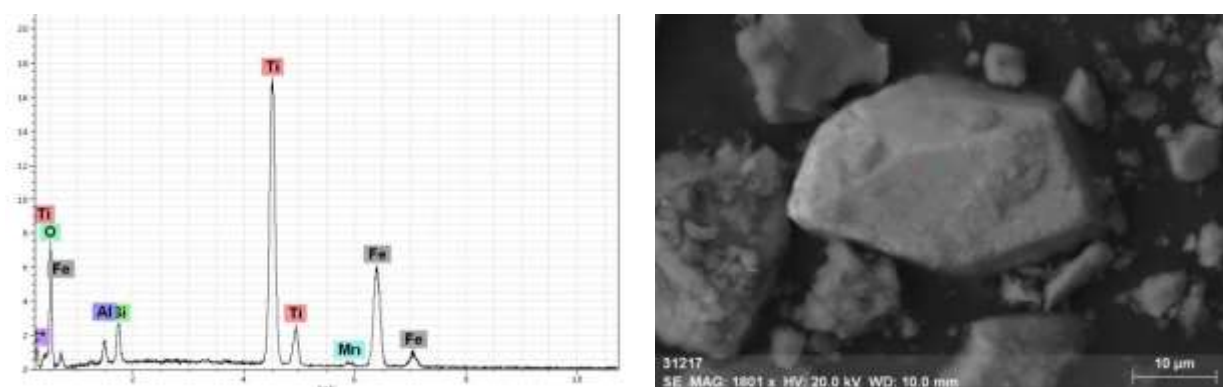
Найденная частица (рис. 34) содержит в своем составе редкоземельные элементы, что хорошо просматривается по спектру.

В ходе анализа были выявлены частицы, спектры которых соответствуют минералам – ильмениту (рис. 35) и псевдорутилу (рис. 36). Псевдорутил отличается повышенным содержанием титана относительно железа.



% масс: Fe - 31, Ti - 17, O - 45

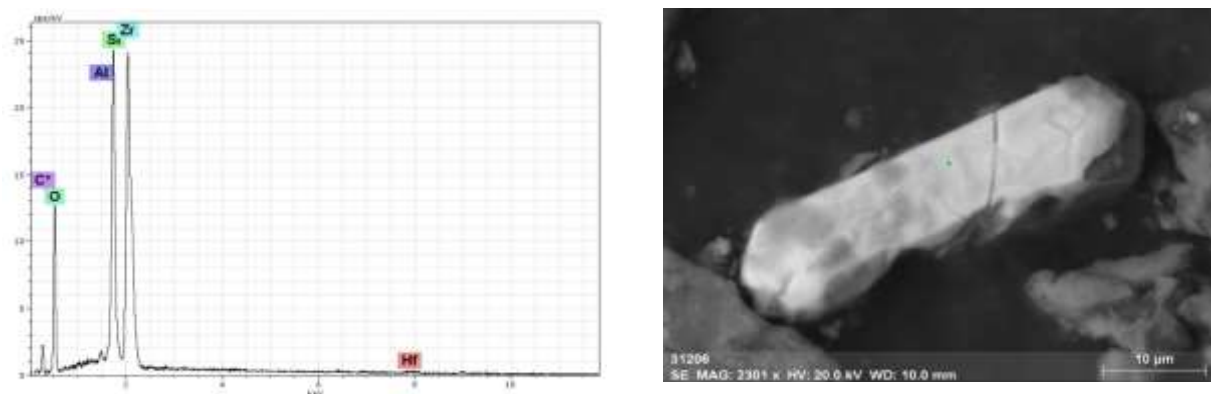
Рисунок 35 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Fe-Ti-содержащей частицы (ильменит), размером 20 µm



% масс: Fe - 26, Ti - 35, O - 35

Рисунок 36 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Ti-Fe-содержащей частицы (псевдорутил), размером 35 μm

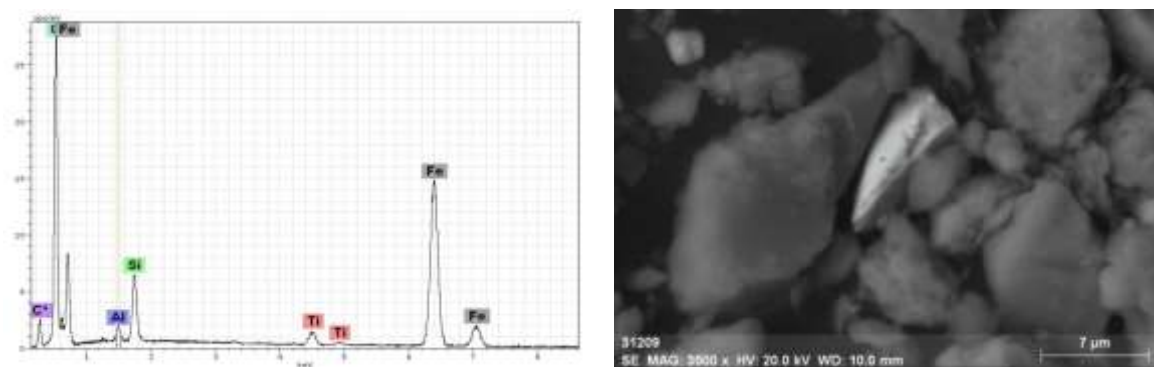
В ходе исследования пробы бурового шлама **Южно-Черемшанского месторождения** была выявлена кристаллическая частица циркона (рис. 37), представляющая собой цельный кристалл.



% масс: Zr - 49, Si - 13.3, O - 35

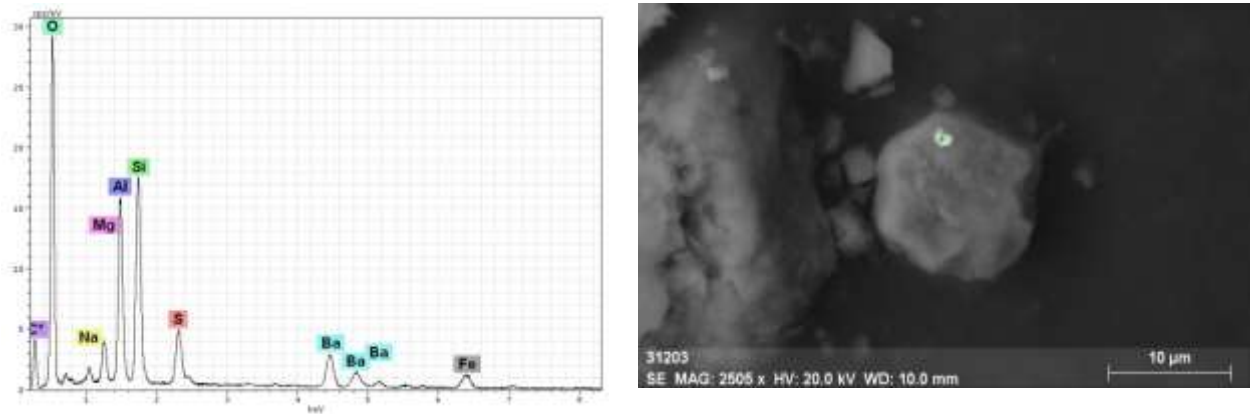
Рисунок 37 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Zr-содержащей частицы (циркон), размером 160 μm

В пробе обнаружены также Fe- (рис. 38) и Ba- содержащие частицы (рис. 39).



% масс: Fe - 54, Ti - 2, O - 40

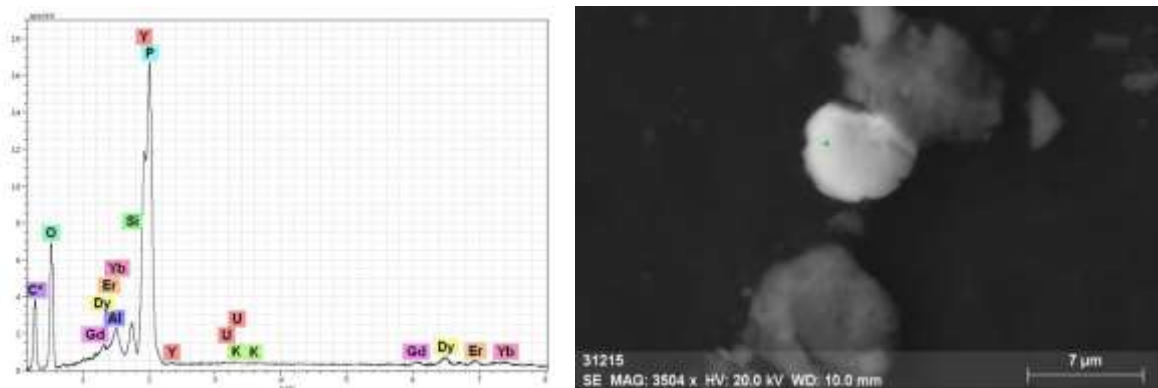
Рисунок 38 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Fe-содержащей частицы, размером 10 μm



% масс: Ba - 15, S - 4, O - 46, Fe - 4

Рисунок 39 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр включения (барит), размером в 1,5 µm

В образце (рис. 40) найдена частица, спектр которой соответствуют фосфату иттрия (ксенотим), предполагаемый минерал часто ассоциирует с монацитом, и содержит в своем составе редкие земли.



% масс: Y - 34, P - 15, Dy - 6, Er - 4, Yb - 3.5, Gd - 3

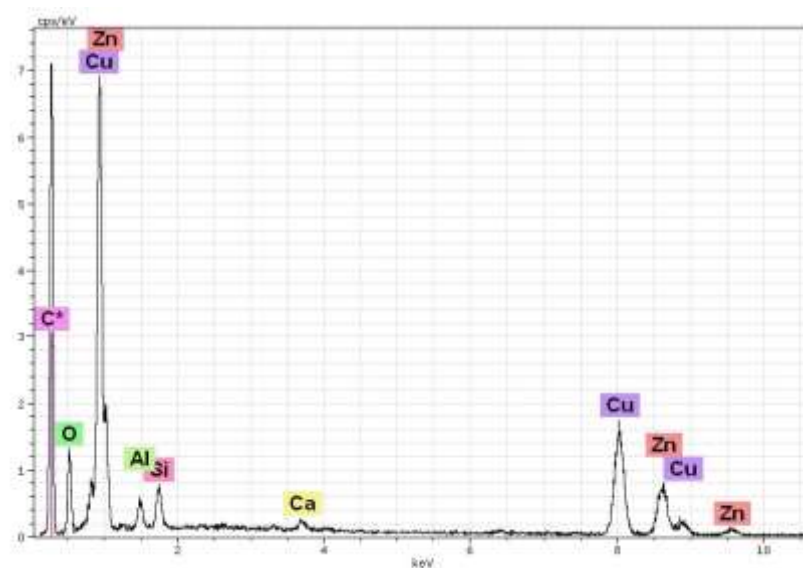
Рисунок 40 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр включения фосфата иттрия (ксенотим), размером в 7 µm

Алюмосиликатная матрица, помимо SiO_2 и Al, включает в себя такие элементы, как Na и K. Такой элементный состав соответствует породообразующим минералам – альбиту, микроклину, мусковиту, определенных ранее с помощью рентгенофазового анализа на дифрактометре.

Также был проанализирован образец пробы бурового шлама **Лугинецкого месторождения**, находящегося на границе Каргасокского и Парабельского районов.

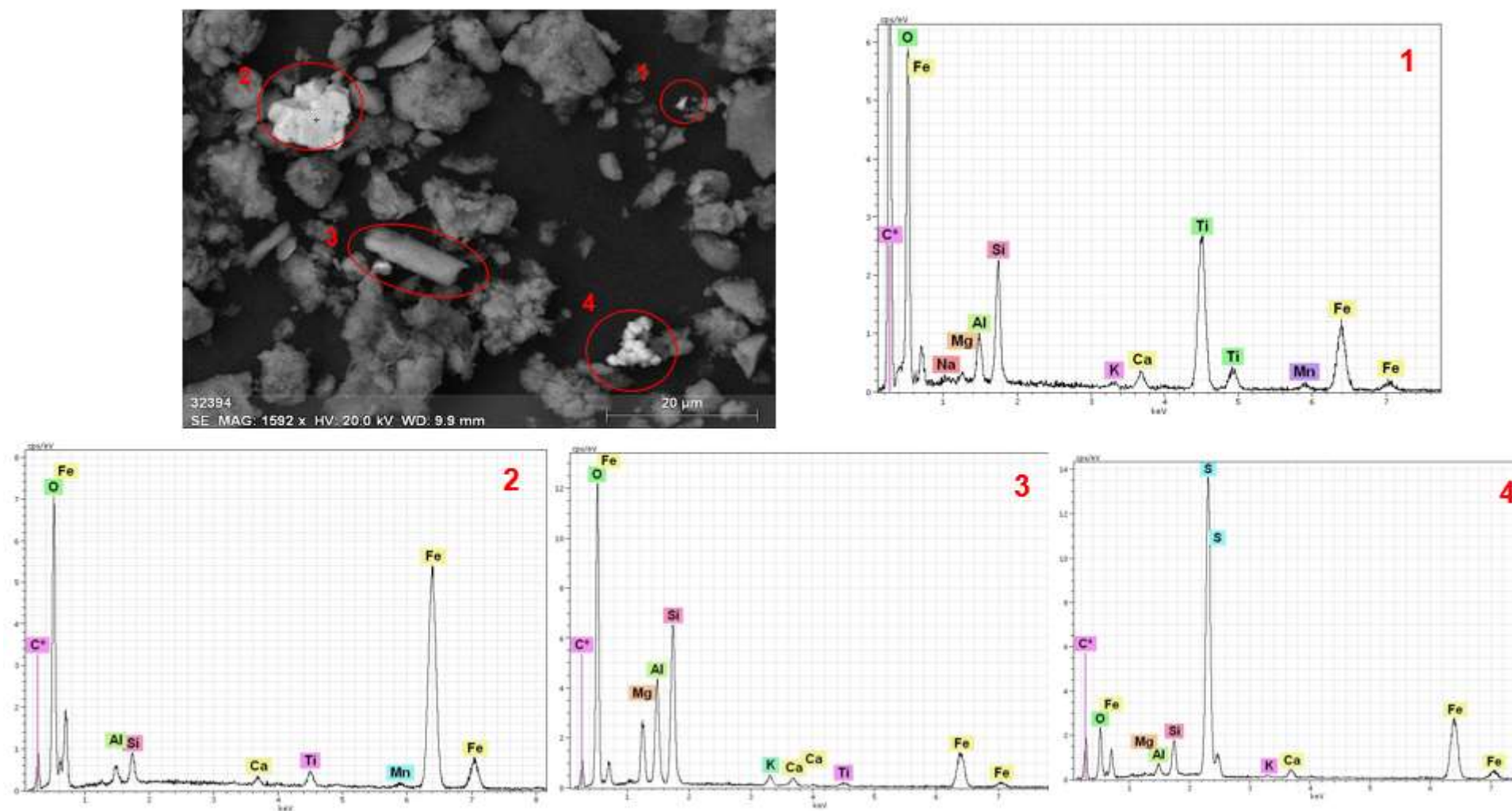
Сделанные снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектры включений, найденные в исследуемом образце, соответствуют таким минералам, как пирит, гематит, альмадин, ильменит, шамозит, псевдорутил, рутил, циркон, монацит, барит.

При анализе пробы была выявлена Cu-Zn содержащая частица (рис. 41). Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектров выявленных включений представлены на рисунках 41 - 42.



% масс: Cu - 52, Zn - 29, O - 12

Рисунок 41 – Спектр включения Cu-Zn содержащей частицы

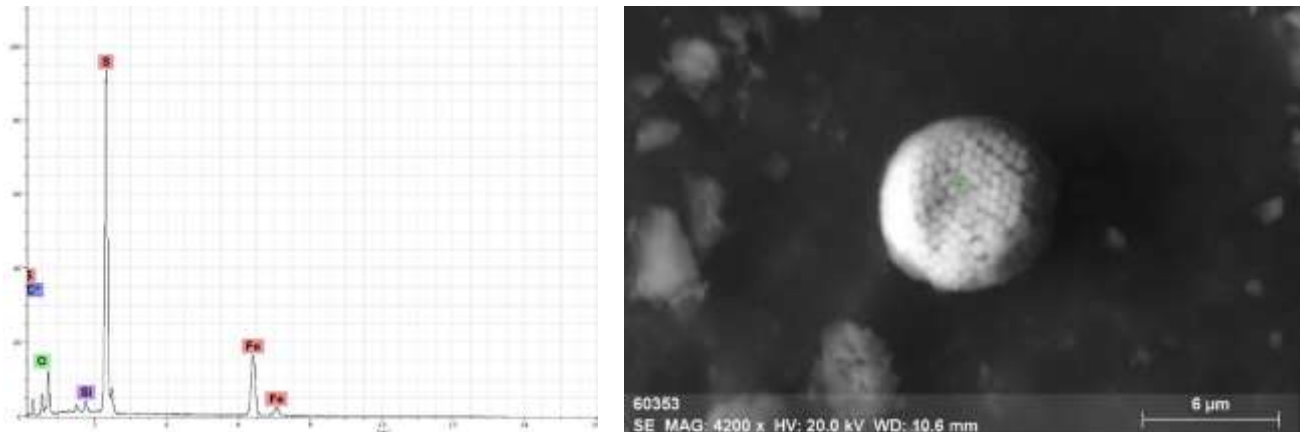


% масс: 1) Fe - 14, Ti - 21, O - 57; 2) Fe - 62, O - 33; 3) Fe - 17, O - 54; 4) Fe - 37, S - 35, O - 21

Рисунок 42 – Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектров включений:

1- псевдорутил 2-3 - Fe-содержащие частицы, 4 – пирит

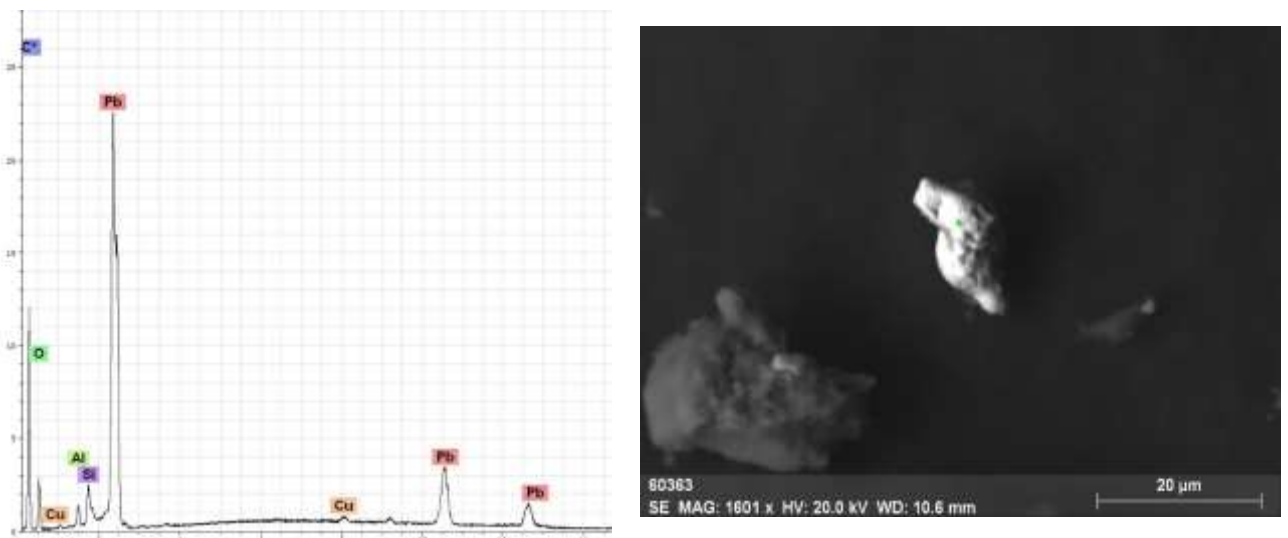
Были исследованы пробы бурового шлама с **Кулгинского месторождения**. В процессе изучения пробы на сканирующем электронном микроскопе выявлены частицы, спектры которых, соответствуют сульфиду железа (пирит). На рисунке 43 представлен пирит фрамбозальной формы.



% масс: Fe - 45, S - 43, O - 11

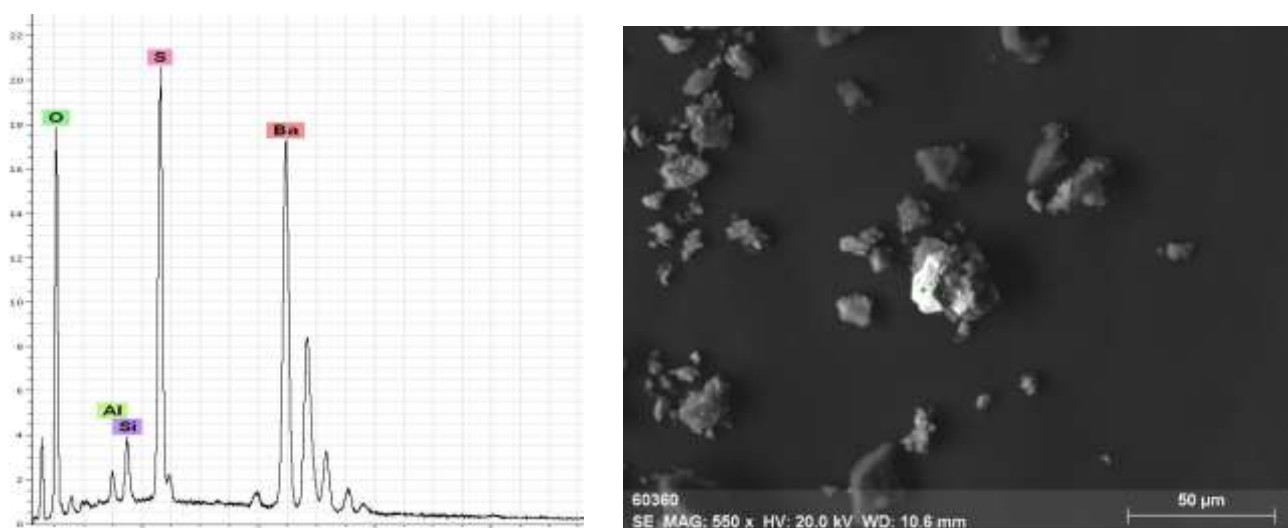
Рисунок 43 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр сульфида железа (пирит), размером в 7 μm

Также в пробе были выявлены Pb-содержащие частицы (рис. 44) и спектры элементов, соответствующие минералам бариту (рис. 45) и циркону (рис. 46).



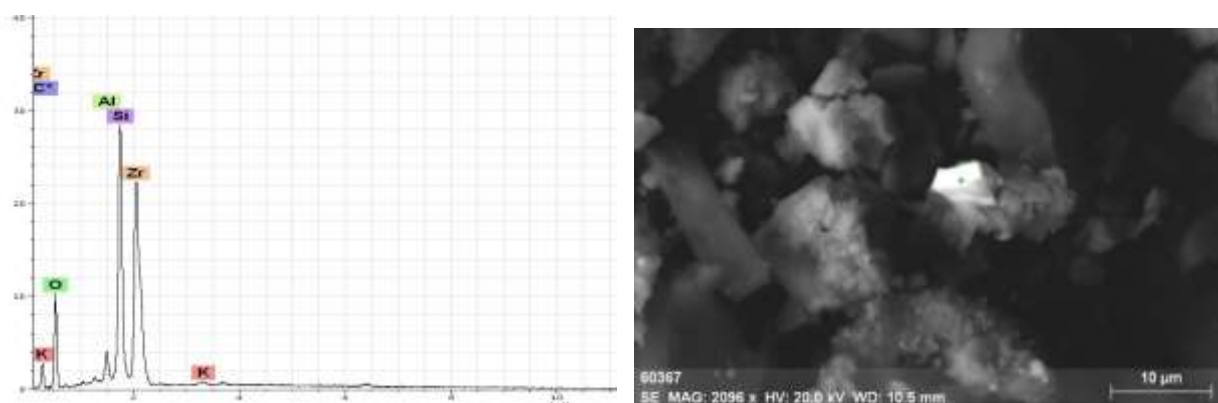
% масс: Pb - 85, O - 7

Рисунок 44 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр включения Pb-содержащей частицы, размером в 20 μm



% масс: Ba - 61, S - 15, O - 21

Рисунок 45 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр сульфата бария (барит), размером в 30 µm



% масс: Zr - 47, O - 3, Si - 17

Рисунок 46 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр включения Zr-содержащей частицы, размером в 8 µm

Определение минерального состава с помощью сканирующей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа показало наличие минералов, в составе которых отмечаются химические элементы As, Pb, Ba, Fe, Ti, Zr, Mn. Результаты сканирующей микроскопии подтверждают данные ранее проведенного рентгенофазового анализа – исследуемые образцы состоят из алюмосиликатной матрицы. Кроме оксида кремния и алюминия, матрица включает в себя такие элементы, как Na, K, Mg. Такой элементный состав соответствует порообразующим минералам – кварцу, альбиту, микроклину, клинохлору, мусковиту, анортотлазу.

При исследовании бурового шлама на сканирующем электронном микроскопе были выявлены акцессорные минералы. Выявлено присутствие оксидов титана, обломочного циркона с хорошо сохранившимися формами кристаллов. Также обнаружен минерал-концентратор редкоземельных элементов, предположительно монацит (Ce, La, Nd, Th) PO₄.

Повсеместно обнаруживались минеральные фазы железа. Железо наблюдалось в ассоциации с серой, образуя собой сульфид железа – пирит. Минерал распространен в виде хорошо образованных кристаллов. Встречаются различные формы пирита: кубический, октаэдрический и фрамбоидальный (глобулярный пирит).

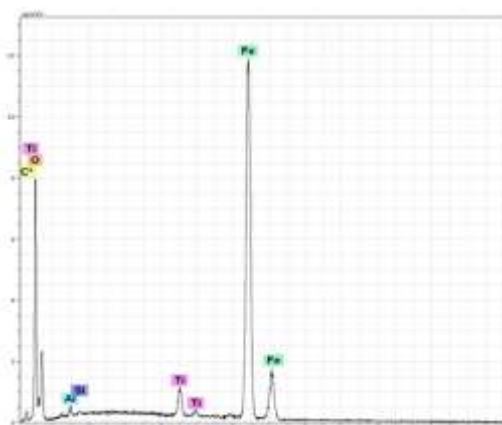
Помимо сульфидов железа, встречаются оксиды железа, предположительно минерал гематит. В минеральном составе проб исследуемом буровом шламе выявлено обилие минеральных фаз Ba и S, соответствующих минералу бариту. Во многих случаях Fe, S, Ba, Ti, Zr, U и редкоземельные элементы находятся в собственных минеральных формах.

Пробы бурового шлама, отобранные на шламовых амбарах **Шингинского и Южно-Шингинского месторождения**, были разделены на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. Доля магнитной и электромагнитной фракции составила менее 0,5 %. Полученное процентное соотношение представлено в таблице 28 (Климова и др., 2020).

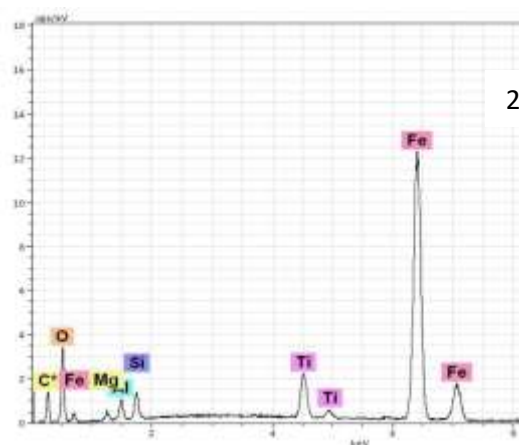
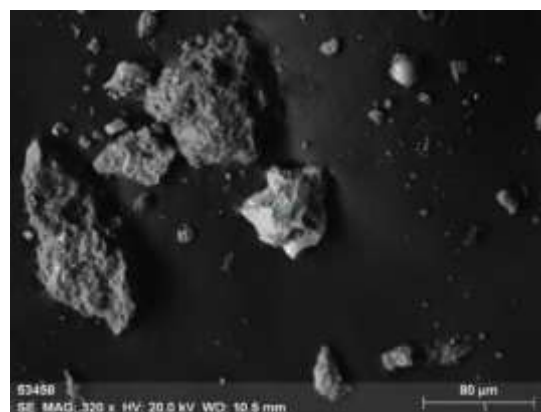
Таблица 28 – Процентное соотношение магнитной, электромагнитной и немагнитной фракций в пробах бурового шлама.

Месторождение Фракция	Шингинское (2 пробы)		Южно-Шингинское (3 пробы)		
	Куст. площадка №7	Куст. площадка №8	Кустовая площадка №3		
	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 1	амбар 1
Магнитная, %	0,10	0,42	0,21	0,02	0,12
Электромагнитная, %	0,08	0,06	0,21	0,01	0,24
Немагнитная, %	99,82	99,52	99,58	99,97	99,64

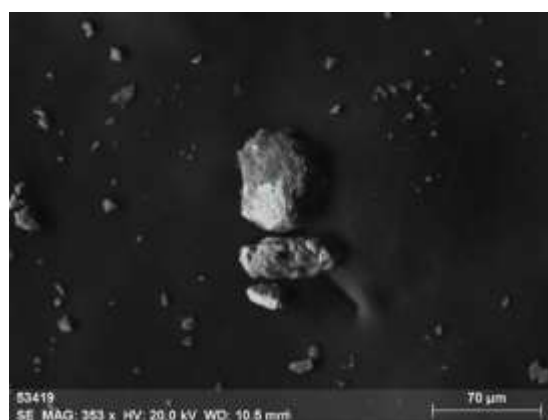
Далее каждая фракция исследовалась методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на сканирующем электронном микроскопе. Магнитная фракция в основном представлена оксидом железа. В пробах бурового шлама с Шингинского месторождения встречаются Ti-Fe- содержащие частицы (рис. 47).



1



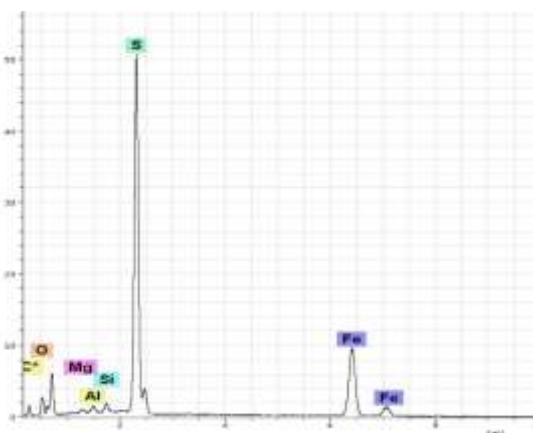
2



% масс: 1) Fe - 75, O - 22, Ti - 2.5 2) Fe - 75, Ti - 6, O - 12

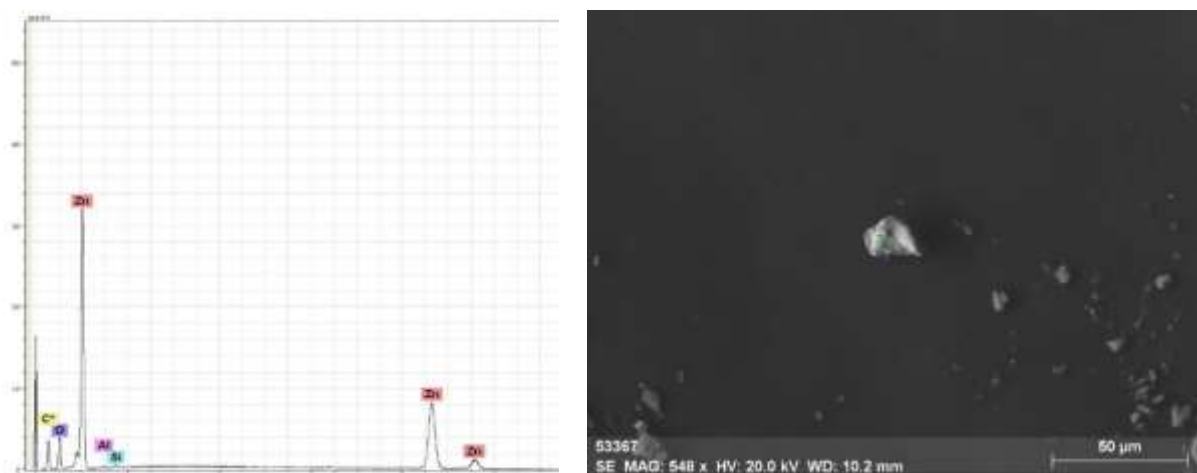
Рисунок 47 – Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Ti-Fe-содержащих частиц, размером 9 μm

Электромагнитная фракция проб бурового шлама с Шингинского и Южно-Шингинского месторождения выделяется наличием включений, спектр которых, соответствует дисульфиду железа (минерал пирит) (рис. 48), также встречаются цинк-, свинец- и медь-содержащие частицы (рис. 49 – 53).



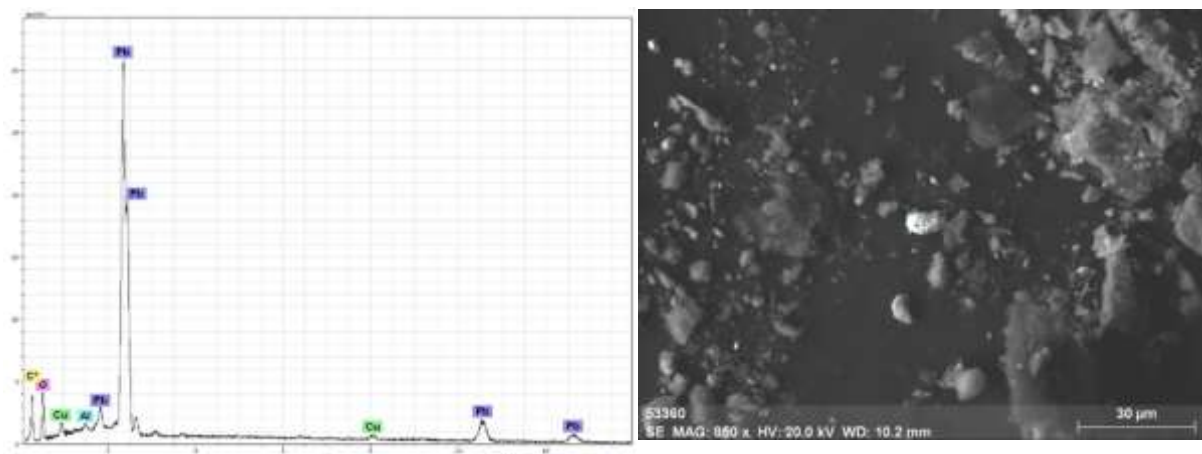
% масс: Fe - 43, S - 45, O - 9.5

Рисунок 48 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Fe - содержащей частицы (пирит), размером 9 μm



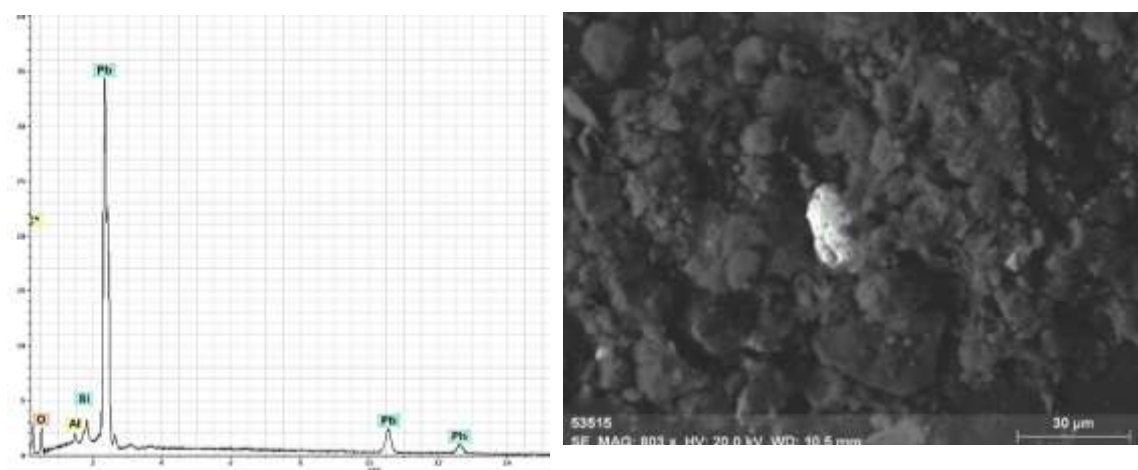
% масс: Zn - 89, O - 10

Рисунок 49 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Zn – содержащей частицы, размером 50 µm



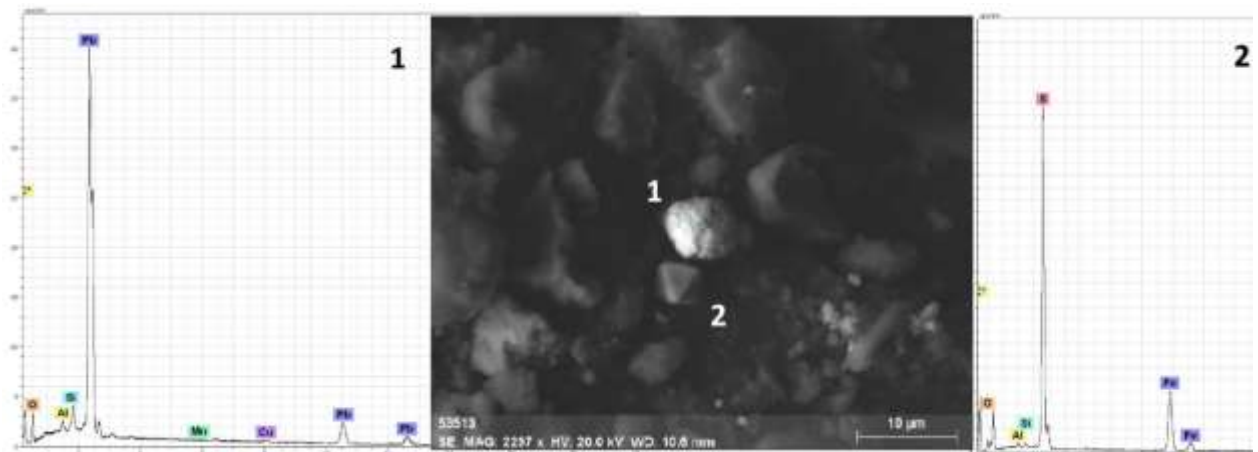
% масс: Pb - 82, O - 15, Cu - 2

Рисунок 50 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Pb – содержащей частицы, размером 10 µm



% масс: Pb - 90, O - 8

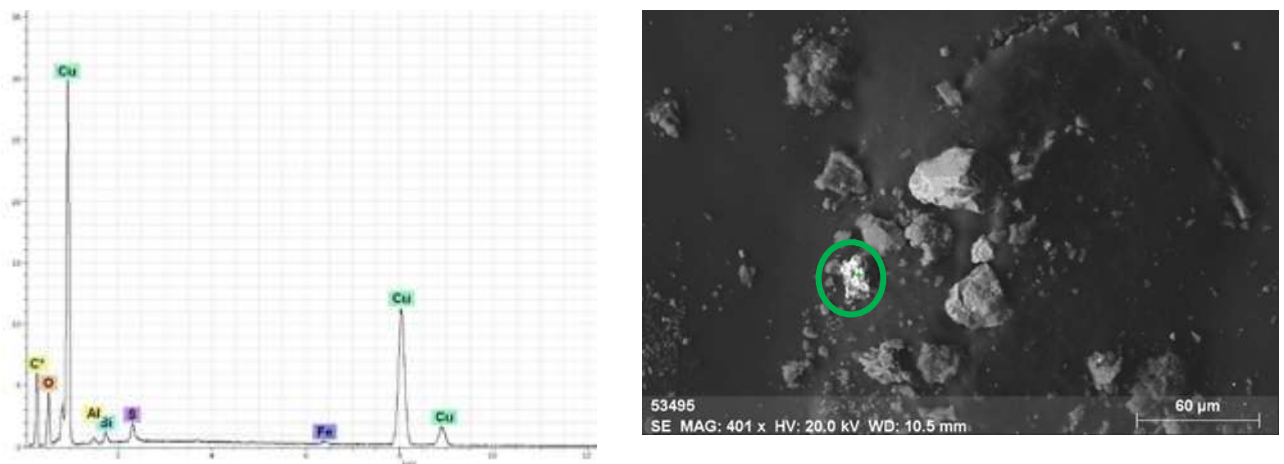
Рисунок 51 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Pb – содержащей частицы, размером 35 µm



% масс: 1) Pb - 88, O - 10, Cu - 1 2) Fe - 49, S - 45, O - 5

Рисунок 52 – Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектров включений:

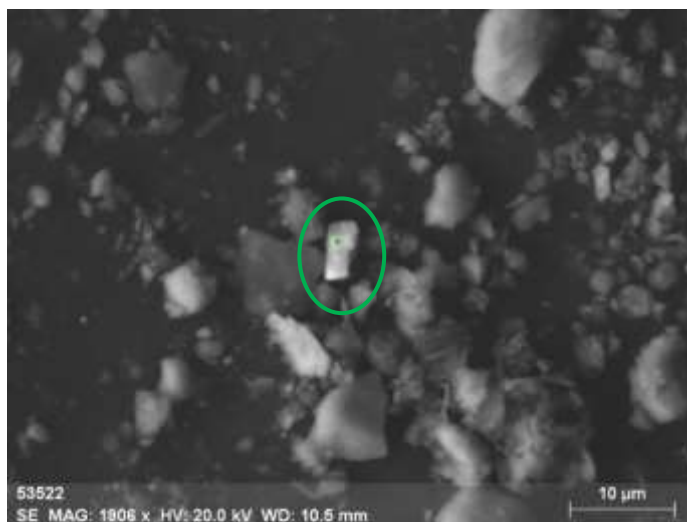
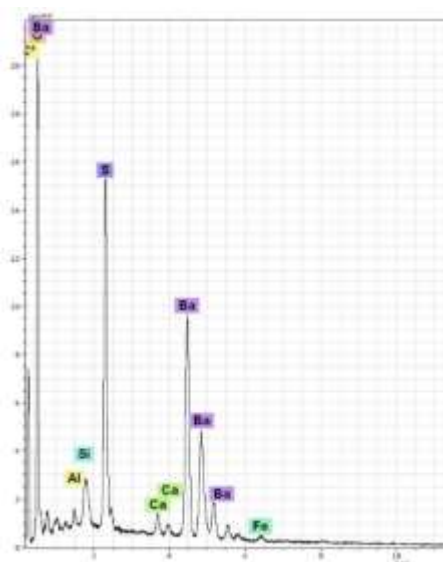
1 – Pb-содержащая частица, 2 – пирит



% масс: Cu - 86, S - 2, O - 9

Рисунок 53 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Cu – содержащей частицы, размером 80 µm

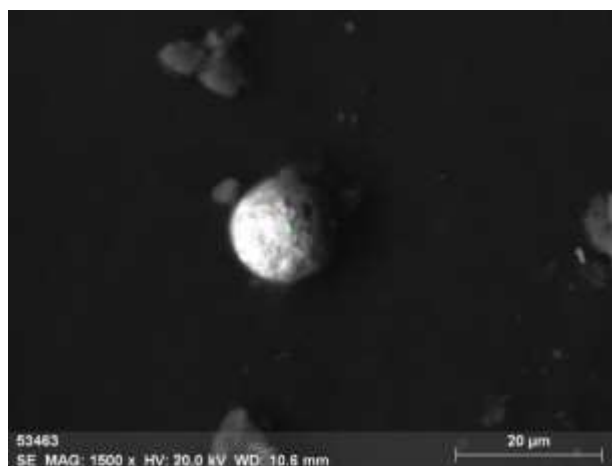
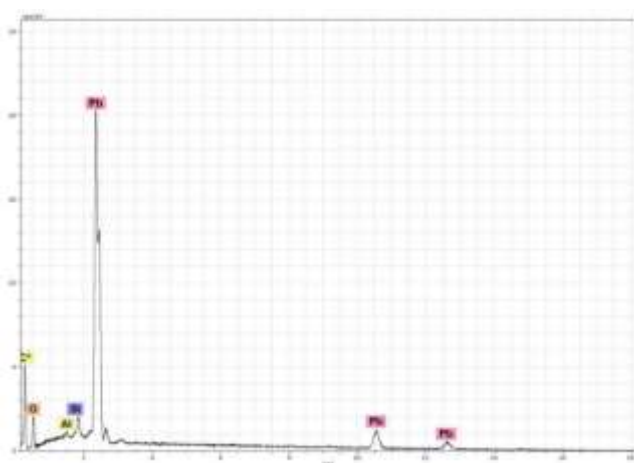
В пробах бурового шлама, отобранных из действующих шламовых амбаров Шингинского месторождения (кустовой площадки № 8) и Южно-Шингинского месторождения (кустовой площадки № 3, амбара №3) выявлены включения, спектр которых соответствует сульфату бария (минерал барит) (рис. 54) (Климова и др., 2020).



% масс: Ba - 48, O - 34

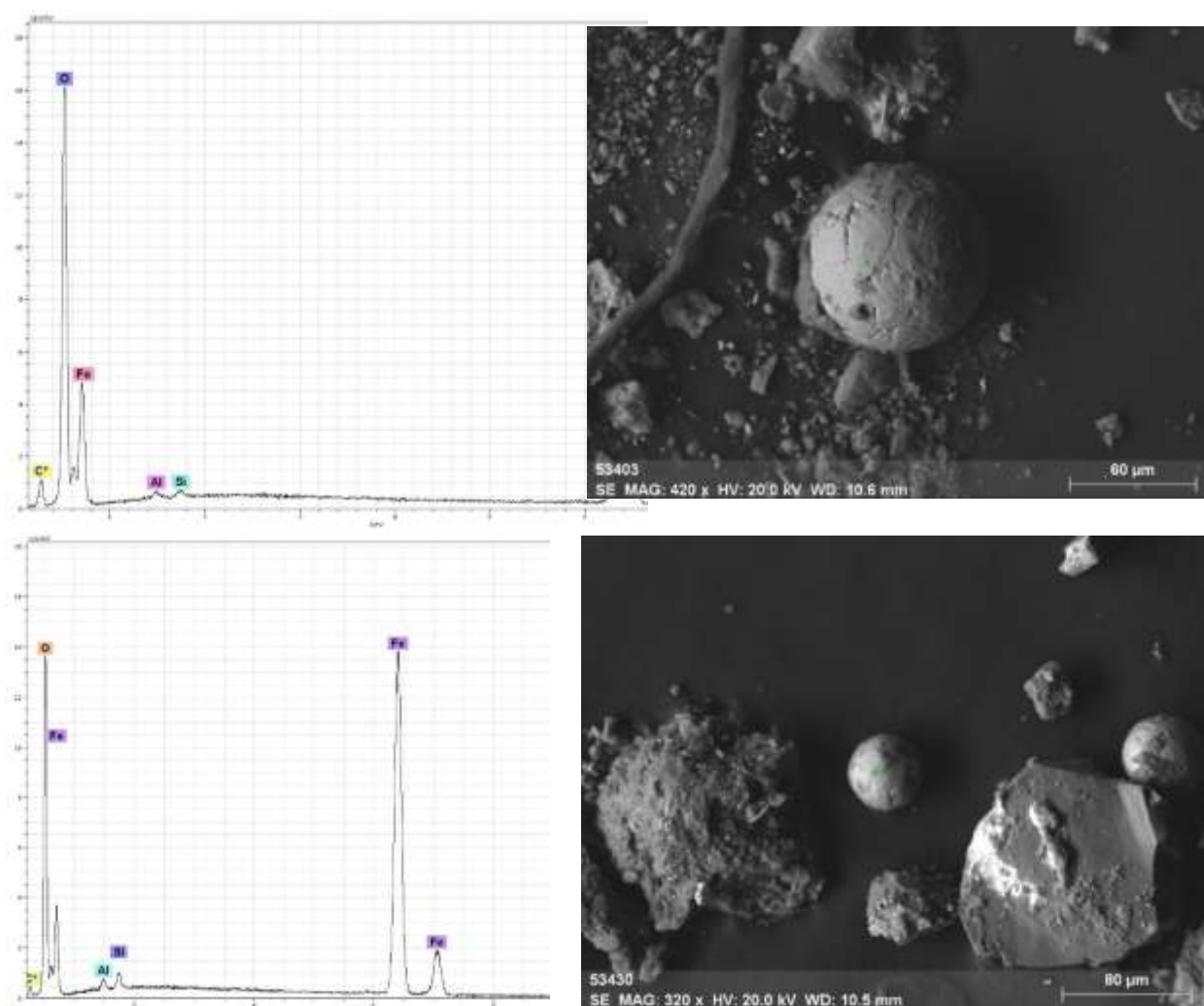
Рисунок 54 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр барита, размером 10 µm

В исследуемых пробах бурового шлама обнаружены сферулы оксида железа и оксида свинца. Были сняты спектры и сделаны снимки найденных сферул в режиме обратно рассеянных электронов. Результаты представлены на рисунке 56. Сферулы оксида железа обнаружены во всех пробах, за исключением пробы с кустовой площадки № 3, амбар № 1 Южно-Шингинского месторождения. Сферулы оксида свинца (рис. 55) выявлены исключительно в пробах с Шингинского месторождения (Климова и др., 2020).



% масс: Pb - 88, O - 11

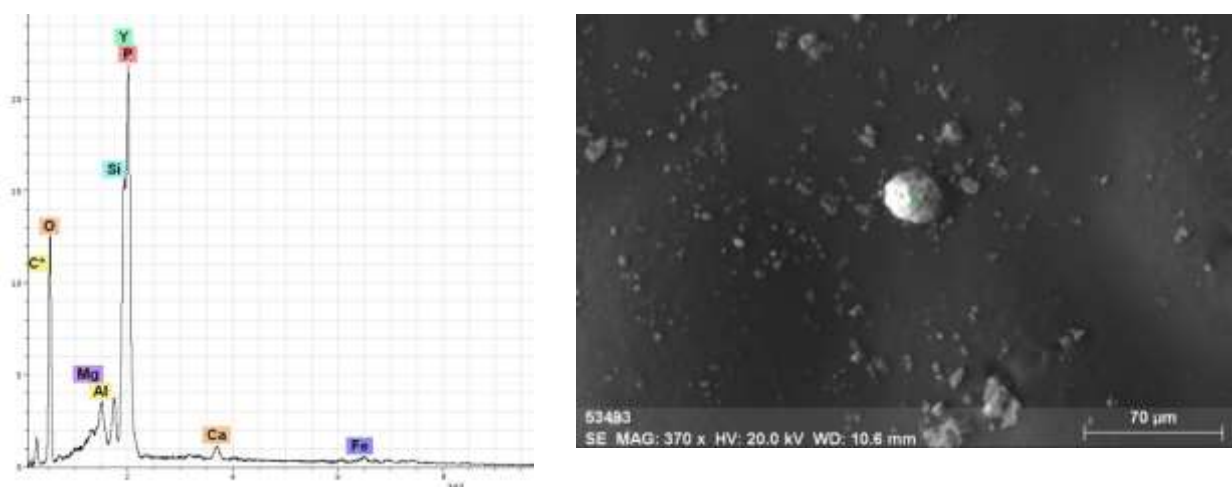
Рисунок 55 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр сферулы оксида свинца, размером 15 µm



% масс: 1) Fe - 72, O - 27 2) 1) Fe - 71, O - 28

Рисунок 56 – Снимки в режиме обратно рассеянных электронов и спектр сферулы оксида железа

В исследуемой пробе была выявлена Y-P – содержащей частицы (рис. 57).



% масс: Y - 31, P - 15, O - 46

Рисунок 57 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Y-P – содержащей частицы, размером 30 µm

Стоит акцентировать внимание на сферах найденных в исследуемых пробах. Сферы являются традиционным объектом естественнонаучных исследований – еще Вернадский В.И. отмечал их значение для генетической минералогии и геохимии.

Седиментогенные сферы: общеизвестным примером минеральных сфер являются оолиты. Оолиты представляют собой сферические минеральные агрегаты концентрически-зонального и радиально-лучистого строения обычно с инородным ядром или сферической полостью в центре, их размеры варьируются от 0,01 мм до 1 мм, более крупные оолиты (пизолиты) – до 5 мм и более.

Специфической разновидностью или генетическим типом микросфер являются фрамбоиды – сферические агрегаты плотноупакованных микрокристаллов размером 1-10 мкм (иногда до 50 мкм). Состав их обычно дисульфидно-железистый (обычно пирит), иногда магнетитовый, гематитовый или лимонитовый (псевдоморфозы по пириту). Это основная форма пиритизации черных сланцев в широком возрастном диапазоне.

Что касается фрамбоидального пирита, то стоит отметить особенность такого образования. Фрамбоидальный пирит служит индикатором принадлежности изучаемой горной породы к образованиям осадочного генезиса и используются при датировке возраста горной породы. Дискуссии о его генезисе ведутся до сих пор. Фрамбоидальный пирит является специфическим, типоморфным синдиагенетическим образованием и служит в качестве индикатора приповерхностного (экзогенного) низкотемпературного сульфидообразования в анаэробной обстановке. Фрамбоиды демонстрируют редкую устойчивость и распространены в рудах обширного ряда колчеданных объектов различного возраста от докембрийских и до кайнозойских. Наличие фрамбоидов, сложенных органическим веществом, а также в той или иной степени замещённых пиритом, позволяет утверждать первичную биогенную природу фрамбоидальных образований, которые в таком случае правильнее было бы называть не строго фрамбоидальным пиритом, но пиритизированными и при этом хорошо сохранившимися органическими остатками, то есть пиритизированными фоссилиями (Богущ и др., 2015).

На сегодняшний день, накоплено много данных по вещественному составу, морфологии и закономерностях локализации сфер в природных средах (включая условия, полностью исключающие их техногенную природу), их полигенетический характер не вызывает сомнения. Все генетические типы сфер (за исключением оолитов и пизолитов) при всем многообразии источников вещества и механизмов сферулообразования представляют застывшие капли расплавов различного состава (силикаты, металлы, сульфиды, оксиды) в очень широком диапазоне плавления (Лукин А.Е., 2009, 2013).

4.6 Оценка токсичности бурового шлама нефтяных месторождений методом биотестирования

Для определения наличия токсического эффекта у бурового шлама, отобранного в шламовых амбарах на нефтяных месторождениях, был применен метод биотестирования с использованием следующих тест-объектов: рачки *Daphnia magna Straus*, водоросли *Chlorella vulgaris Beijer* / *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. и плодовые мушки *Drosophila melanogaster*. Следует отметить, что определение токсичности бурового шлама впервые было проведено по методике определения токсичности водных вытяжек из отходов по измерению оптической плотности водоросли хлорелла.

В период с 2016 по 2017 гг. были поставлены эксперименты по проведению биотестирования на тест-объекте *Drosophila melanogaster*. Биотестирование проводилось на пробах бурового шлама нефтяных месторождений, расположенных на территории Томской области: Первомайское, Катильгинское, Южно-Черемшанское, Лугинецкое. В 2018 г. было продолжено изучение токсичности бурового шлама с применением методов биотестирования. Пробы бурового шлама отбирались из шламовых амбаров с кустовых площадок Шингинского и Южно-Шингинского месторождений.

Эксперимент по оценке токсичности проб бурового шлама с помощью тест-объекта *Drosophila melanogaster* проводился в лабораторных условиях. По окончании эксперимента оценивалось соотношение особей обоих полов в пробе бурового шлама по отношению к контрольной, учитывались морфозы, и был рассчитан критерий хи-квадрат (критерий соответствия фактического и ожидаемого результатов). Концентрация мутагена составляла 0,2 %. Для определения концентрации мутагена был проведен эксперимент по определению ЛД₅₀. Летальная доза определяет уровень отрицательного воздействия концентрации химического вещества, при котором за определенный отрезок времени погибает 50 % особей из экспериментальной группы. В процессе эксперимента концентрация летальной дозы не была установлена. В связи с этим было решено применить концентрацию вещества 0,2 %, установленную ранее в исследовании Азаровой С.В. (2005), когда автор определяла токсичность горнорудных отходов.

За время проведения биотестирования проб бурового шлама были обнаружены следующие морфозы в развитии тест-объекта. Отклонения связаны либо с деформацией крыльев (помятые, отсутствует одно из крыльев), либо с деформацией щетинок. При постановке эксперимента на пробах с месторождений Томской области всего было изучено 16131 мухи.

За теоретически ожидаемое соотношение полов бралось соотношение 50/50 %, т.к. оно считается оптимальным в каждой пробе и контроле (допустимо 5 %-ое отклонение). В целом

Место отбора (месторождение, район)	Количество, шт		Количество, %		Ср. кол-во мух из 1 фл.	χ^2	Пороговое значение χ^2
	Самцы	Самки	Самцы	Самки			
Контроль	1112	1192	48,3	51,7	76,8	2,76	<3,84
	2304						
Первомайское	518	631	45	55	57,5	11,1	>3,84
	1149						
Катыльгинское	549	706	43,7	56,3	62,8	19,64	>3,84
	1255						
Южно-Черемшанское	535	659	44,8	55,2	59,7	12,86	>3,84
	1194						
Лугинецкое	578	735	44,0	56,0	65,6	18,76	>3,84
	1313						
Контроль	353	395	47,2	52,8	83,1	2,35	<3,84
	748						
Кулгинское	437	494	46,9	53,1	93,1	3,49	<3,84
	931						
Контроль	453	508	47,1	52,9	96,1	3,14	<3,84
	961						
Южно-Шингинское, кустовая площадка №3, амбар 1	470	487	49,1	50,9	95,7	0,30	<3,84
	957						
Южно-Шингинское, кустовая площадка №3, амбар 2	412	394	51,1	48,9	80,6	0,40	<3,84
	806						
Контроль	278	318	46,6	53,4	59,6	2,68	<3,84
	596						
Южно-Шингинское, кустовая площадка №3, амбар 3	394	441	47,2	52,8	83,5	2,64	<3,84
	835						
Контроль	354	395	47,3	52,7	74,9	2,24	<3,84
	749						

Шингинское, кустовая площадка №7, амбар 1	399	441	47,5	52,5	84,0	2,10	<3,84
	840						
Контроль	374	414	47,5	52,5	78,8	2,03	<3,84
	788						
Шингинское, кустовая площадка №8, амбар 1	328	377	46,5	53,5	70,5	3,40	<3,84
	705						
Всего - 16131 (в том числе: самцов – 7544, самок – 8587)							

Соотношение полов рассматривалось нами как критерий, являющийся доказательством токсичности проб отходов. Меньшее количество самцов по отношению к самкам свидетельствует о наличии токсического действия пробы. Подтверждением достоверности полученных результатов может служить критерий соответствия χ^2 , подсчитанный на основе данных по количеству самцов и самок в пробах. Если полученные величины χ^2 в пробах превышают критическое значение 3,84 (при числе степеней свободы равном 1, вероятности 0,05, согласно таблице χ^2), следовательно, предположение о том, что соотношение самок к самцам в контрольной среде и среде с добавлением пробы одинаково, неверно. Соответственно, можно сделать вывод, что состав проб исследуемых отходов оказал воздействие на соотношение полов мушек. Если величина χ^2 не превышает 3,84 – это свидетельствует о том, что по данному показателю токсического действия проб не наблюдается.

Полученные значения в контрольных пробах меньше табличного значения $\chi^2 = 3,84$ (при степени свободы равной единицы). Это значит, что фактический и ожидаемый результаты отличаются не более чем на 0,05, т.е. полученные опытные данные верны.

Ряд проб, по результатам исследования, не оказывает токсического воздействия на тест-объект *Drosophila melanogaster*. Это пробы бурового шлама с Южно-Шингинского, Шингинского, Кулгинского месторождений. Пробы бурового шлама, с месторождений Первомайское, Катыльгинское, Южно-Черемшанское и Лугинецкое оказывают токсическое воздействие на тест-объект *Drosophila melanogaster*, выраженное в непропорциональном соотношении полов. Рассчитанные значения χ^2 по результатам биотестирования выше табличного значения $\chi^2 = 3,84$ (при степени свободы равной 1), фактический и ожидаемый результат сильно отличаются друг от друга, что может указывать на влияние бурового шлама, добавленного в питательную среду.

При постановке эксперимента над пробами бурового шлама с Кулгинского, Шингинского и Южно-Шингинского месторождения морфозы у нового поколения мушек не были выявлены.

Помимо этого, при помощи тест-объекта *Drosophila melanogaster* мы определили мутагенную изменчивость посредством учета соматической рекомбинации (мозаицизма).

Под соматической рекомбинацией понимают обмен генетическим материалом между гомологичными хромосомами соматических клеток в митозе, приводящих к образованию мозаичных особей. Выявление мутационных событий происходит за счет учета мозаичных пятен, возникших у мух тестерных линий в результате нарушения генотипа посредством введения исследуемого вещества – бурового шлама в организм дрозофилы пероральным (с кормом) способом (Оценка мутагенных свойств фармакологических средств, 1988). По результатам исследования мутационной изменчивости у тест-объектов выявлено не было.

Также с 2016 по 2017 гг. в научно-образовательном центре «Вода» НИТПУ под руководством лаборанта Воробьевой Д.А. проводилось исследование острой токсичности водной вытяжки буровых шламов с Первомайского, Катыльгинского, Южно-Черемшанского и Лугинецкого месторождений с помощью тест-объекта *Chlorella vulgaris* Beijer. Исследование велось согласно ПНД Ф Т 14.1:2.3.4.10-04 16.1:2.3.7-04 «Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по измерению оптической плотности тест культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer)». Результаты исследования представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Результаты исследования острой токсичности водной вытяжки бурового шлама с применением тест-объекта *Chlorella vulgaris* Beijer

Месторождение	Величина токсической кратности разбавлений	Повторяемость r^* , %	Качество воды	Результат токсикологического анализа
Первомайское	1,7	30	Слабо-токсичная	наличие
Катыльгинское	31	10	Сильно-токсичная	наличие
Южно-Черемшанское	37	5	Сильно-токсичная	наличие
Лугинецкое	11,2	23	Токсичная	наличие
Примечание: *- (r) относительное значение допускаемого расхождения между четырьмя результатами параллельных определений.				

Результаты исследования показали, что качество водной вытяжки из бурового шлама Первомайского месторождения слаботоксично для водоросли хлорелла. Вытяжка из буровых шламов Лугинецкого месторождения – токсичная. Водная вытяжка из бурового шлама Катыльгинского и Южно-Черемшанского месторождений сильнотоксичная.

Результаты тестирования бурового шлама на исследуемом тест-объекте свидетельствуют о неблагоприятном воздействии, которое устраняется 2-кратным разбавлением в одном случае (месторождении Первомайское) и 11-кратным разбавлением в другом случае (месторождение Лугинецкое). Для пробы бурового шлама с Катыльгинского месторождения

требуется 30-кратное разбавление; в пробах с Южно-Черемшанского месторождения неблагоприятное воздействие может быть устранено при 40-кратном разбавлении.

На пробах бурового шлама с Кулгинского, Шингинского и Южно-Шингинского месторождений проводилось биотестирование с последующим определением класса опасности на двух тест-объектах разных систематических групп: ракообразные *Daphnia magna* Straus (ФР.1.39.2007.03222) и водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb (ФР.1.39.2007.03223). Результаты биотестирования приведены в таблице 31. Измерение проводилось с помощью анализатора жидкости «Флюорат-02-3М».

Таблица 31 – Результаты биотестирования водной вытяжки (ВВ) бурового шлама и отнесение к классу опасности

Место отбора (месторождение, район)	Тест-объект		Класс опасности
	<i>Daphnia magna</i> Straus	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turp.) Breb.	
Кулгинское	ВВ оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз	Не оказывает вредное воздействие	IV
Южно-Шингинское, кустовая площадка №3, Амбар 1	ВВ оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз	Не оказывает вредное воздействие	IV
Южно-Шингинское кустовая площадка №3, Амбар 2	Не оказывает вредное воздействие	Не оказывает вредное воздействие	V
Южно-Шингинское кустовая площадка №3, Амбар 3	Не оказывает вредное воздействие	Не оказывает вредное воздействие	V
Шингинское, кустовая площадка №7, амбар 1	ВВ оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз	Не оказывает вредное воздействие	IV
Шингинское м кустовая площадка №8, амбар 1	Не оказывает вредное воздействие	Не оказывает вредное воздействие	V

Согласно полученным результатам, буровой шлам был отнесен к IV - V классу опасности: отходы малоопасные, практически не опасные. По данным таблицы видно, что три пробы бурового шлама не оказывают токсического действия на микроводоросли и рачков. Однако для буровых шламов Кулгинского, Шингинского (кустовая площадка № 7) и Южно-Шингинского (кустовая площадка № 3, амбар № 1) месторождений биотестирование на тест-организме рачков *Daphnia magna* показало, что водная вытяжка из отхода оказывает вредное воздействие на тест-объекты при кратности в 1 раз. Токсикологический ответ тест-объекта

Daphnia magna более выражен, это можно связать с тем, что непосредственная среда обитания данного организма – вода, токсикация организма происходит пероральным путем (Климова и др., 2020).

В таблице 32 приведены обобщенные результаты биотестирования бурового шлама с использованием тест-объектов разных систематических групп.

Таблица 32 – Обобщенные результаты биотестирования бурового шлама

Место отбора	Тест-объект			
	<i>Daphnia magna</i> Straus*	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer / <i>Scenedesmus quadricauda</i> *	<i>Drosophila melanogaster</i> **	
	токс.	токс.	токс.	мут.
Первомайское (I)	н.о.	+	+	–
			1149 мух	
Катыльгинское (I)	н.о.	+	+	–
			1255 мух	
Южно-Черемшанское (I)	н.о.	+	+	–
			1194 мухи	
Лугинецкое (I)	н.о.	+	+	–
			1313 мух	
Кулгинское (I)	+	–	–	–
			931 муха	
Шингинское, кустовая площадка №7, амбар 1 (I)	+	–	–	–
			1147 мух	
Шингинское, кустовая площадка № 8, амбар 1 (I)	–	–	–	–
			705 мух	
Южно-Шингинское, кустовая площадка № 3, амбар 1 (I)	+	–	–	–
			937 мух	
Южно-Шингинское, кустовая площадка № 3, амбар 2 (I)	–	–	–	–
			806 мух	
Южно-Шингинское, кустовая площадка № 3, амбар 3 (I)	–	–	–	–
			835 мух	
н.о.	Не определено			
+	Водная вытяжка оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз			
–	Не оказывает вредное воздействие			
*	Водная вытяжка из отхода			
**	Твердая фаза отхода			
токс.	Токсический эффект			
мут.	Мутагенный эффект			

Примечание: в скобках указано количество проб.

По результатам биотестирования буровой шлам относится к малоопасным, практически неопасным отходам, и не является потенциально токсичными. В целом, биотестирование показало неоднозначные результаты. На полученный результат могло повлиять нахождение элементов в нерастворенной форме т.к. они не влияли на тест-организмы.

Исследование эколого-геохимической характеристики буровых шламов нефтяных месторождений Томской области помогло сделать следующие выводы: схожий минералогический состав бурового шлама указывает на близкий состав вскрышных пород. Кварц, слюда и калинатровые полевые шпаты занимают максимальную долю в составе. Определены минеральные фазы элементов Fe, Pb, Zn, Ba, Cu, Ti. Выявлены сферулы железа и свинца. В буровом шламе фиксируются повышенные содержания таких элементов как Pb, Zn, Mo, As, Ag, Sb. Величина суммарного показателя загрязнения низкой и средней степени загрязнения, но отличается для бурового шлама, отобранного на амбарах разной степени эксплуатации. Буровой шлам по результатам биотестирования относится к IV-V классу опасности.

ГЛАВА 5: МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ТОКСИЧНОСТЬ БУРОВОГО ШЛАМА НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Аналогичное исследование было проведено с пробами, отобранными из шламовых амбаров нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области. В данной главе рассмотрено комплексное исследование по определению минералого-геохимической характеристики, величины магнитной восприимчивости, количественного содержания нефтепродуктов и токсичности бурового шлама.

5.1 Характеристика минералогического состава бурового шлама

По данным рентгенофазового анализа на дифрактометре в составе исследуемых проб бурового шлама были определены общие минералы – это кварц, кальцит, доломит и слюдистые минералы (мусковит, биотит).

Пробы бурового шлама с эксплуатационных скважин Ярактинского и Марковского месторождений имеют общие минералы – кварц, кальцит, доломит, ангидрит и слюда (мусковит, биотит). Они занимают максимальную долю в составе проб.

Проба с разведочной скважины Ярактинского месторождения существенно отличается по минералогическому составу от пробы бурового шлама с эксплуатационных скважин. В составе пробы появляются силикаты и алюмосиликаты (диопсид и цеолит), соль (галит), а слюдистый минерал представлен биотитом (Климова и др., 2020).

Дополнительно, методом отмучивания, была проведена попытка выделить глинистую составляющую, с последующей фильтрацией и анализом полученной фракции на дифрактометре. По данным рентгенофазового анализа в составе отделенной фракции глинистые минералы не обнаружены. Результаты рентгенофазового анализа валовых проб и выделенной составляющей после отмучивания проб бурового шлама представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Минералогический состав бурового шлама нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области

Месторождение	Марковское (эксплуатационная скважина)		Ярактинское (эксплуатационная скважина)		Ярактинское (разведочная скважина)	
	1	2	1	2	1	2
Проба						
Кварц	28,9 %	24,4 %	43,6 %	32,5 %	2,4 %	5,7 %
Доломит	3,5 %	2,5 %	20,3 %	18,1 %	6,8 %	21,7 %
Кальцит	15,4 %	13,5 %	19,8 %	31,5 %	5,2 %	16 %

Продолжение таблицы 33

Мусковит	18,6 %	23,3 %	12,4 %	14,7 %	-	-
Ангидрит	4,3 %	5,4 %	3,9 %	3,1 %	3,5 %	8,3 %
Альбит	18,5 %	16,1 %	-	-	49,1 %	42,9 %
Клинохлор	10,7 %	14,8 %	-	-	-	-
Биотит	-	-	-	-	2,3 %	3,5 %
Диопсид	-	-	-	-	24 %	-
Галит	-	-	-	-	6,7 %	-
Цеолит	-	-	-	-	-	1,9 %

Примечание:

1 – валовая проба

2 – выделенная фракция методом отмучивания

Минералогический состав бурового шлама до и после отмучивания в целом не изменился. Выявленные минералы варьируют в одном диапазоне. За исключением, пробы с Ярактинского месторождения, с разведочной скважины, где после отмучивания выявились – цеолиты, в то время как ранее определенные в валовой пробе галит и диопсид не были обнаружены.

5.2 Характеристика элементного состава бурового шлама и почвы

5.2.1 Характеристика элементного состава бурового шлама

Среднее содержание химических элементов буровом шламе с Марковского и Ярактинского месторождений сравнивалось с содержанием элементов в осадочных горных породах в целом и среднем содержанием химических элементов в верхней части континентальной коры, данные элементного состава представлены в табл. 34.

Таблица 34 – Среднее содержание химических элементов (мг/кг) в пробах бурового шлама, в осадочных горных породах и в верхней части континентальной коры

Элементы	Данные автора			ПДКвал.* /ОДК**	Григорьев Н.А., 2009**	
	Марковское (экспл.) n=3	Ярактинское (экспл.) n=4	Ярактинское (разв.) n=3		ОГП	Кларк
Li	$35,67 \pm 0,74$ (34,35 – 36,93)	$38,71 \pm 1,05$ (37,11 – 41,59)	$55,39 \pm 30,21$ (18,62 – 115,29)	-	39,0	33,0
Be	$1,45 \pm 0,49$ (0,56 – 2,25)	$0,79 \pm 0,18$ (0,25 – 0,97)	$1,81 \pm 0,79$ (0,7 – 3,34)	-	2,1	2,3
Na	$10419,8 \pm 851,9$ (8742,1 – 11516,5)	$3146,1 \pm 306,53$ (2249,4 – 3623,5)	$33276,7 \pm 10351,6$ (13075,3 – 47300,5)	-	13100,0	20700,0
Mg	$26569,8 \pm 490,8$ (25597,2 – 27171,2)	$33082,7 \pm 943,6$ (30908,9 – 35506,5)	$42749,5 \pm 8439,4$ (27086,75 – 56028,5)	-	18300,0	17700,0

Al	$51123,26 \pm 2963,9$ (178651,5 – 184142,4)	$13978,4 \pm 3300,7$ (4323,6 – 18582,8)	$44726,48 \pm 925,21$ (43060,6 – 46257,1)	-	64400,0	76100,0
Si	$181841,6 \pm 1646,3$ (178651,5 – 184142,4)	$110259,7 \pm 7057,05$ (95537,6 – 128418,5)	$146237,1 \pm 10144,2$ (128164,9 – 163258,2)	-	238400,0	283200,0
P	$574,02 \pm 6,72$ (560,67 – 581,99)	$275,45 \pm 16,68$ (230,73 – 304,25)	$577,9 \pm 85,87$ (406,17 – 663,99)	-	670,0	690,0
K	$16090,1 \pm 793,4$ (15039,5 – 17645,2)	$6656,72 \pm 55,02$ (6555,89 – 6768,32)	$10103,7 \pm 6763,7$ (3189,8 – 23629,97)	-	19800,0	22300,0
Sc	$10,84 \pm 1,47$ (8,32 – 13,41)	$3,97 \pm 2,18$ (0,05 – 8,72)	$13,65 \pm 3,37$ (9,28 – 20,27)	-	9,7	5,5
Ti	$3315,51 \pm 120,64$ (3118,86 – 3534,92)	$1239,33 \pm 31,39$ (1185,88 – 1316,94)	$5047,88 \pm 1360,84$ (2831,49 – 7524,05)	-	3500,0	3930,0
V	$96,8 \pm 7,4$ (88,17 – 111,54)	$41,58 \pm 6,97$ (31,17 – 60,66)	$140,84 \pm 52,36$ (80,35 – 245,12)	150*	91,0	120,0
Cr	$96,53 \pm 9,13$ (82,49 – 113,65)	$229,17 \pm 62,16$ (81,47 – 334,69)	$97,92 \pm 35,95$ (34,9 – 159,4)	-	76,6	92,4
Mn	$797,22 \pm 18,58$ (762,13 – 825,38)	$369,52 \pm 11,64$ (340,86 – 391,04)	$902,98 \pm 342,7$ (398,19 – 1556,91)	1500*	730,0	770,0
Fe	$39936,77 \pm 1622,85$ (37850,53 – 43133,18)	$27769,93 \pm 663,19$ (26472,41 – 29061,19)	$55698,3 \pm 10571,23$ (40151,46 – 75880,36)	-	35400,0	40600,0
Co	$20,96 \pm 2,82$ (16,74 – 26,31)	$21,72 \pm 3,40$ (13,36 – 29,69)	$33,49 \pm 9,21$ (15,11 – 43,65)	5*	14,0	17,0
Ni	$41,22 \pm 5,06$ (34,71 – 51,19)	$12,39 \pm 4,58$ (2,24 – 24,2)	$44,10 \pm 28,58$ (12,29 – 101,14)	40*	38,0	50,0
Cu	$26,47 \pm 2,15$ (23,17 – 30,5)	$130,27 \pm 8,06$ (111,99 – 149,38)	$133,3 \pm 12,69$ (111,99 – 149,38)	66**	31,0	39,0
Zn	$101,41 \pm 8,46$ (88,63 – 117,41)	$220,37 \pm 18,92$ (184,74 – 265,19)	$143,25 \pm 7,27$ (130,39 – 155,56)	110**	69,0	75,0
Ga	$12,53 \pm 0,9$ (11,2 – 14,24)	$3,92 \pm 0,16$ (3,5 – 4,19)	$12,22 \pm 1,58$ (10,46 – 15,37)	-	12,0	19,0
Ge	$1,29 \pm 0,05$ (1,2 – 1,37)	$0,72 \pm 0,04$ (0,6 – 0,79)	$1,26 \pm 0,15$ (0,99 – 1,49)	-	1,4	1,3
As	$17,99 \pm 4,82$ (11,56 – 27,43)	$24,41 \pm 6,97$ (15,33 – 45,06)	$15,21 \pm 5,62$ (4,13 – 22,35)	2*/5**	7,7	5,6
Se	$3,28 \pm 2,33$ (0,5 – 7,91)	$2,10 \pm 0,97$ (0,5 – 4,39)	$2,28 \pm 1,29$ (0,5 – 4,8)	-	0,27	0,15
Rb	$51,87 \pm 2,15$ (48,58 – 55,91)	$16,96 \pm 0,83$ (14,47 – 17,97)	$28,52 \pm 17,33$ (10,26 – 63,17)	-	92,0	98,0
Sr	$409,22 \pm 14,8$ (390,06 – 438,33)	$242,71 \pm 14,94$ (203,17 – 275,6)	$221,13 \pm 37,73$ (149,56 – 277,62)	-	270,0	270,0
Y	$17,0 \pm 1,72$ (13,67 – 19,38)	$4,35 \pm 1,43$ (0,12 – 6,31)	$16,14 \pm 2,05$ (12,05 – 18,5)	-	29,0	26,0
Zr	$107,48 \pm 5,23$ (97,35 – 114,79)	$32,61 \pm 9,49$ (4,17 – 43,01)	$93,83 \pm 1,98$ (90,46 – 97,32)	-	170,0	160,0
Nb	$6,61 \pm 0,27$ (6,12 – 7,06)	$2,98 \pm 0,21$ (2,71 – 3,6)	$6,35 \pm 1,61$ (4,59 – 9,56)	-	7,6	12,0
Mo	$1,87 \pm 0,22$ (1,65 – 2,31)	$8,43 \pm 0,33$ (7,97 – 9,41)	$7,03 \pm 6,18$ (0,82 – 19,4)	-	1,5	1,6
Ag	$0,37 \pm 0,11$ (0,2 – 0,58)	$0,33 \pm 0,05$ (0,2 – 0,41)	$0,35 \pm 0,11$ (0,17 – 0,54)	-	0,1	0,1
Cd	$0,28 \pm 0,05$ (0,2 – 0,38)	$0,31 \pm 0,02$ (0,27 – 0,35)	$0,28 \pm 0,08$ (0,18 – 0,44)	-	0,8	0,6
Sn	$1,34 \pm 0,09$ (1,21 – 1,51)	$2,67 \pm 0,19$ (2,31 – 3,17)	$1,46 \pm 0,52$ (0,59 – 2,38)	-	2,7	3,5

Sb	$\frac{1,08 \pm 0,25}{(0,81 - 1,58)}$	$\frac{5,07 \pm 0,17}{(4,75 - 5,51)}$	$\frac{0,62 \pm 0,42}{(0,17 - 1,46)}$	4,5*	0,9	0,8
Cs	$\frac{2,96 \pm 0,16}{(2,67 - 3,22)}$	$\frac{0,69 \pm 0,03}{(0,63 - 0,74)}$	$\frac{1,55 \pm 1,19}{(0,31 - 3,94)}$	-	9,5	5,5
Ba	$\frac{343,02 \pm 7,59}{(327,88 - 351,54)}$	$\frac{162,82 \pm 36,87}{(52,27 - 201,96)}$	$\frac{127,95 \pm 20,22}{(103,64 - 168,1)}$	-	410,0	510,0
La	$\frac{19,11 \pm 1,46}{(16,33 - 21,28)}$	$\frac{6,1 \pm 2,02}{(0,18 - 9,31)}$	$\frac{15,76 \pm 9,11}{(5,42 - 33,93)}$	-	32,0	32,0
Ce	$\frac{38,18 \pm 3,08}{(32,18 - 42,37)}$	$\frac{10,34 \pm 3,38}{(0,22 - 14,46)}$	$\frac{27,06 \pm 11,56}{(13,6 - 50,8)}$	-	52,0	63,0
Pr	$\frac{4,58 \pm 0,37}{(3,86 - 5,07)}$	$\frac{1,27 \pm 0,41}{(0,04 - 1,77)}$	$\frac{3,11 \pm 0,93}{(1,83 - 4,93)}$	-	6,8	8,7
Nd	$\frac{18,16 \pm 0,94}{(16,28 - 19,18)}$	$\frac{5,03 \pm 1,62}{(0,17 - 6,77)}$	$\frac{11,97 \pm 2,52}{(8,62 - 16,92)}$	-	24,0	29,0
Sm	$\frac{3,66 \pm 0,27}{(3,15 - 4,08)}$	$\frac{1,04 \pm 0,33}{(0,06 - 1,5)}$	$\frac{2,65 \pm 0,15}{(2,43 - 2,95)}$	-	5,5	5,7
Eu	$\frac{0,88 \pm 0,07}{(0,74 - 0,97)}$	$\frac{0,18 \pm 0,06}{(0,01 - 0,25)}$	$\frac{0,71 \pm 0,1}{(0,51 - 0,83)}$	-	0,9	1,3
Gd	$\frac{3,96 \pm 0,33}{(3,32 - 4,41)}$	$\frac{1,01 \pm 0,32}{(0,05 - 1,38)}$	$\frac{3,17 \pm 0,21}{(2,74 - 3,39)}$	-	4,0	6,3
Tb	$\frac{0,53 \pm 0,04}{(0,47 - 0,6)}$	$\frac{0,13 \pm 0,04}{(0,01 - 0,19)}$	$\frac{0,48 \pm 0,06}{(0,36 - 0,55)}$	-	0,7	0,9
Dy	$\frac{3,10 \pm 0,29}{(2,53 - 3,40)}$	$\frac{0,76 \pm 0,25}{(0,01 - 1,03)}$	$\frac{2,92 \pm 0,35}{(2,25 - 3,44)}$	-	3,6	4,8
Ho	$\frac{0,57 \pm 0,03}{(0,51 - 0,61)}$	$\frac{0,16 \pm 0,05}{(0,01 - 0,26)}$	$\frac{0,6 \pm 0,06}{(0,49 - 0,71)}$	-	0,9	1,3
Er	$\frac{1,59 \pm 0,12}{(1,36 - 1,74)}$	$\frac{0,44 \pm 0,15}{(0,01 - 0,6)}$	$\frac{1,72 \pm 0,17}{(1,37 - 1,91)}$	-	1,7	2,7
Tm	$\frac{0,23 \pm 0,01}{(0,21 - 0,24)}$	$\frac{0,06 \pm 0,02}{(0,01 - 0,09)}$	$\frac{0,25 \pm 0,04}{(0,19 - 0,32)}$	-	0,4	0,4
Yb	$\frac{1,72 \pm 0,1}{(1,55 - 1,9)}$	$\frac{0,41 \pm 0,14}{(0,01 - 0,58)}$	$\frac{1,58 \pm 0,2}{(1,24 - 1,93)}$	-	2,0	2,5
Lu	$\frac{0,24 \pm 0,02}{(0,22 - 0,27)}$	$\frac{0,06 \pm 0,02}{(0,0 - 0,1)}$	$\frac{0,24 \pm 0,01}{(0,22 - 0,26)}$	-	0,3	0,5
Hf	$\frac{2,06 \pm 0,13}{(1,81 - 2,23)}$	$\frac{0,56 \pm 0,15}{(0,1 - 0,76)}$	$\frac{1,68 \pm 0,04}{(1,63 - 1,75)}$	-	3,9	4,5
Ta	$\frac{0,41 \pm 0,02}{(0,39 - 0,45)}$	$\frac{0,19 \pm 0,04}{(0,15 - 0,31)}$	$\frac{0,38 \pm 0,14}{(0,23 - 0,67)}$	-	1,0	1,4
W	$\frac{1,15 \pm 0,11}{(0,96 - 1,32)}$	$\frac{6,82 \pm 0,7}{(5,81 - 8,9)}$	$\frac{3,87 \pm 2,66}{(1,08 - 9,2)}$	-	2,0	2,0
Tl	$\frac{0,27 \pm 0,01}{(0,26 - 0,29)}$	$\frac{0,13 \pm 0,02}{(0,1 - 0,17)}$	$\frac{0,42 \pm 0,36}{(0,06 - 1,15)}$	-	0,9	0,8
Pb	$\frac{16,08 \pm 4,46}{(10,5 - 24,9)}$	$\frac{155,11 \pm 29,67}{(107,89 - 240,19)}$	$\frac{67,72 \pm 64,66}{(2,72 - 196,82)}$	32*/ 65**	12,0	17,0
Bi	$\frac{0,56 \pm 0,27}{(0,16 - 1,07)}$	$\frac{0,27 \pm 0,02}{(0,23 - 0,31)}$	$\frac{0,07 \pm 0,04}{(0,02 - 0,16)}$	-	0,3	0,3
Th	$\frac{5,1 \pm 0,38}{(4,34 - 5,57)}$	$\frac{1,63 \pm 0,53}{(0,06 - 2,21)}$	$\frac{2,86 \pm 1,78}{(0,84 - 6,42)}$	-	9,9	9,1
U	$\frac{2,1 \pm 0,1}{(1,9 - 2,22)}$	$\frac{1,28 \pm 0,06}{(1,13 - 1,39)}$	$\frac{0,96 \pm 0,35}{(0,51 - 1,66)}$	-	3,2	2,5

Примечание: среднее содержание химических элементов в пробах бурового шлама по данным масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС).

Григорьеву Н.А., 2009**: ОГП - среднее содержание химических элементов в осадочных горных породах в целом; кларк - среднее содержание химических элементов в верхней части континентальной коры. *ПДК вал. почвы - ГН 2.1.7.2041-06, **ОДК почвы - ГН 2.1.7.2511-09

Сравнение полученных данных выявило, что ряд химических элементов в буровом шламе, отобранном на нефтегазоконденсатных месторождениях, превышает среднее содержание в осадочных горных породах и в верхней части континентальной коры. Повышенное содержание Mg, Cr, Co, Ag, Sr, Se, As, Zn, Pb наблюдается во всем исследуемом буровом шламе относительно среднего содержания в осадочных горных породах в целом и среднего содержания элементов в верхней части континентальной коры (Григорьев, 2009). В пробах бурового шлама с Ярактинского месторождения как с разведочной, так и с эксплуатационной скважины отмечаются повышенные значения для Cu и W. Для пробы с разведочной скважины Ярактинского месторождения фиксируются повышенные значения Ti, V, Fe, Sc в буровом шламе, тогда как для проб с эксплуатационных скважин максимальное значение Sb. Буровой шлам Марковского месторождения характеризуется повышенными значениями Bi, Mn, Sc.

Содержание химических элементов As, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn, Co, относящихся 1-3 классу опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83), оценивалось относительно валового ПДК/ОДК для почв (ГН 2.1.7.2041-06; ГН 2.1.7.2511-09). Отмечается, что среднее содержание As, Pb превышает ПДК и ОДК, также значение ПДК превышает Co. В пробах Ярактинского месторождения установлено, что содержание Sb, Cu и Zn выше ПДК/ОДК. Среднее содержание Ni выше ОДК в пробах Марковского месторождения и в пробах с разведочной скважины Ярактинского месторождения. Содержание Mn и V ниже установленного ПДК.

Для исследуемых проб бурового шлама был рассчитан коэффициент концентрации относительно кларка в земной коре по Григорьеву Н.А. (2009), по которым строились геохимические ряды (табл. 35).

Таблица 35 – Геохимические ряды для бурового шлама с нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области

Месторождение	Геохимический ряд	Zc
Марковское (эксплуатационная скважина), 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}	30,68
Ярактинское (эксплуатационная скважина), n=4	Se _{13,98} – Pb _{9,12} – Sb _{6,26} – Mo _{5,40} – As _{4,36} – W _{3,36} – Cu _{3,34} – Ag _{2,99} – Zn _{2,94} – Cr _{2,48} – Mg _{1,87} – Co _{1,28} – Li _{1,17}	46,56
Ярактинское (разведочная скважина), n=3	Se _{15,23} – Mo _{4,51} – Pb _{3,98} – Cu _{3,42} – Ag _{3,14} – As _{2,72} – Sc _{2,48} – Mg _{2,42} – Co _{1,97} – Zn _{1,91} – W _{1,91} – Li _{1,68} – Na _{1,61} – Fe _{1,37} – Ti _{1,28} – V _{1,17} – Mn _{1,17} – Cr _{1,06}	36,03

Примечание: Zc – суммарный показатель загрязнения; степени загрязнения (Саэт и др., 1990):

Zc от 0 до 16 – низкая; 16-32 – средняя; 32-128 – высокая; более 128 – очень высокая.

n – количество проб

Полученные геохимические ряды позволяют охарактеризовать буровой шлам, отобранный из шламовых амбаров нефтегазоконденсатных месторождений: элементы – Se, As, Ag, Mo, Zn, Co, Cr фиксируются в каждой пробе. Буровой шлам с Ярактинского месторождения характеризуется наличием Pb и Cu. В целом, накопление элементов в исследуемых пробах бурового шлама различное. Буровой шлам с Ярактинского месторождения выделяется химическими элементами с высоким кларком концентрации, что подтверждает показатель суммарного загрязнения, значение которого относится к высокой степени. Суммарный показатель загрязнения пробы с Марковского месторождения ниже в сравнении с пробами с Ярактинского месторождения.

Геохимическая специфика наглядна отражена в сравнительной диаграмме (рис. 58), построенной по кларку концентрации для каждой пробы бурового шлама с рассматриваемых месторождений.

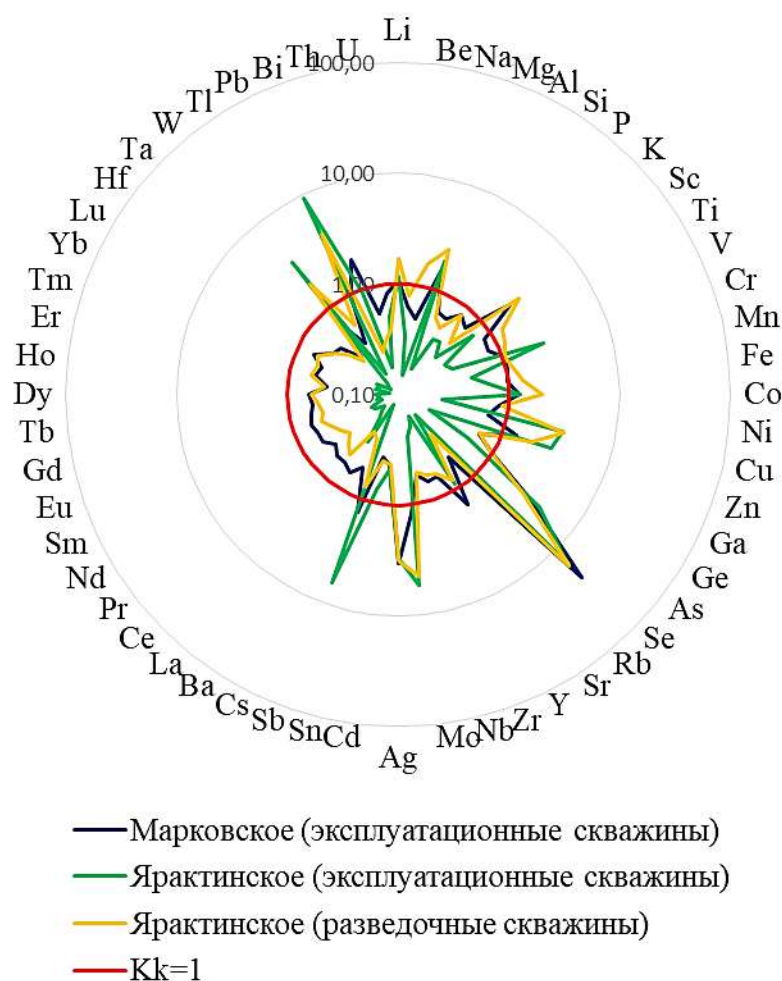


Рисунок 58 – Геохимическая специализация бурового шлама

На круговой диаграмме видна специфика в накоплении элементов. Повышенная концентрация относительно кларка для всех исследуемых проб наблюдается у элементов Se, Ag,

Мо, As. Буровой шлам Ярактинского месторождения отмечается повышенным содержанием Pb, W, Cu, Zn. В пробах с эксплуатационных скважин данного месторождения накапливается Cr, Sb. Сильное различие наблюдается в концентрировании редкоземельных элементов, так для проб с разведочной скважины Ярактинского месторождения содержание РЗЭ близко к единице. В бурового шлама с Марковского месторождения накапливаются Bi, Sc.

Буровой шлам с месторождений Иркутской области характеризуется различным элементным составом, но в целом накапливаются элементы, относящиеся к металлам. В соответствии с полученными данными, можно разделить химические элементы по степени опасности (ГОСТ 17.4.1.02-83): наиболее опасный I класс – As, Pb, Zn; II класс – Cu, Mo, Sb; III класс – Mn, W.

Таблица 36 – Диапазон кларков концентрации химических элементов относительно среднего состава верхней части континентальной земной коры по Григорьеву Н.А. (2009) в буровом шламе Ярактинского и Марковского месторождений.

Диапазон	Химические элементы		
	Марковское месторождение	Ярактинское месторождение	
	эксплуатационная скважина, n=3	эксплуатационная скважина, n=4	разведочная скважина, n=3
> 13	Se	Se	Se
> 3	Ag, As	Pb, Sb, Mo, As, W, Cu	Mo, Pb, Cu, Ag
2 - 3	-	Ag, Zn, Cr	As, Sc, Mg
1 - 2	Sc, Bi, Sr, Mg, Zn, Sb, Co, Li, Cr, Mn	Mg, Co, Li	Co, Zn, W, Li, Na, Fe, Ti, V, Mn, Cr
0,5 - 1	Ge, Fe, Pb, Ti, U, P, Ni, V, K, Yb, Cu, Eu, Ba, Al, Zr, Ga, Y, Dy, Sm, Si, Gd, Be, Nd, Ce, La, Tb, Er, W, Th, Nb, Tm, Cs, Rb, Pr, Na, Lu	Bi, Sr, Sn, Sc, Fe, Ge, U	Ge, Ni, P, Sr, Be, Sb, Ga, Er, Yb, Y, Dy, Al, Zr, Tm, Tl, Eu, Tb, Nb, Si, Gd, Lu
< 0,5	Hf, Ho, Cd, Sn, Tl, Ta	Cd, Mn, P, Si, V, Be, Ba, Ti, K, Nb, Ni, Ga, Zr, La, Al, Sm, Th, Nd, Rb, Y, Tl, Ce, Yb, Er, Gd, Dy, Tm, Na, Tb, Pr, Eu, Ta, Cs, Hf, Lu, Ho	La, Ho, Sm, K, Cd, Ce, Sn, Nd, U, Hf, Pr, Th, Rb, Cs, Ta, Bi, Ba

Примечание: n - количество проб

Геохимическая характеристика бурового шлама наглядно отражается в таблице 36. Показатель суммарного загрязнения, рассчитанный по кларку концентрации, показывает, что пробы бурового шлама Ярактинского месторождения, отобранные на кустовой площадке с эксплуатационными скважинами, характеризуются высокой степенью загрязнения. К низкой степени загрязнения относится проба бурового шлама с Марковского месторождения.

5.2.2 Характеристика элементного состава почвы

На территории Ярактинского месторождения на кустовой площадке № 18, где установлены эксплуатационные скважины, рядом со шламовым амбаром отбирались пробы почвы, согласно схеме (рис. 59).

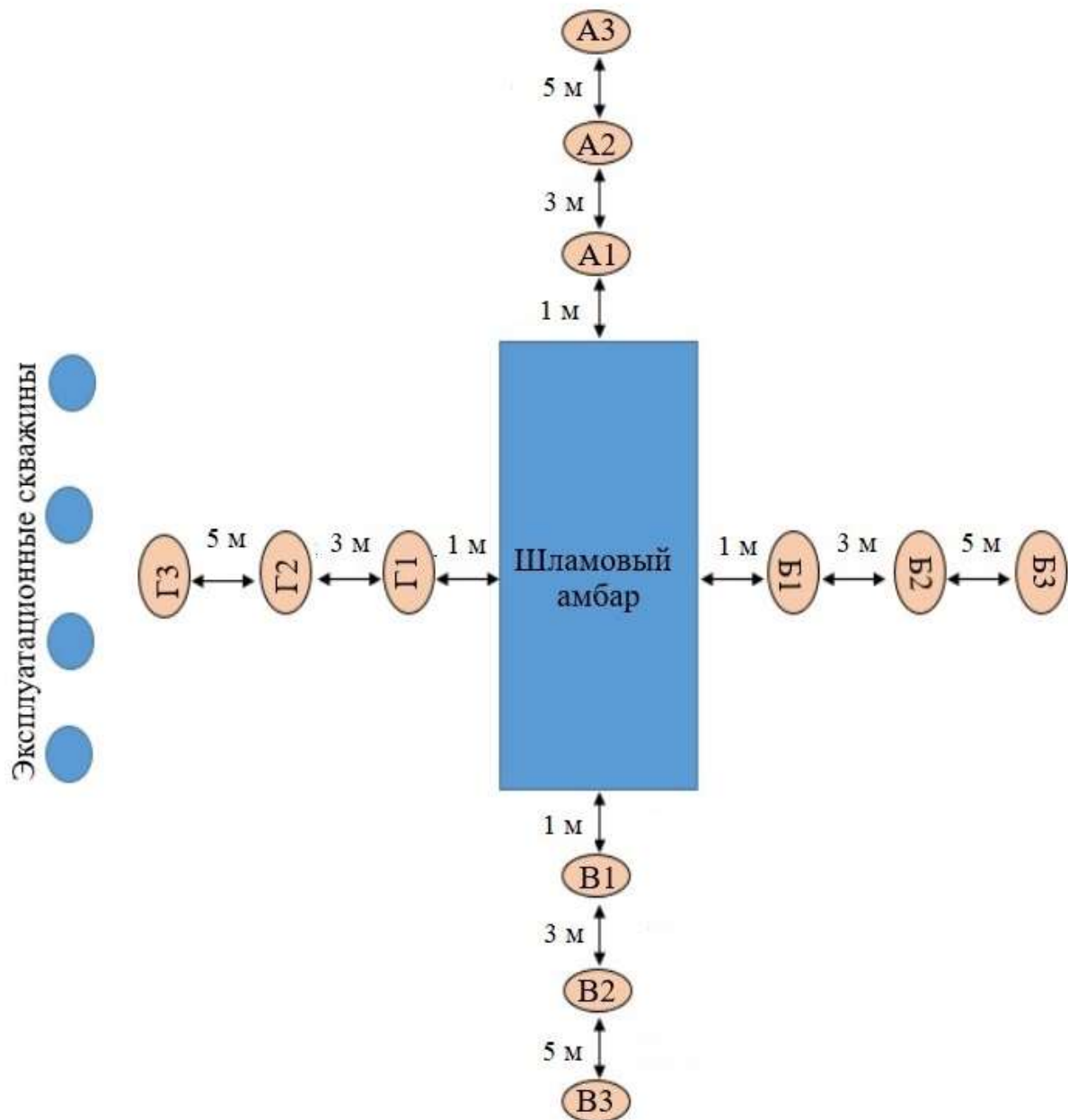


Рисунок 59 – Схема отбора почвы на кустовой площадке №18 Ярактинского месторождения

Отобранные пробы почвы исследовались методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в химико-аналитической лаборатории «Плазма». По результату полученных данных были построены геохимические ряды (табл. 37), отражающие специфику накопления химических элементов, а также рассчитана величина суммарного показателя загрязнения.

Таблица 37 – Геохимические ряды для почвы

Точка отбора	Геохимический ряд	Zc
A1	Se _{9,65} – Zn _{4,57} – Mn _{2,00} – Mg _{1,52} – Ge _{1,47} – Li _{1,37} – Ba _{1,37} – Bi _{1,31} – Ag _{1,31} – Co _{1,24} – Fe _{1,20} – K _{1,18} – Rb _{1,14} – Ti _{1,13} – Zr _{1,01} – Cr _{1,00}	17,48
A2	Se _{32,82} – Sb _{5,79} – Zn _{5,18} – Ca _{2,55} – Ag _{2,00} – Mn _{1,61} – Cu _{1,48} – Mg _{1,44} – Bi _{1,37} – Co _{1,29} – Sr _{1,18} – Li _{1,08}	46,8
A3	Se _{44,12} – Zn _{2,62} – Bi _{2,19} – Mg _{1,62} – Mn _{1,59} – Co _{1,57} – Li _{1,36} – K _{1,23} – Ag _{1,19} – Rb _{1,17} – Ge _{1,11} – Ti _{1,03} – Fe _{1,01}	49,79
Б1	Se _{27,82} – Zn _{2,70} – Ag _{2,31} – Mn _{1,62} – Bi _{1,56} – Ge _{1,48} – Co _{1,30} – Li _{1,26} – K _{1,26} – Ti _{1,08} – Fe _{1,05} – P _{1,02}	33,46
Б2	Se _{46,04} – Mn _{1,65} – Zn _{1,64} – Bi _{1,60} – Mg _{1,60} – Li _{1,42} – K _{1,41} – Ag _{1,39} – Co _{1,38} – Rb _{1,33} – Ge _{1,28} – Fe _{1,13} – Ti _{1,12} – Cr _{1,08} – Ga _{1,07} – Ba _{1,01} – Cs _{1,00}	51,15
Б3	Se _{49,87} – Zn _{2,83} – Ag _{1,85} – Mn _{1,70} – Bi _{1,56} – Mg _{1,55} – Li _{1,40} – K _{1,37} – Rb _{1,32} – Co _{1,24} – Ge _{1,21} – Fe _{1,13} – P _{1,09} – Ti _{1,05} – Cr _{1,03} – Ga _{1,01} – Sm _{1,01}	56,23
В1	Se _{9,59} – Zn _{2,73} – Ag _{1,86} – Mg _{1,71} – Mn _{1,57} – Bi _{1,52} – Ge _{1,40} – Li _{1,40} – K _{1,31} – Co _{1,29} – Rb _{1,21} – Ba _{1,20} – Fe _{1,08} – Ga _{1,02} – P _{1,02}	15,92
В2	Zn _{3,49} – Se _{3,33} – Li _{1,69} – Mg _{1,69} – Mn _{1,64} – Ag _{1,54} – Ge _{1,47} – Bi _{1,47} – Rb _{1,41} – Co _{1,40} – K _{1,39} – Fe _{1,27} – Ba _{1,24} – Ti _{1,14} – Cs _{1,10} – Ga _{1,08} – Cr _{1,08}	11,45
В3	Se _{3,33} – Mn _{2,02} – Zn _{1,98} – Mg _{1,92} – Co _{1,45} – K _{1,37} – P _{1,34} – Ge _{1,34} – Ag _{1,33} – Fe _{1,29} – Li _{1,29} – Rb _{1,21} – Ca _{1,08} – Eu _{1,07} – Sm _{1,06} – Ga _{1,05} – Tm _{1,04} – Dy _{1,03} – Y _{1,03} – Ti _{1,03} – Er _{1,01} – Cr _{1,00}	8,27
Г1	Se _{55,98} – Ca _{2,59} – Mg _{1,94} – Zn _{1,67} – Li _{1,48} – Sr _{1,43} – Mo _{1,07} – Ag _{1,05} – Mn _{1,05}	59,26
Г2	Se _{51,15} – Mo _{6,41} – W _{1,64} – Zr _{1,14} – Ag _{1,13}	57,47
Г3	Se _{16,41} – Mo _{5,69} – Zn _{3,13} – Ag _{1,35} – Ge _{1,18} – Mn _{1,04} – W _{1,02} – Mg _{1,02}	22,85

Примечание: Zc – суммарный показатель загрязнения, степени загрязнения (Сагет и др., 1990):

Zc от 0 до 16 – низкая; 16-32 – средняя; 32-128 – высокая; более 128 – очень высокая.

В целом, суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по кларку концентрации, относится к высокой степени загрязнения – это проба № 2 и 3 вектора А и Г и все пробы вектора Б. К низкой степени загрязнения относятся пробы, отобранные по вектору В. В данном направлении концентрирование химических элементов увеличивается ближе к шламовому амбару. Подобная закономерность наблюдается по вектору Г – происходит увеличение концентрации элементов в сторону амбара. Вектор отбора проб А и Б, напротив, отличаются увеличением накопления химических элементов в сторону от шламового амбара, что может указывать на уклон в рельефе и направление стока. Селен и серебро выявлены в каждой пробе, также цинк и марганец встречаются почти во всех пробах, за исключением пробы Г2. Магний накапливается во всех пробах, кроме проб Б1 и Г2.

Ранее на территории Усть-Кутского района было проведено исследование химического состава почв территории газоконденсатного месторождения, по результату которого было выявлено повышенное содержание свинца, цинка и хрома, что связано с природным генезисом и почвообразующими породами (Белозерцева, 2018).

Нами отмечается накопление цинка в повышенных содержаниях относительно кларка земной коры, высокое содержание хрома отмечено в ряде проб – А1, Б2, Б3, В2, В3. Свинец не накапливается в исследуемых пробах. Рассчитано среднее содержание по всем отобранным пробам почвы в районе кустовой площадки № 18, результаты представлены в таблице 38.

Таблица 38 – Среднее содержание химических элементов (мг/кг) пробах почвы в районе влияния шламового амбара Ярактинского месторождения

Элементы	Данные автора	Фоновые уровни содержания химических элементов в почвах Усть-Кутского района (по И.А. Белозерцевой, 2018)	ПДК валовая* / ОДК**	Кларк (по Григорьеву Н.А, 2009)
	Ярактинское месторождение (эксплуатационные скважины), n= 12			
Li	$41,78 \pm 2,84$ (19,06 – 55,89)	н.о.	-	33
Be	$1,32 \pm 0,19$ (0,22 – 2,24)	н.о.	-	2,3
Na	$3361,71 \pm 312,39$ (1060,49 – 4904,21)	н.о.	-	20700
Mg	$25293,61 \pm 2394,59$ (9040,92 – 34385,04)	н.о.	-	17700
Al	$50506,84 \pm 4670,63$ (17721,62 – 66280,44)	н.о.	-	76100
P	$604,7 \pm 54,95$ (197,7 – 926,8)	н.о.	-	6090
K	$24834,37 \pm 2094,35$ (9559,03 – 31364,91)	н.о.	-	22300
Ca	$40678,76 \pm 8291,34$ (13976,93 – 100766,95)	н.о.	-	38900
Ti	$3706,08 \pm 239,95$ (1799,25 – 4487,05)	н.о.	-	3930
Cr	$87,54 \pm 3,52$ (61,66 – 100,01)	84	-	92,4
Mn	$1147,89 \pm 100,89$ (308,46 – 1556,3)	408	1500*	770
Fe	$41979,61 \pm 2249,54$ (27731,52 – 52483,82)	11000	-	40600
Co	$20,49 \pm 1,43$ (9,72 – 26,65)	16	5*	17
Ni	$30,31 \pm 3,14$ (10,07 – 46,36)	32	40**	50
Cu	$29,78 \pm 2,63$ (23,05 – 57,62)	25	66**	39
Zn	$208,28 \pm 26,72$ (59,38 – 388,43)	27	110**	75
Ga	$16,15 \pm 1,51$ (4,54 – 20,60)	н.о.	-	19
Ge	$1,57 \pm 0,10$ (1,0 – 1,92)	н.о.	-	1,3
Se	$4,38 \pm 0,87$ (0,50 – 8,40)	н.о.	-	0,15
Rb	$92,34 \pm 12,03$ (11,35 – 137,71)	н.о.	-	98

Sr	$\frac{140,05 \pm 29,30}{(60,76 - 385,26)}$	н.о.	-	270
Y	$\frac{17,29 \pm 1,79}{(6,26 - 26,71)}$	н.о.	-	26
Zr	$\frac{127,26 \pm 6,60}{(103,78 - 181,78)}$	н.о.	-	160
Nb	$\frac{8,47 \pm 0,55}{(5,08 - 11,91)}$	н.о.	-	12
Mo	$\frac{2,12 \pm 1,0}{(0,23 - 9,99)}$	н.о.	-	1,56
Ag	$\frac{0,17 \pm 0,01}{(0,12 - 0,25)}$	н.о.	-	0,11
Cd	$\frac{0,28 \pm 0,02}{(0,18 - 0,45)}$	1,0	-	0,64
Sn	$\frac{2,0 \pm 0,15}{(0,82 - 2,61)}$	н.о.	-	3,5
Sb	$\frac{0,84 \pm 0,35}{(0,4 - 4,69)}$	н.о.	4,5*	0,81
Cs	$\frac{3,88 \pm 0,56}{(0,18 - 6,05)}$	н.о.	-	5,5
Ba	$\frac{485,72 \pm 31,29}{(376,03 - 697,83)}$	н.о.	-	510
La	$\frac{19,85 \pm 1,59}{(8,33 - 26,20)}$	н.о.	-	32
Ce	$\frac{45,43 \pm 3,10}{(25,97 - 59,54)}$	н.о.	-	63
Pr	$\frac{5,20 \pm 0,41}{(2,78 - 6,85)}$	н.о.	-	8,7
Nd	$\frac{21,01 \pm 1,72}{(9,91 - 28,19)}$	н.о.	-	29
Sm	$\frac{2,12 \pm 1,0}{(0,23 - 9,99)}$	н.о.	-	5,7
Eu	$\frac{0,94 \pm 0,09}{(0,34 - 1,39)}$	н.о.	-	1,3
Gd	$\frac{4,36 \pm 0,39}{(1,66 - 6,11)}$	н.о.	-	6,3
Tb	$\frac{0,59 \pm 0,06}{(0,24 - 0,85)}$	н.о.	-	0,89
Dy	$\frac{3,26 \pm 0,31}{(1,23 - 4,93)}$	н.о.	-	4,8
Ho	$\frac{0,63 \pm 0,06}{(0,26 - 0,89)}$	н.о.	-	1,3
Er	$\frac{1,84 \pm 0,18}{(0,76 - 2,72)}$	н.о.	-	2,7
Tm	$\frac{2,12 \pm 1,0}{(0,23 - 9,99)}$	н.о.	-	0,42
Yb	$\frac{1,72 \pm 0,16}{(0,76 - 2,39)}$	н.о.	-	2,5
Lu	$\frac{0,27 \pm 0,02}{(0,11 - 0,38)}$	н.о.	-	0,48
Hf	$\frac{2,87 \pm 0,13}{(1,97 - 3,62)}$	н.о.	-	4,5
Ta	$\frac{0,55 \pm 0,03}{(0,3 - 0,68)}$	н.о.	-	1,4

W	$\frac{1,37 \pm 0,2}{(0,87 - 3,33)}$	н.о.	-	2,03
Tl	$\frac{0,41 \pm 0,04}{(0,2 - 0,56)}$	н.о.	-	0,77
Pb	$\frac{12,3 \pm 0,49}{(10,07 - 16,32)}$	21	32*/65**	17
Bi	$\frac{0,38 \pm 0,04}{(0,13 - 0,64)}$	н.о.	-	0,29
Th	$\frac{6,02 \pm 0,52}{(2,19 - 7,9)}$	н.о.	-	9,1
U	$\frac{1,40 \pm 0,05}{(1,21 - 1,82)}$	н.о.	-	2,5

Примечание: среднее содержание химических элементов (мг/кг) в пробах почвы по данным анализа ИСП-МС, $\pm$ - стандартная ошибка; (min-max) – минимальное и максимальное значение.

Кларк - среднее содержание химических элементов в верхней части континентальной коры (Григорьев, 2009). *ПДК почвы - ГН 2.1.7.2041-06

**ОДК почвы - ГН 2.1.7.2511-09

При исследовании элементного состава проб почвы, нами был выделен ряд химических элементов - Li, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Co, Zn, Ge, Se, Mo, Ag, Sb, Tm, Bi среднее содержание которых выше содержания химических элементов в верхней части континентальной коры (Григорьев, 2009). Такие элементы как Zn, Cu, Co, Fe, Mn, Cr в исследуемых пробах почвы, превышают фоновые уровни содержания химических элементов в почвах Усть-Кутского района (Белозерцевой, 2018). Было оценено содержание ряда элементов (As, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn, Co) для которых установлено ПДК и ОДК для почв (ГН 2.1.7.2041-06; ГН 2.1.7.2511-09). Отмечается, что среднее содержание Co превышает ПДК, также значение Zn выше установленного ОДК. Содержание Pb, Mn, Sb ниже установленного ПДК, Cu и Ni ниже ОДК.

5.3 Характеристика магнитной восприимчивости бурового шлама

Для проб бурового шлама, отобранного на шламовых амбарах месторождений Иркутской области, также измерялась магнитная восприимчивость (Патент №2133487). Полученные данные представленные в таблице 39.

Таблица 39 – Среднее значение магнитной восприимчивости и суммарного показателя загрязнения проб бурового шлама, ед. СИ

Месторождения	$k * 10^{-5}$ ед. СИ $m \pm \sigma$ (min/max)	Zc
Марковское (эксплуатационная скважина)	11 $\pm$ 1,0 (9/12)	30,68 (средняя)
Ярактинское (эксплуатационная скважина)	173,7 $\pm$ 0,88 (172/175)	46,56 (высокая)
Ярактинское (разведочная скважина)	375 $\pm$ 2,51 (372/380)	36,03 (высокая)

Примечание: k - показатель магнитной восприимчивости, m – среднее значение; σ – стандартная ошибка; Z_c – суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по данным анализа ИСП-МС; Z_c – суммарный показатель степени загрязнения (Сает и др., 1990): Z_c от 0 до 16 – низкая; 16-32 – средняя; 32-128 – высокая; более 128 – очень высокая.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что минимальное значение магнитной восприимчивости наблюдается у бурового шлама с Марковского месторождения. Высокие значения магнитной восприимчивости отмечены у проб с Ярактинского месторождения, при том, что проба бурового шлама с разведочной скважины в два раза выше по значению параметра каппа, относительно шлама с эксплуатационных скважин. Суммарный показатель загрязнения, в целом, соответствует значениям магнитной восприимчивости.

5.4 Характеристика содержания нефтепродуктов в буровом шламе и почве

5.4.1 Характеристика содержания нефтепродуктов в буровом шламе

В 2018 году на базе лаборатории ОГБУ «Облкомприрода» проведен количественный анализ содержания нефтепродуктов в пробах бурового шлама гравиметрическим методом. Анализ выполнялся согласно методике ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3:3.64-10. Результаты представлены в табл. 40.

Таблица 40 – Концентрация нефтепродуктов в буровом шламе

Месторождение	Гравиметрический метод (методика ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3:3.64-10)	ОДК, мг/кг
	Концентрация нефтепродуктов, мг/кг	
Марковское (эксплуатационная скважина)	90	1000
Ярактинское (эксплуатационная скважина)	16300	1000
Ярактинское (разведочная скважина)	190	1000

По данным количественного анализа содержание нефтепродуктов в исследуемых пробах варьируется в широком диапазоне от 90 до 16300 мг/кг.

5.4.2 Характеристика содержания нефтепродуктов в почве

Пробы почвы, отобранные на кустовой площадке с эксплуатационными скважинами, исследовались на наличие нефтепродуктов. Полученные результаты представлены в таблице 41.

Таблица 41 – Концентрация нефтепродуктов в почве с Ярактинского месторождения

Месторождение	Точки отбора	Метод ИК-спектрометрии (методика ПНД Ф 16.1:2.2.22-98)	ОДК, мг/кг
		Концентрация нефтепродуктов, мг/кг	
Фон	Юг Усть-Кутского района (по Белозерцевой И.А., 2018)	92	1000
Ярактинское	A1	93	1000
	A2	378	1000
	A3	107	1000
	B1	948	1000
	B2	909	1000
	B3	320	1000
	B1	815	1000
	B2	391	1000
	B3	130	1000
	Г1	678	1000
	Г2	1023	1000
	Г3	524	1000

В целом, пробы почвы ниже ориентировочно-допустимой концентрации, за исключением точки отбора Г2. Тем не менее, относительно выбранного нами фона для подзолистых, дерново-подзолистых почв юга Усть-Кутского района (Белозерцевой, 2018) отмечается превышение концентрации нефтепродуктов во всех исследуемых пробах.

Если сравнивать суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по результатам элементного анализа с концентрацией нефтепродуктов в пробах почвы по данным ИК-спектрометрии, то наблюдается уменьшение концентрирования как элементов, так и нефтепродуктов по направлению от шламового амбара по вектору В.

5.5 Характеристика минеральных форм по данным сканирующей электронной микроскопии в буровом шламе

С целью выявления возможных форм нахождения элементов и дополнения геохимической характеристики для бурового шлама проводился анализ на сканирующем электронном микроскопе. В процессе использования данного метода выявлены микроминеральные фаза различных элементов, установлены минеральных формы нахождения элементов. Представлена обобщающая табл. 42 с выявленными минеральными формами и элемент-содержащими фазами, чаще встречаемых в пробах бурового шлама.

Таблица 42 – Минеральные фазы в буровом шламе нефтяных месторождений Иркутской области

Элемент-содержащие фазы / минерал		Марковское (эксплуатационная скважина)	Ярактинское (эксплуатационная скважина)	Ярактинское (разведочная скважина)
Fe - содержащие фазы	дисульфид железа (пирит)	++	+++	+++
	Cu-Fe-S – содержащая частица (халькопирит)			++
	оксид железа (гематит)	++	++	++
	оксид железа (сферула)	++	++	++
Ti - содержащие фазы	оксид титана (рутил)	+		
Fe - Ti -содержащие фазы	псевдорутил, ильменит	+++	++	++
Fe-Cr содержащие фазы	хромит	++		
Ba - содержащие фазы	сульфат бария (барит)	++	+++	
Sr- содержащие фазы	сульфат стронция (целестин)	+	++	+
Ba - Sr- содержащие фазы	изоморфная смесь барита и целестина (баритоцелестин)	++	++	
Pb- содержащие фазы	оксиды свинца		+++	++
Sn - содержащие фазы	оксид олова / касситерит		+	
Ca-S- содержащие фазы	сульфид кальция	+		+
Na-Cl- содержащие фазы	галит			+

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

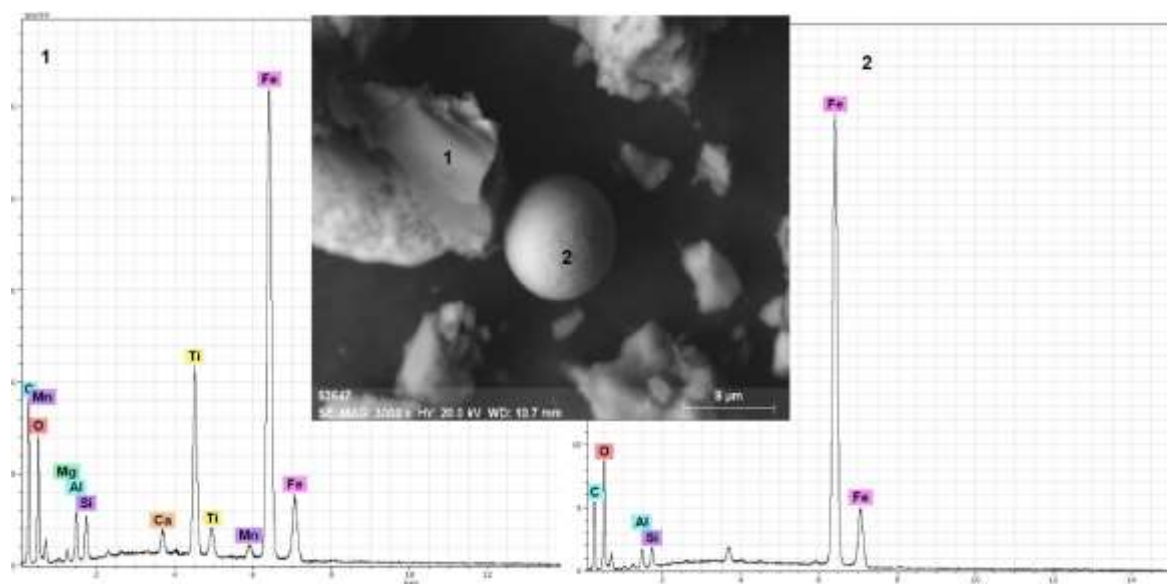
Для всех исследуемых проб бурового шлама нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области характерно наличие в пробах бурового шлама микрочастиц, в составе которых содержатся Fe - содержащие фазы, в основном, это оксиды и сульфиды железа. Часто встречаются Fe - Ti -содержащие фазы. Ba - содержащие фазы, в виде минерала барита, найдены в каждой пробе, по мимо этого встречаются Sr-содержащие частицы. В пробах найдена изоморфная смесь сульфата бария и стронция, образующая минерал – баритоцелестин.

Разделение по фракциям (на магнитную, электромагнитную и немагнитную) также проводилось с пробам Иркутской области. Полученное процентное соотношение представлено в таблице 43.

Таблица 43 – Процентное соотношение магнитной, электромагнитной и немагнитной фракций в пробах бурового шлама

Фракция	Марковское месторождение	Ярактинское месторождение	
	Эксплуатационная скважина	Эксплуатационная скважина	Разведочная скважина
Магнитная, %	0,02	2,21	2,78
Электромагнитная, %	0,01	0,5	2,24
Немагнитная, %	99,97	97,29	94,98

Каждая фракция исследовалась методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на сканирующем электронном микроскопе. Магнитная фракция, в основном, представлена оксидами железа, в виде осколков и сферул, а также Ti-Fe - содержащими частицами. Сняты спектры и сделаны снимки найденных частиц в режиме обратно рассеянных электронов. Результаты представлены ниже (рис. 60).



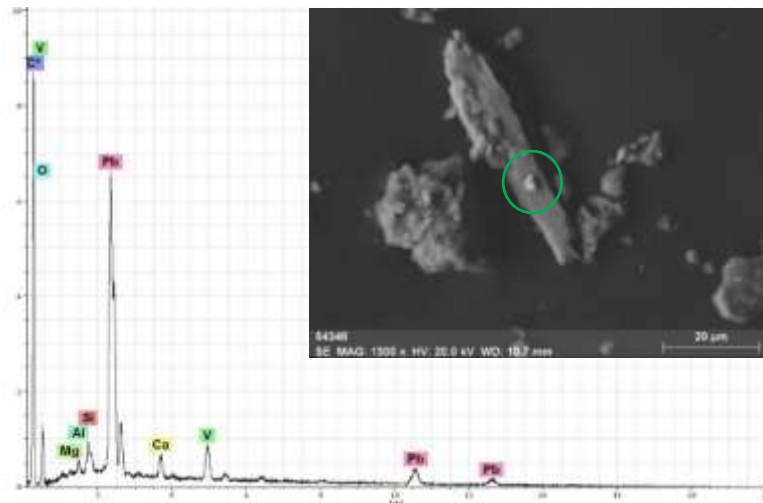
1. % масс: Fe - 23, O - 20, Ti - 5,6

2. % масс: Fe - 39, O - 19

Рисунок 60 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Ti-Fe - содержащей частицы (1) и сферулы оксида железа (2) (Ярактинское месторождение, разведочная скважина)

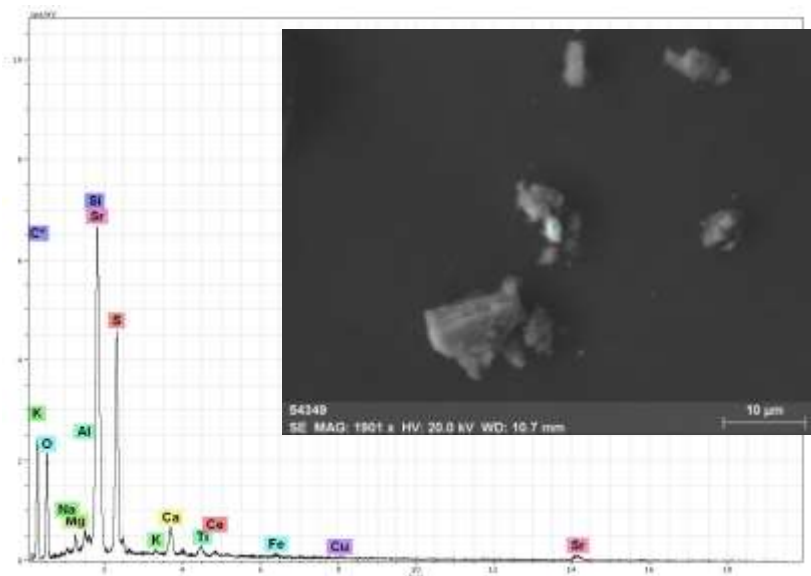
Извлеченная из бурового шлама электромагнитная фракция представлена Pb, Sn и Sr - содержащими частицами, выявлены включения, чей спектр соответствует группе сульфидов (минералами пирит, халькопирит).

Ca-S- содержащие фазы в виде сульфидов кальция, Pb - содержащие частицы (рис.61), Sr-S-содержащие частицы (рис.62), спектр минерала халькопирит и минерала галит (хлорид натрия) (рис. 63) выявлены в буровом шламе Ярактинского месторождения разведочных скважин. Также Ca-S-содержащая частица отмечена в пробе с Марковского месторождения (рис.71).



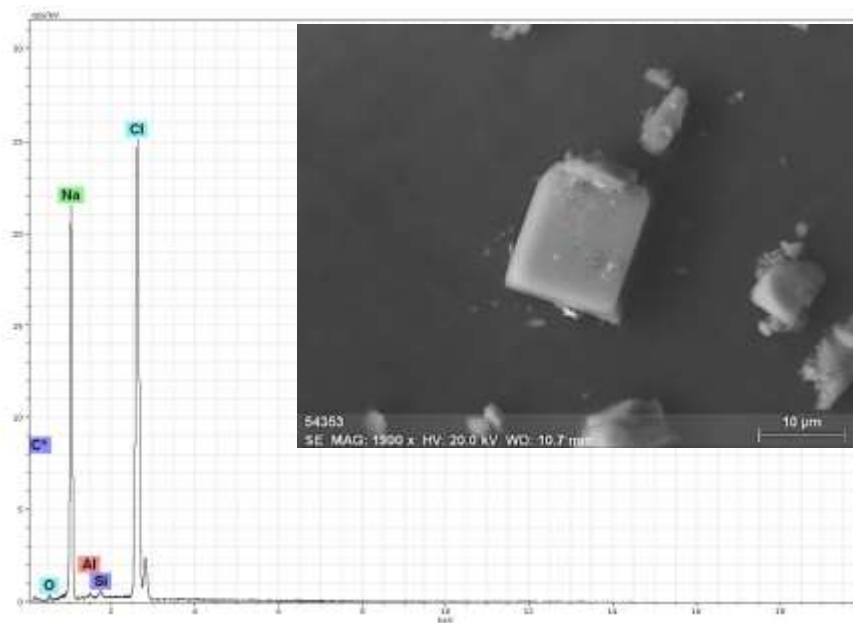
% масс: Pb - 70, O - 16

Рисунок 61 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Pb-содержащей частицы, размером 5 µm (Ярактинское месторождение, разведочная скважина)



% масс: Sr - 40, O - 32, S - 18, Ti - 1.3

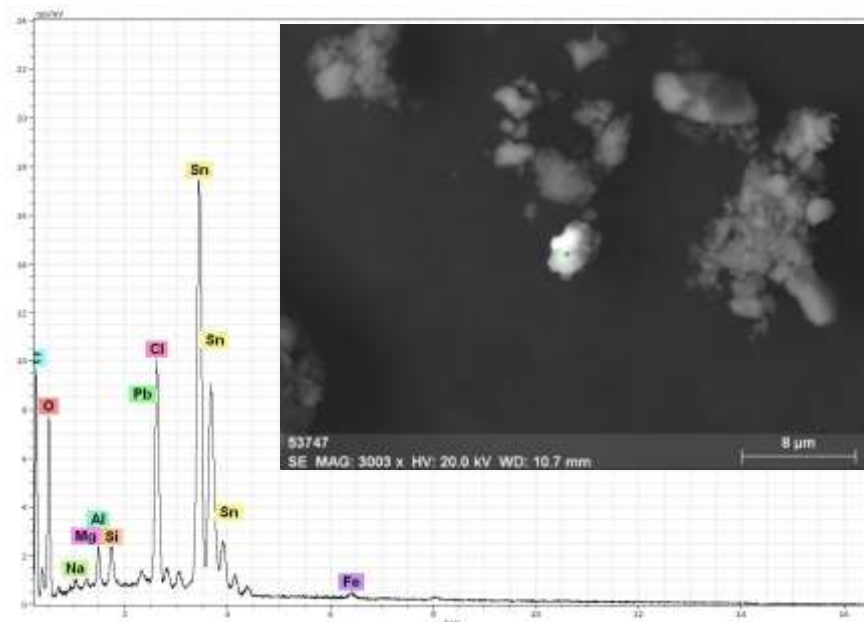
Рисунок 62 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Sr - содержащей частицы, размером 6 µm (Ярактинское месторождение, разведочная скважина)



% масс: Cl - 60, Na - 35, O - 3

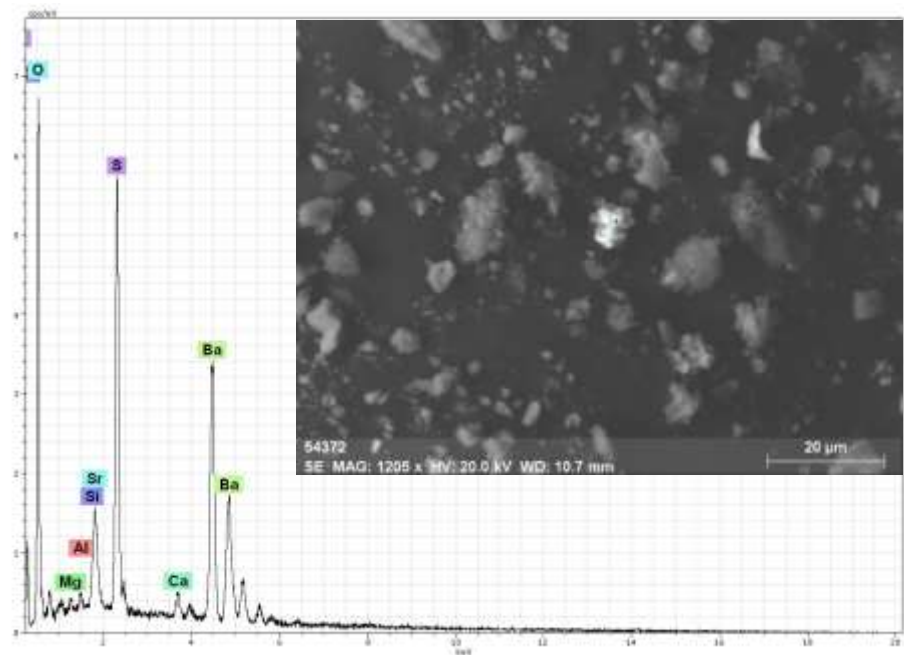
Рисунок 63 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр минерала галит, размером 15 μm (Ярактинское месторождение, разведочная скважина)

Буровой шлам с Ярактинского месторождения, но с эксплуатационных скважин, отличается от первой пробы, наличием Sn-содержащей частицы (рис. 64) и парагенезисом таких элементов как Sr-Ba-S в одном спектре (рис. 65).



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

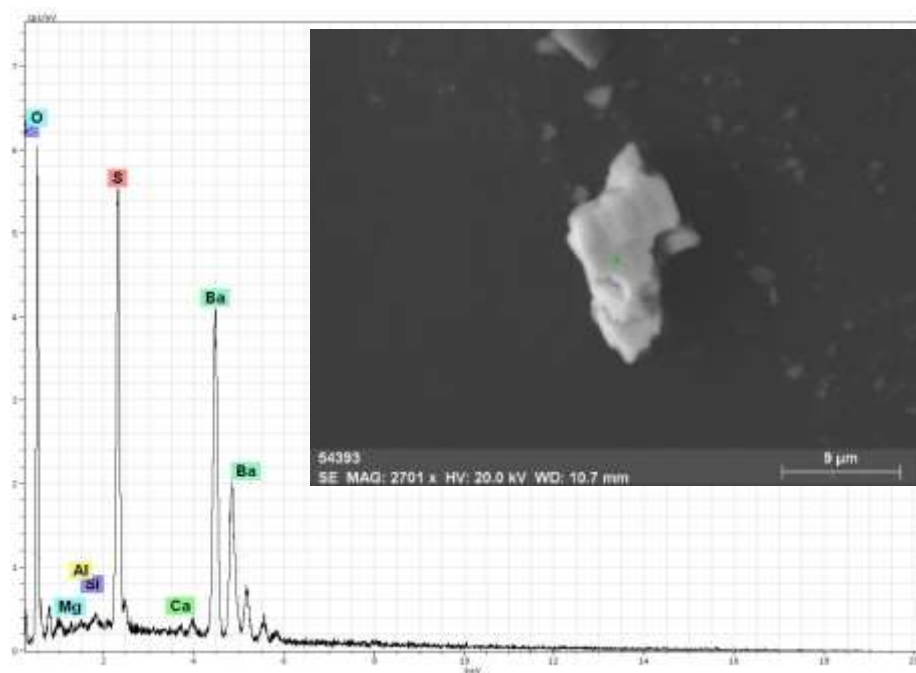
Рисунок 64 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Sn-содержащей частицы, размером 6 μm (Ярактинское месторождение, эксплуатационные скважина)



% масс: Ba - 43, O - 34, S - 13, Sr - 7.3

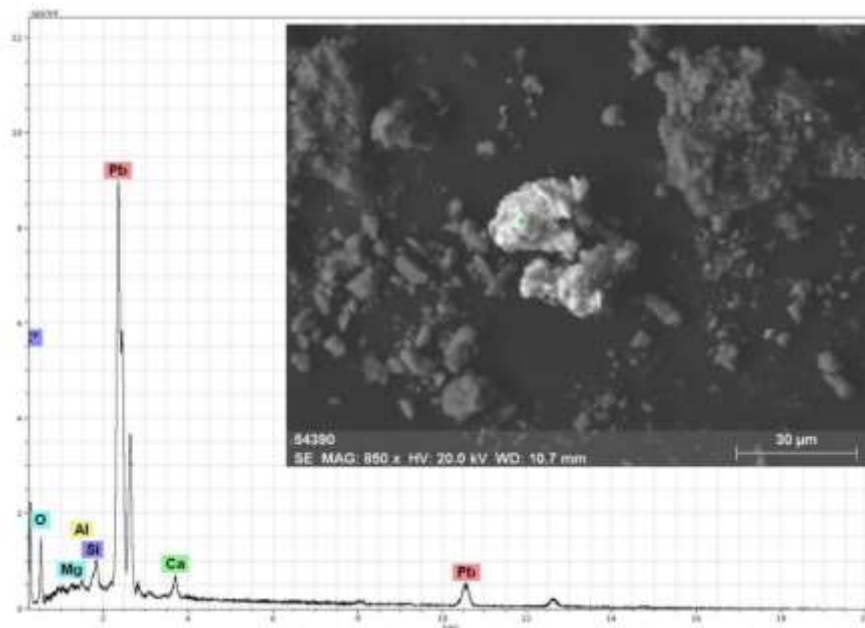
Рисунок 65 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Sr-Ba-S-содержащей частицы, размером 10 μm (Ярактинское месторождение, эксплуатационные скважина)

Выявлены спектр сульфата бария (рис. 66) и Pb-содержащей частицы (рис. 67), выявлен спектр минерала пирит, с ярко выраженной кубической сингонией (рис. 68).



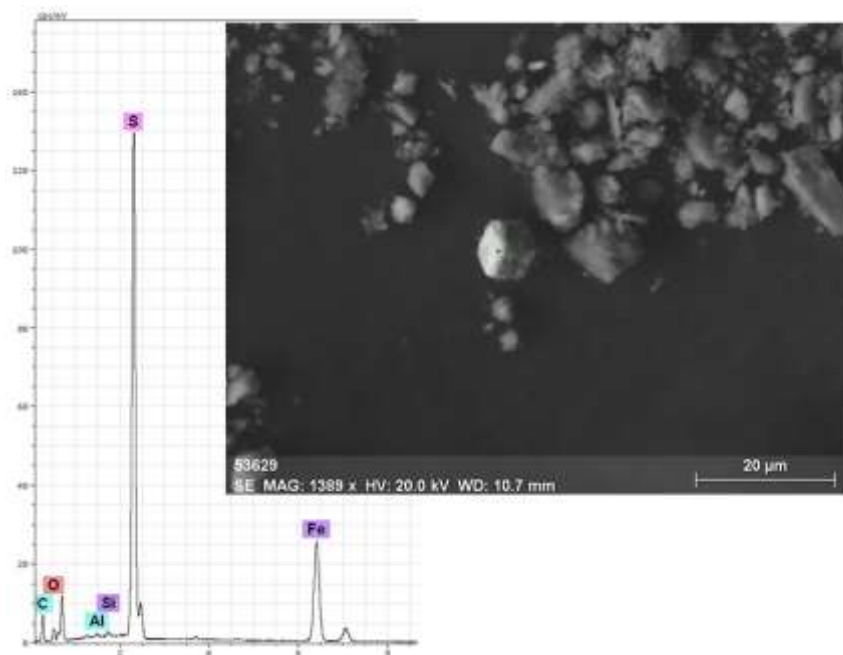
% масс: Ba - 60, O - 26, S - 26, S - 14

Рисунок 66 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр сульфата бария (барит), размером 8 μm (Ярактинское месторождение, эксплуатационные скважина)



% масс: Pb - 79, O - 18

Рисунок 67 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Pb-содержащей частицы, размером 30 µm (Ярактинское месторождение, эксплуатационные скважины)



% масс: S - 33.6, Fe - 35.5

Рисунок 68 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Fe-S – содержащей частицы (пирит), размером 10 µm (Ярактинское месторождение, эксплуатационные скважина)

Проба с Марковского месторождения (эксплуатационная скважина) выделяется включением частиц со спектром таких элементов как Sr-Ba-S (рис. 69) и наличием дисульфидов железа (минерал пирит), также выявлен спектр оксида титана (рис. 70).

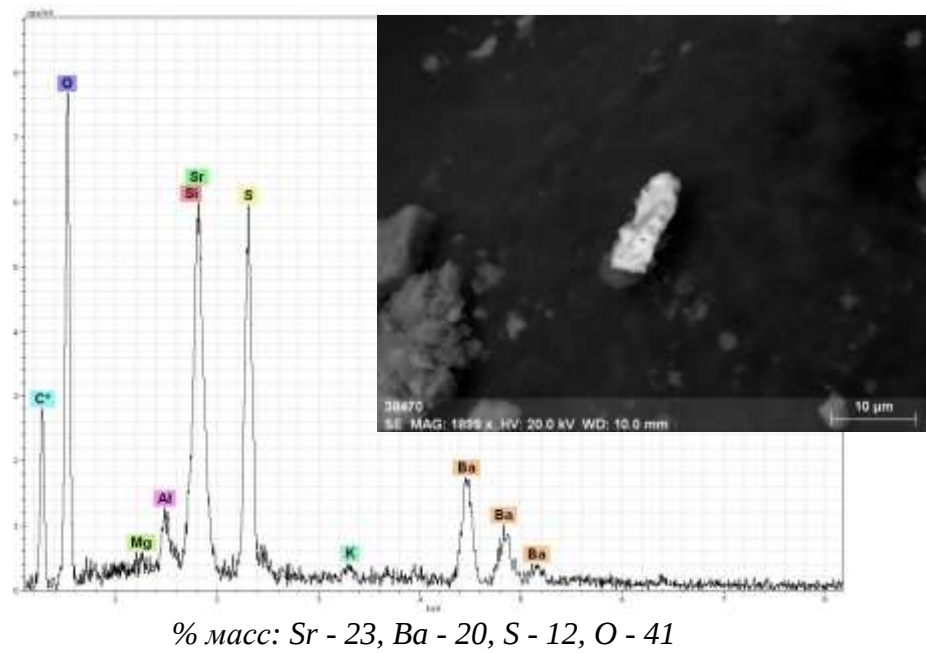


Рисунок 69 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Sr-Ba содержащей частицы (баритоцелестин), размером 15 μm (Марковское месторождение, эксплуатационная скважина)

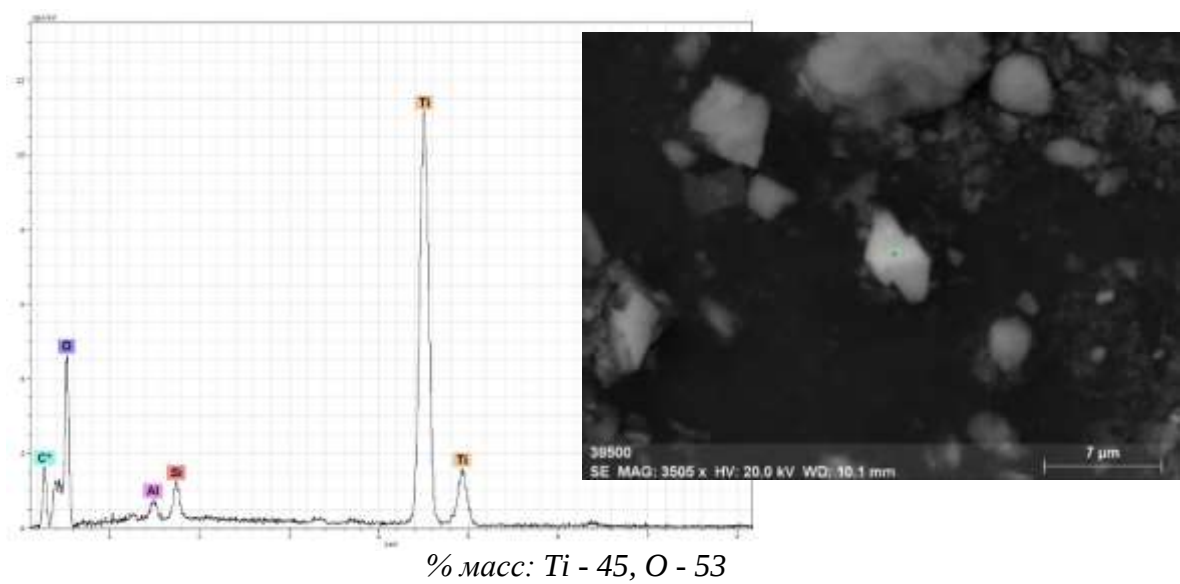
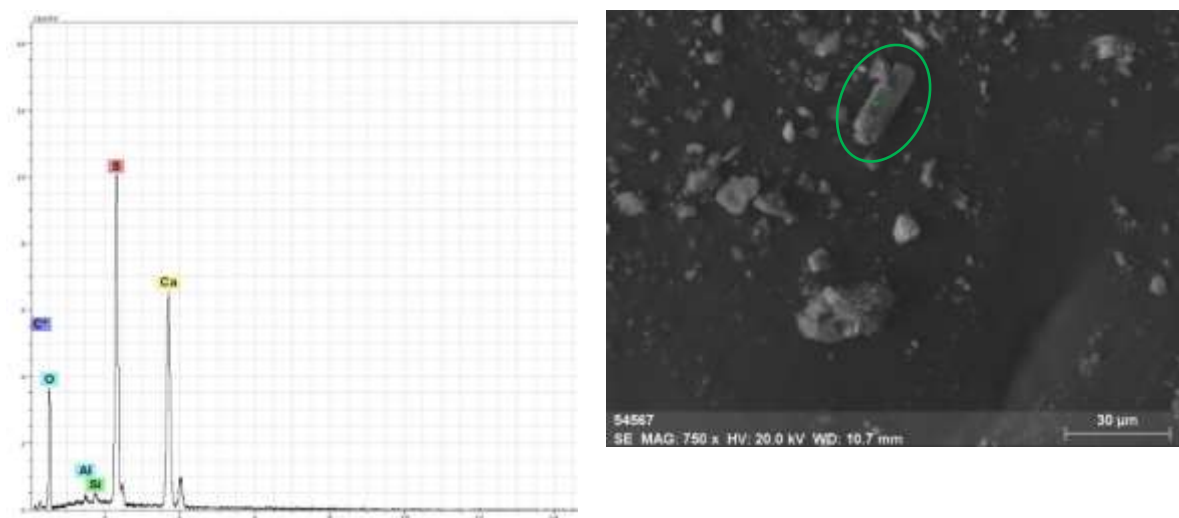
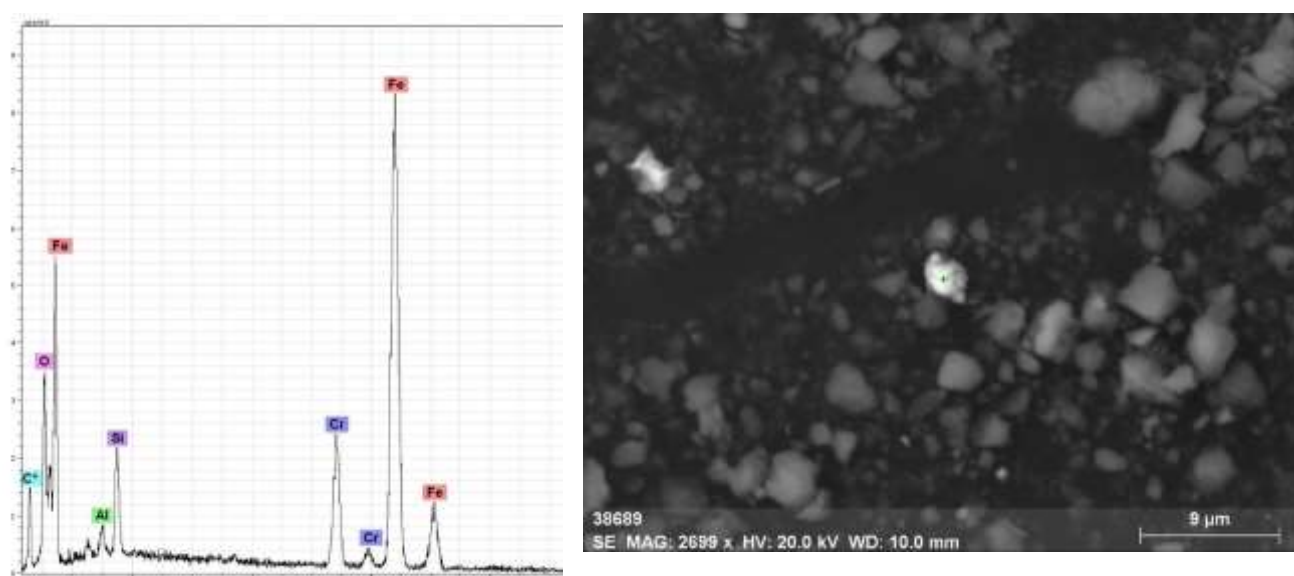


Рисунок 70 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр оксида титана (рутил), размером 5 μm (Марковское месторождение, эксплуатационная скважина)



% масс: Ca - 30, S - 20, O - 50

Рисунок 71 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр сульфида кальция, размером 30 µm (Марковское месторождение, эксплуатационная скважина)



% масс: Fe – 74, Cr – 10,2, O – 10

Рисунок 72 – Снимок в режиме обратно рассеянных электронов и спектр Fe-Cr – содержащей фазы, размером 3 µm (Марковское месторождение, эксплуатационная скважина)

5.6 Оценка токсичности бурового шлама нефтегазоконденсатных месторождений методом биотестирования

Наличие токсического эффекта в буровом шламе, отобранных в шламовых амбарах на нефтегазоконденсатных месторождениях Иркутской области, определялось с помощью метода биотестирования с использованием тест-объектов: рачки *Daphnia magna* Straus, водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb. и плодовые мушки *Drosophila melanogaster*.

Постановка эксперимента по оценке токсичности проб бурового шлама с помощью тест-объекта *Drosophila melanogaster* осуществлялась по методике, описанной в предыдущей главе. По окончании эксперимента оценивалось соотношение особей обоих полов по отношению к контролю, был рассчитан критерий соответствия фактического и ожидаемого результатов - критерий хи-квадрат. За все время проведения биотестирования бурового шлама были обнаружены морфозы в развитии тест-объекта. Все отклонения связаны либо с деформацией крыльев (помятые, отсутствует одно из крыльев), либо с деформацией щетинок. При постановке эксперимента на пробах с Иркутской области всего было изучено 4248 мухи. Результаты постановки экспериментов приведены в таблицы 44.

Таблица 44 – Оценка токсичности бурового шлама с помощью тест-объекта *Drosophila melanogaster*

Место отбора (месторождение, район)	Количество, шт		Количество, %		Ср. кол- во мух из 1 фл.	χ^2	Пороговое значение χ^2
	Самцы	Самки	Самцы	Самки			
Контроль	278	318	46,6	53,4	59,6	2,68	<3,84
	596						
Марковское, эксплуатационная скважина	291	379	43,4	56,6	67,0	11,54	>3,84
	670						
Контроль	374	414	47,5	52,5	78,8	2,03	<3,84
	788						
Ярактинское, разведочная скважина	358	411	46,6	53,4	76,9	3,65	<3,84
	769						
Контроль	353	395	47,2	52,8	83,1	2,35	<3,84
	748						
Ярактинское, эксплуатационная скважина	328	349	48,4	51,6	67,7	0,65	<3,84
	677						
Всего - 4248 (в том числе: самцы– 1982, самки - 2266)							

Критерий соответствия (хи-квадрат) служит подтверждением достоверности полученных результатов. Хи-квадрат рассчитывается на основе данных о количестве самок и самцов, полученных в процессе эксперимента. Случае, если выявленные значения в контрольных пробах меньше табличного значения $\chi^2 = 3,84$ (при степени свободы равной единицы), то фактический и ожидаемый результаты отличаются не более чем на 0,05, т.е. полученные опытные данные верны.

Пробы с Ярактинского месторождения, по результатам исследования, не оказывают токсического воздействия на тест-объект *Drosophila melanogaster*. Проба бурового шлама с Марковского месторождения оказывает токсическое воздействие на тест-объект *Drosophila melanogaster*, выраженное в непропорциональном соотношении полов. Рассчитанные значения

χ^2 по результатам биотестирования выше табличного значения $\chi^2 = 3,84$ (при степени свободы равной единицы), фактический и ожидаемый результат сильно отличаются друг от друга, что может указывать на влияние исследуемых проб бурового шлама, добавленного в питательную среду.

Как отмечалось ранее, тест-объект *Drosophila melanogaster* позволяет определить не только токсичность исследуемого вещества через соотношение полов, но и оценить мутагенную изменчивость посредством учета соматической рекомбинации (мозаицизм). Буровой шлам вводился в организм дрозофилы пероральным способом. Мутационной изменчивости у тест-объекта выявлено не было.

Также на исследуемых пробах бурового шлама с Иркутской области проводилось биотестирование с последующим определением класса опасности на двух тест-объектах разных систематических групп: ракообразные *Daphnia magna* Straus (ФР.1.39.2007.03222) и водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb (ФР.1.39.2007.03223). Определение кратности разведения водной вытяжки из отхода, при которой вредное воздействие на гидробионты отсутствует, основано на биотестировании водной вытяжки. Окончательный результат принимается по классу опасности, выявленный на тест-объекте, проявивший более высокую чувствительность к анализируемому отходу. Измерение проводилось с помощью анализатора жидкости «Флюорат-02-3М». Результаты биотестирования приведены в таблице 45.

Таблица 45 – Результаты биотестирования водной вытяжки бурового шлама и отнесение к классу опасности

Место отбора (месторождение, район)	Тест-объект		Класс опасности
	<i>Daphnia magna</i> Straus	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turp.) Breb.	
Марковское месторождение, эксплуатационная скважина	ВВ оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз	ВВ оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз	IV
Ярактинское месторождение, эксплуатационная скважина	ВВ оказывает вредное воздействие при кратности от 1 до 100 раз	ВВ оказывает вредное воздействие при кратности от 1 до 100 раз	III
Ярактинское месторождение, разведочная скважина	ВВ оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз	ВВ оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз	IV

Примечание: ВВ - водная вытяжка

Таким образом, из исследуемых проб бурового шлама, отобранных на нефтегазоконденсатных месторождениях Иркутской областей, буровой шлам с Ярактинского

месторождения (эксплуатационная скважина) относится к III классу опасности (умеренно опасный), остальным пробам присвоен IV класс опасности (малоопасные). В таблице 46 приведены обобщенные результаты биотестирования бурового шлама с использованием тест-объектов разных систематических групп.

Таблица 46 – Обобщенные результаты биотестирования бурового шлама

Место отбора	Тест-объект		
	<i>Daphnia magna</i> Straus*	<i>Scenedesmus quadricauda</i> *	<i>Drosophila melanogaster</i> **
Марковское месторождение, эксплуатационная скважина (1)	+	+	+
			670 мух
Ярактинское месторождение, эксплуатационная скважина (1)	+	+	-
			677 мух
Ярактинское месторождение, разведочная скважина (1)	+	+	-
			769 мух
н.о.	Не определялось		
+	Водная вытяжка оказывает вредное воздействие при кратности в 1 раз		
-	Не оказывает вредное воздействие		
*	Водная вытяжка из отхода		
**	Твердая фаза отхода		

Примечание: в скобках - количество проб.

Оценка токсичности проб бурового шлама, отобранного на территории Иркутской области, методом биотестирования выявила наличие токсического эффекта. Проба с Ярактинского месторождения (эксплуатационная скважина), относящаяся к III классу опасности (умеренно опасный), по результатам тестирования на тест-объектах *Daphnia magna* Straus и *Scenedesmus quadricauda*, в тоже время данная проба выделяется повышенным показателем суммарного загрязнения и высокой концентрации нефтепродуктов (Климова и др., 2020).

Проба бурового шлама с Марковского месторождения отличается повышенным содержанием Se относительно проб с Ярактинского месторождения, что может отражаться в наличии биологического влияния на тест-объект *Drosophila melanogaster*.

Выводы. Исследуемые пробы бурого шлама Ярактинского и Марковского месторождений характеризуются схожим минералогическим составом. Кварц, доломит, кальцит и слюда занимают максимальную долю. Минеральные фазы Pb, Sn, Sr, Ba Fe, Ti определены в результате рентгеновской спектроскопии. В пробах фиксируются сферулы оксида железа.

Суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по кларку концентрации, показывает, что высокой степенью загрязнения обладает буровой шлам Ярактинского месторождения, к средней степени относится буровой шлам Марковского месторождения. Значимый вклад вносит повышенная концентрация элементов Se, As, Zn, Mg, Ag, Mo, Li, Cr, Co относительно среднего состава верхней части континентальной коры.

По результатам биотестирования, буровой шлам относится к умеренно опасным и малоопасным отходам. В процессе постановки эксперимента, выявилось токсическое действие бурового шлама на микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* и рачков *Daphnia magna*. Биотестирование с применением тест-объекта *Drosophila melanogaster* выявило наличие токсического эффекта для пробы с эксплуатационной скважины Марковского месторождения, при этом мутационная изменчивость не выявлена.

Диопсид									+
Галит									+

Для сравнения элементного состава и выявления геохимической специфики бурового шлама с двух территорий (Томской и Иркутской области) применялся кларк химических элементов в земной коре по Григорьеву Н.А. (2009). Для исследуемого шлама рассчитывался кларк концентрации и величина суммарного показателя загрязнения. Большая часть проб, отобранных на территории Томской области с низким показателем загрязнения, небольшая часть относится к среднему показателю загрязнения. Суммарный показатель загрязнения рассчитанный для проб с месторождений Иркутской области изменяется от средней до высокой степени. Геохимическая характеристика бурового шлама нефтяных месторождений Томской области характеризуется наличием таких элементов, как Pb, Ag, Zn, As, Mo, которые встречаются в большей половине исследуемых проб. Относительно среднего содержания элементов в осадочных горных породах в целом характерно повышенное содержание Pb, Zn, Cu. Повышенное содержание Mg, Cr, Co, Ag, Sr, Se, As, Zn, Pb наблюдается во всех исследуемых пробах бурового шлама с нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области относительно среднего содержания в осадочных горных породах в целом и среднего содержания элементов в верхней части континентальной коры.

Также был проведен сравнительный статистический анализ бурового шлама месторождений Томской и Иркутской областей. Исходная база данных включает в себя содержания химических элементов в буровом шламе по данным элементного анализа.

Сравнительный статистический анализ бурового шлама двух территорий включал в себя: вычисление числовых характеристик содержания химических элементов; проверку принадлежности к гипотезе нормального распределения; сравнительный анализ среднего значения и значений дисперсии; анализ корреляционных взаимосвязей между химическими элементами; кластерный анализ ассоциаций химических элементов.

Согласно исходным базам данных, для проб бурового шлама были рассчитаны: среднее (m), медиана (Me), мода (Mo), минимум (Min), максимум (Max), стандартное отклонение (S), коэффициент вариации, стандартная ошибка (σm) (табл. 48).

Модой распределения называется такая величина, которая в данной совокупности встречается максимально часто. Полимодальное распределение указывает на то, что в выборке имеются несколько значений, встречающихся максимально часто, иногда это указывает на неоднородность выборки. Для проб бурового шлама Томской области полимодальное распределение наблюдается в основном у всех элементов, за исключением Be, Sc, As, Cd, Tl.

Буровой шлам с территории Иркутской области имеет также максимальное число элементов с полимодальным распределением, исключение составляют Se, Ag, Lu.

Коэффициент вариации характеризует рассеивание содержаний элементов в выборке по сравнению со средним значением. Буровой шлам месторождений Томской области характеризуется однородным распределением большей частью рассматриваемых химических элементов (коэффициент вариации до 50 %), неоднородное распределение (коэффициент вариации 50-100 %) наблюдается у группы элементов Be, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sb. Крайне неоднородно распределены (>100%) элементы Sc, Sn, W, Pb (табл. 49).

Большинство рассматриваемых химических элементов в буровом шламе месторождений Иркутской области характеризуются неоднородным характером распределения (коэффициент вариации 50-100 %) и крайне неоднородным распределением (коэффициент вариации >100 %). Однородный характер распределения отмечается у небольшой группы элементов – Mg, Si, P, Fe, Co, Zn, Ge, Sr, Nb, Ag, Cd, Sn, U. Крайне неоднородно распределены (>100 %) – Na, Tl, Pb, Bi.

Полимодальное распределение элементов встречается в исследуемых пробах бурового шлама, отобранных как на территории Томской области, так и на территории Иркутской области. Исходя из полученного коэффициента вариации, следует отметить однородное распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в буровом шламе с Томской области, но неоднородное и крайне неоднородное распределение РЗЭ в шламе с территории Иркутской области.

Таблица 48 – Числовые характеристики содержаний элементов в буровом шламе, отобранном на территории Томской и Иркутской областей

Томская область										Иркутская область								
	Valid N	Mean	Median	Mode	Min	Max	Std.Dev.	Coef.Var.	σm	Valid N	Mean	Median	Mode	Min	Max	Std.Dev.	Coef.Var.	σm
Li	10	22,7	21,3	Multiple	13	31,8	6,7	29,6	2,1	10	42,8	37,0	Multiple	18,6	115,3	26,2	61,3	8,3
Be	10	1,3	1	0,25	0,3	3,2	1,1	81,1	0,3	10	1,3	1,0	Multiple	0,3	3,3	0,9	70,5	0,3
Na	10	10615,9	10650,4	Multiple	6190,9	16549,4	2798,6	26,4	885,0	10	14367,4	9871,4	Multiple	2249,4	47300,5	15886,8	110,6	5023,9
Mg	10	6528,6	6031,7	Multiple	3481,4	9373	1844,0	28,2	583,1	10	34028,9	31852,4	Multiple	25597,2	56028,5	9650,0	28,4	3051,6
Al	10	46156,8	44779,2	Multiple	37608,4	62198,2	8057,1	17,5	2547,9	10	34346,3	43961,2	Multiple	4323,6	56488,3	18304,9	53,3	5788,5
Si	10	246959	255481,4	Multiple	132764,8	308674,4	52886,1	21,4	16724,1	10	142527,5	137853,4	Multiple	95537,6	184142,4	33456,8	23,5	10580,0
P	10	378,6	370,9	Multiple	143,2	564,1	114,7	30,3	36,3	10	455,8	483,4	Multiple	230,7	664,0	171,5	37,6	54,2
K	10	12678,5	13117,1	Multiple	8684,2	14442,4	1592,1	12,6	503,5	10	10520,8	6751,1	Multiple	3189,8	23630,0	6925,0	65,8	2189,9
Sc	10	3,1	1,6	0,05	0,1	11,7	3,9	125,9	1,2	10	8,9	9,0	Multiple	0,1	20,3	5,9	66,1	1,9
Ti	10	3629,5	3873,5	Multiple	2522,2	4682	787,4	21,7	249,0	10	3004,8	2975,2	Multiple	1185,9	7524,1	2013,6	67,0	636,7
V	10	75,5	81	Multiple	46,1	97,2	17,6	23,2	5,6	10	87,9	84,3	Multiple	31,2	245,1	62,0	70,5	19,6
Cr	10	76,4	77,1	Multiple	50	108,1	18,8	24,6	5,9	10	150,0	106,6	Multiple	34,9	334,7	103,5	69,0	32,7
Mn	10	669,3	627,6	Multiple	450,6	1005,7	154,5	23,1	48,8	10	657,9	576,0	Multiple	340,9	1556,9	377,0	57,3	119,2
Fe	10	32243,6	33086,8	Multiple	17380,8	40837,6	7410,6	23,0	2343,5	10	39798,5	38338,6	Multiple	26472,4	75880,4	15014,1	37,7	4747,9
Co	10	12,2	11,7	Multiple	7,5	15,7	2,7	22,2	0,9	10	25,0	21,9	Multiple	13,4	43,6	10,6	42,2	3,3
Ni	10	13,1	11,6	Multiple	5,3	33,2	8,1	61,8	2,6	10	30,6	21,5	Multiple	2,2	101,1	28,9	94,6	9,1
Cu	10	52,9	39,7	Multiple	14,9	118,5	34,2	64,5	10,8	10	100,0	120,6	Multiple	23,2	158,7	52,7	52,7	16,7
Zn	10	141,1	105,5	Multiple	58	391,4	99,4	70,4	31,4	10	161,5	149,7	Multiple	88,6	265,2	58,4	36,2	18,5
Ga	10	12,6	11,9	Multiple	10,4	16,9	2,4	19,2	0,8	10	9,0	10,6	Multiple	3,5	15,4	4,6	51,3	1,5
Ge	10	1,2	1,3	Multiple	0,9	1,7	0,3	20,5	0,1	10	1,1	1,1	Multiple	0,6	1,5	0,3	29,8	0,1
As	10	11,2	7,1	2,5	2,5	27,6	9,5	85,2	3,0	10	19,7	18,0	Multiple	4,1	45,1	10,9	55,3	3,4
Se	10	0	0	0,00025	0	0	0,0	54,2	0,0	10	2,5	1,5	,5000000	0,5	7,9	2,5	99,8	0,8
Rb	10	63,4	61	Multiple	46,3	78	9,6	15,1	3,0	10	30,9	17,9	Multiple	10,3	63,2	21,0	67,8	6,6

Sr	10	187,2	171,5	Multiple	110,7	293,5	56,3	30,1	17,8	10	286,2	262,0	Multiple	149,6	438,3	93,2	32,6	29,5
Y	10	12,3	12,5	Multiple	8,8	15,5	2,5	20,0	0,8	10	11,7	12,9	Multiple	0,1	19,4	6,9	59,0	2,2
Zr	10	92	102,8	Multiple	62,8	108,2	18,2	19,8	5,8	10	73,4	92,1	Multiple	4,2	114,8	37,5	51,1	11,9
Nb	10	9,1	9,4	Multiple	6,6	12,3	2,1	22,7	0,7	10	5,1	4,7	Multiple	2,7	9,6	2,3	44,5	0,7
Mo	10	2,3	2,4	Multiple	0,7	3,6	1,1	48,1	0,4	10	6,0	5,1	Multiple	0,8	19,4	5,9	97,0	1,9
Ag	10	0,2	0,2	Multiple	0,1	0,3	0,1	23,7	0,0	10	0,3	0,3	,2000000	0,2	0,6	0,1	40,0	0,0
Cd	10	0,3	0,3	0,2125517	0,1	0,4	0,1	35,5	0,0	10	0,3	0,3	Multiple	0,2	0,4	0,1	29,4	0,0
Sn	10	5,4	2,4	Multiple	1,3	33,5	9,9	183,0	3,1	10	1,9	1,9	Multiple	0,6	3,2	0,8	42,7	0,3
Sb	10	1,4	0,9	Multiple	0,5	3,1	0,9	66,2	0,3	10	2,5	1,5	Multiple	0,2	5,5	2,2	88,0	0,7
Cs	10	3,3	3	Multiple	2	4,8	0,9	28,1	0,3	10	1,6	0,7	Multiple	0,3	3,9	1,4	85,8	0,4
Ba	10	440,5	452,8	Multiple	221,1	551,6	93,4	21,2	29,5	10	206,4	198,5	Multiple	52,3	351,5	106,0	51,4	33,5
La	10	19,3	19,5	Multiple	13,6	24,7	3,8	19,8	1,2	10	12,9	8,6	Multiple	0,2	33,9	9,9	76,9	3,1
Ce	10	41,2	42	Multiple	28,8	51,7	8,1	19,8	2,6	10	23,7	16,0	Multiple	0,2	50,1	16,2	68,5	5,1
Pr	10	4,7	4,8	Multiple	3,4	5,9	1,0	20,4	0,3	10	2,8	2,2	Multiple	0,0	5,1	1,7	61,7	0,5
Nd	10	17,4	17,5	Multiple	12,2	22,4	3,5	19,8	1,1	10	11,1	9,5	Multiple	0,2	19,2	6,5	58,4	2,0
Sm	10	3,3	3,4	Multiple	2	4,3	0,8	22,8	0,2	10	2,3	2,5	Multiple	0,1	4,1	1,3	54,3	0,4
Eu	10	0,7	0,7	Multiple	0,5	1	0,1	19,4	0,1	10	0,5	0,6	Multiple	0,0	1,0	0,3	62,5	0,1
Gd	10	3,3	3,3	Multiple	2,3	4,4	0,6	19,1	0,2	10	2,5	3,0	Multiple	0,0	4,4	1,4	56,9	0,5
Tb	10	0,5	0,5	Multiple	0,3	0,6	0,1	19,9	0,0	10	0,4	0,4	Multiple	0,0	0,6	0,2	58,0	0,1
Dy	10	2,5	2,4	Multiple	1,9	3,1	0,5	18,0	0,1	10	2,1	2,4	Multiple	0,0	3,4	1,3	59,4	0,4
Ho	10	0,5	0,5	Multiple	0,4	0,6	0,1	17,2	0,0	10	0,4	0,5	Multiple	0,0	0,7	0,2	57,6	0,1
Er	10	1,4	1,3	Multiple	0,9	1,7	0,3	21,1	0,1	10	1,2	1,4	Multiple	0,0	1,9	0,7	57,5	0,2
Tm	10	0,2	0,2	Multiple	0,2	0,3	0,0	17,0	0,0	10	0,2	0,2	Multiple	0,0	0,3	0,1	58,6	0,0
Yb	10	1,3	1,4	Multiple	0,8	1,6	0,3	18,7	0,1	10	1,2	1,4	Multiple	0,0	1,9	0,7	59,5	0,2
Lu	10	0,2	0,2	Multiple	0,1	0,3	0,0	23,3	0,0	10	0,2	0,2	,2150783	0,0	0,3	0,1	58,8	0,0
Hf	10	1,8	1,9	Multiple	1,3	2,3	0,4	22,1	0,1	10	1,3	1,6	Multiple	0,1	2,2	0,7	53,9	0,2
Ta	10	0,6	0,6	Multiple	0,4	0,8	0,2	24,7	0,1	10	0,3	0,3	Multiple	0,1	0,7	0,2	52,4	0,1

Продолжение таблицы 48

W	10	3,1	1,6	Multiple	0,9	13,1	3,8	124,4	1,2	10	4,2	3,6	Multiple	1,0	9,2	3,4	80,4	1,1
Tl	10	0,3	0,3	0,3641046	0,3	0,4	0,0	12,6	0,0	10	0,3	0,2	Multiple	0,1	1,2	0,3	124,3	0,1
Pb	10	100,2	37,1	Multiple	14,1	345,9	120,7	120,4	38,2	10	87,2	66,4	Multiple	2,7	240,2	88,5	101,5	28,0
Bi	10	0,2	0,2	Multiple	0,1	0,4	0,1	47,0	0,0	10	0,3	0,2	Multiple	0,0	1,1	0,3	100,9	0,1
Th	10	5,4	5,3	Multiple	3,8	7,3	1,3	23,9	0,4	10	3,0	2,2	Multiple	0,1	6,4	2,2	72,7	0,7
U	10	1,8	1,8	Multiple	1,2	2,2	0,3	16,0	0,1	10	1,4	1,4	Multiple	0,5	2,2	0,6	40,0	0,2

Таблица 49 – Равномерность распределения химических элементов в буровом шламе месторождений Томской и Иркутской областей

Территория	Однородные (<50%)	Неоднородные (50-100%)	Крайне неоднородные (>100%)
Томская область	Li, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Tl, Bi, Th, U	Be, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sb	Sc, Sn, W, Pb.
Иркутская область	Mg, Si, P, Fe, Co, Zn, Ge, Sr, Nb, Ag, Cd, Sn, U	Li, Be, K, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Ga, As, Se, Rb, Y, Zr, Mo, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Th	Na, Tl, Pb, Bi,

Для исследуемых проб был проведен корреляционный анализ. В результате корреляционного анализа было получено большое количество корреляционных связей. Для бурового шлама, отобранном на территории Томской области было искусственно повышено критическое значение (до 0,95) для выявления более сильных корреляционных связей. Для шлама с Иркутской области критическое значение также равнялось 0,95. Исходя, из полученных связей были построены графы ассоциации химических элементов в буровом шламе месторождений Томской и Иркутской областей (рис. 73 и 74).

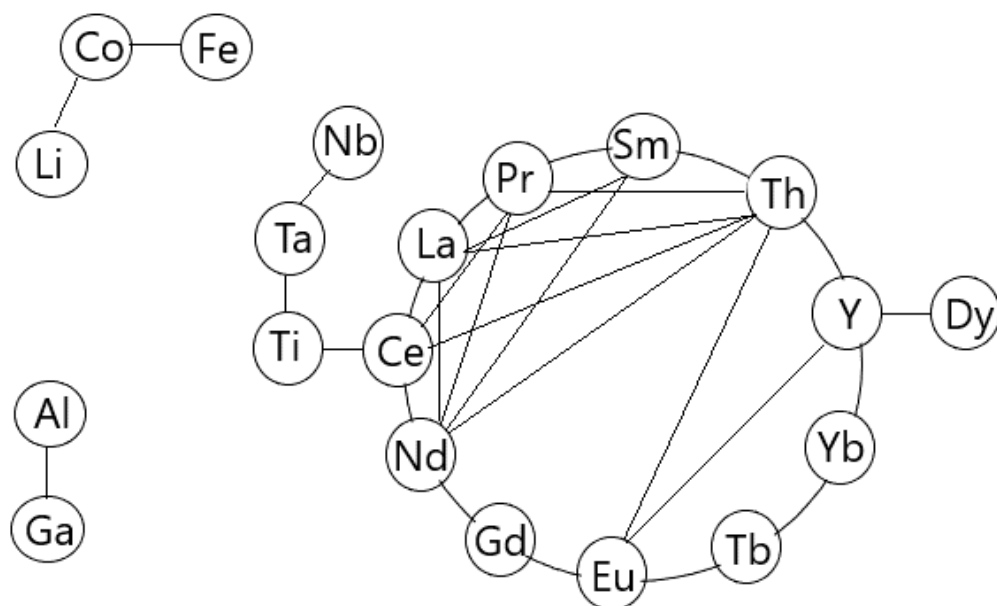


Рисунок 73 – Кластер корреляционных взаимосвязей химических элементов для бурового шлама месторождений Томской области (черная линия – положительная связь)

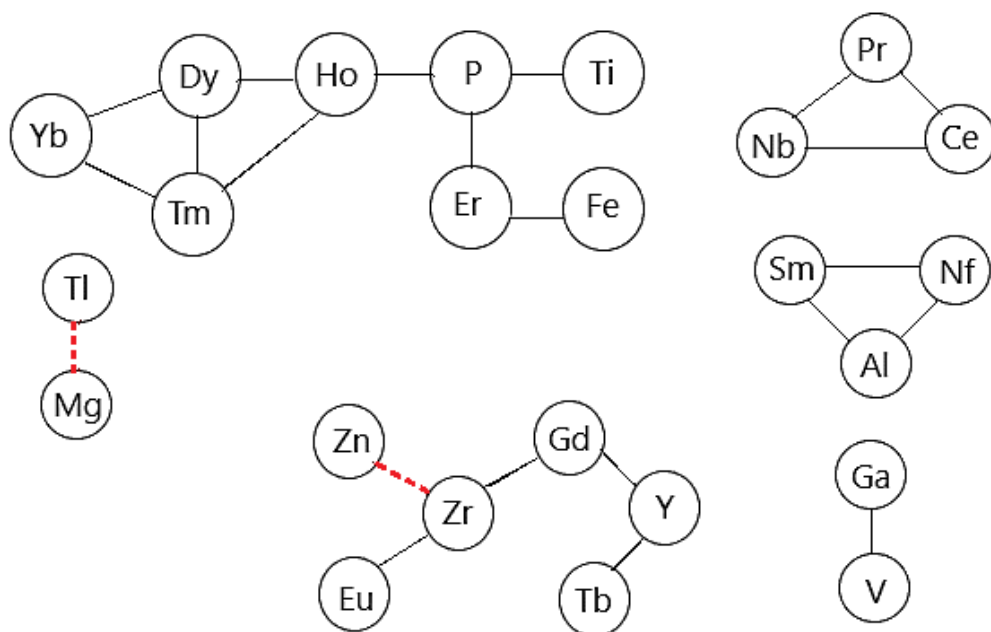


Рисунок 74 – Кластер корреляционных взаимосвязей химических элементов для бурового шлама месторождений Иркутской области (черная линия – положительная связь, красная пунктирная линия – отрицательная связь)

Наибольшее количество ассоциаций химических элементов устанавливается в пробах бурового шлама месторождений Иркутской области. Корреляционные связи устанавливаются для группы элементов: Pr, Nb, Ce, Sm, Hf, Al, Cd, Zr, Dy, Ho, Tm, Yb, причем как положительные, так и отрицательные. Например, для Zn, Tl, Mg устанавливаются только отрицательные связи с другими элементами. Есть элемент, для которого отмечена как отрицательная, так и положительная корреляционные связи – это Zr. Образованные ассоциации химических элементов характерны для литофильной группы по классификации В.М. Гольшмидта.

Буровые шламы месторождений Томской области выделяются меньшим количеством ассоциаций химических элементов. Среди них выделяется три ассоциации, обладающие только положительной корреляционной связью. Первая ассоциация характерна для большой группы РЗЭ элементов, а две последующие ассоциации: Al-Ga и Li-Co-Fe.

Объединение химических элементов с максимальным значением коэффициента сходства, формируется с помощью кластерного анализа, который позволяет разбить элементы на группы. Используемое программное обеспечение определяет наивысший коэффициент корреляции между отдельными парами, затем соответствующую пару объединяет в группу с помощью различных методов осреднения. Полученная дендрограмма является результатом кластерного анализа. Ось абсцисс отражает символы химических элементов, ось ординат – значение $1 - r$, соответствующее каждому иерархическому уровню группирования.

При кластерном анализе ассоциаций химических элементов был использован Ward's method, мера близости была выбрана $1 - \text{Pearson } r$, при $p=0,05$. Так же был подсчитан критический уровень, для выявления более сильных корреляционных связей. Для проб бурового шлама месторождений Томской области – это значение 0,36 (рис. 75). Для буровых шламов месторождений Иркутской области критическое значение – 0,32 (рис. 76).

Для бурового шлама месторождений Томской области было сформировано 3 крупных кластера. В первом кластере выделяется ассоциация со значимой корреляционной связью Lu–Tm, Yb–Tb, Gd–Eu, Er–Dy–Y. Второй кластер объединяет Sm–Th–Nd–Ce–Pr–La–Cr со значимой корреляционной связью. В третьем кластере наиболее значимые связи имеют Co–Fe–Li.

Для проб бурового шлама месторождений Иркутской области в результате построения корреляционной матрицы сформировались 7 кластеров со значимой связью: Yb–Tb–Dy–Y–Er–Tm–Lu–P; Gd–Eu–Sm–Hf–Zr–Al; Th–Ce–La; Cs–Rb–K; Nd–Pr; Ni–Mn–V; Fe–Ti.

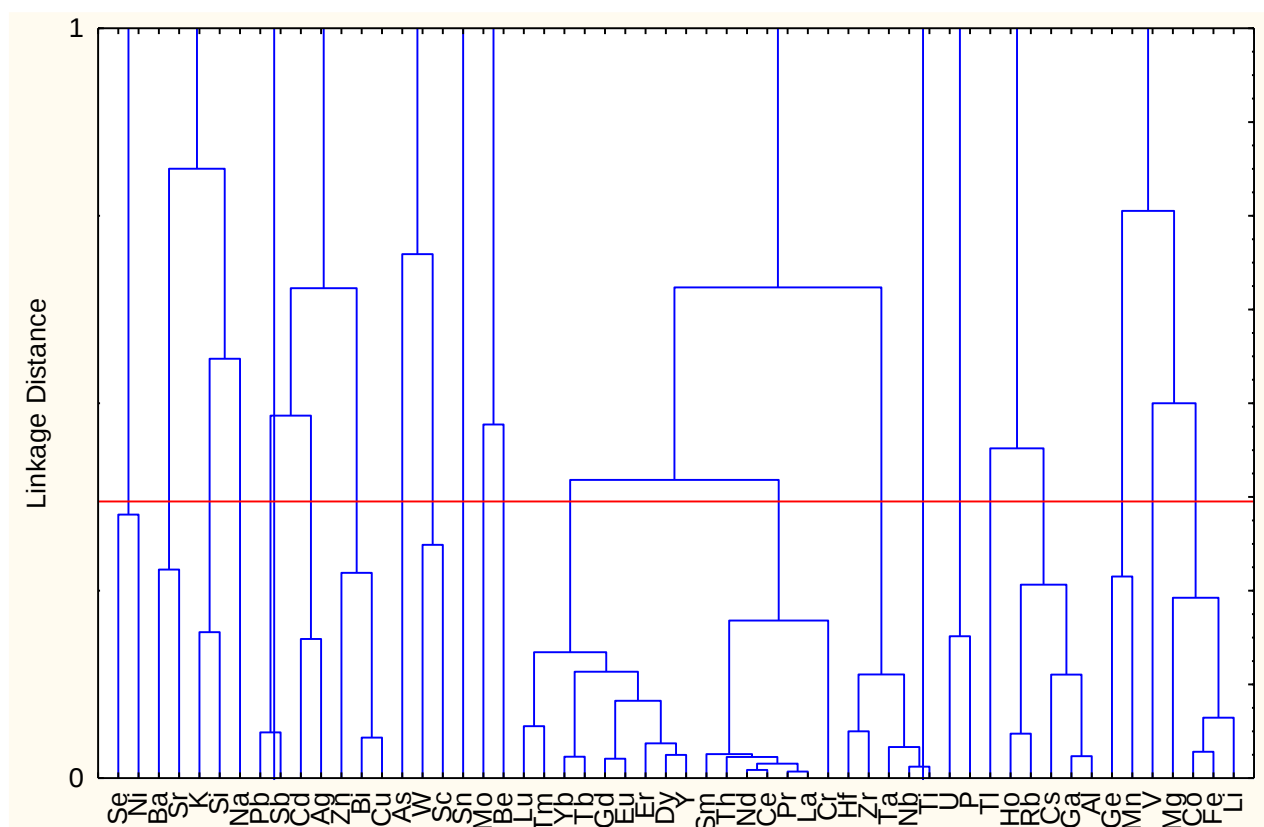


Рисунок 75 – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра микроэлементов в буровом шламе месторождений Томской области по методу ИСП-МС
($N = 10$; $1 - r_{0,05} = 0,36$)

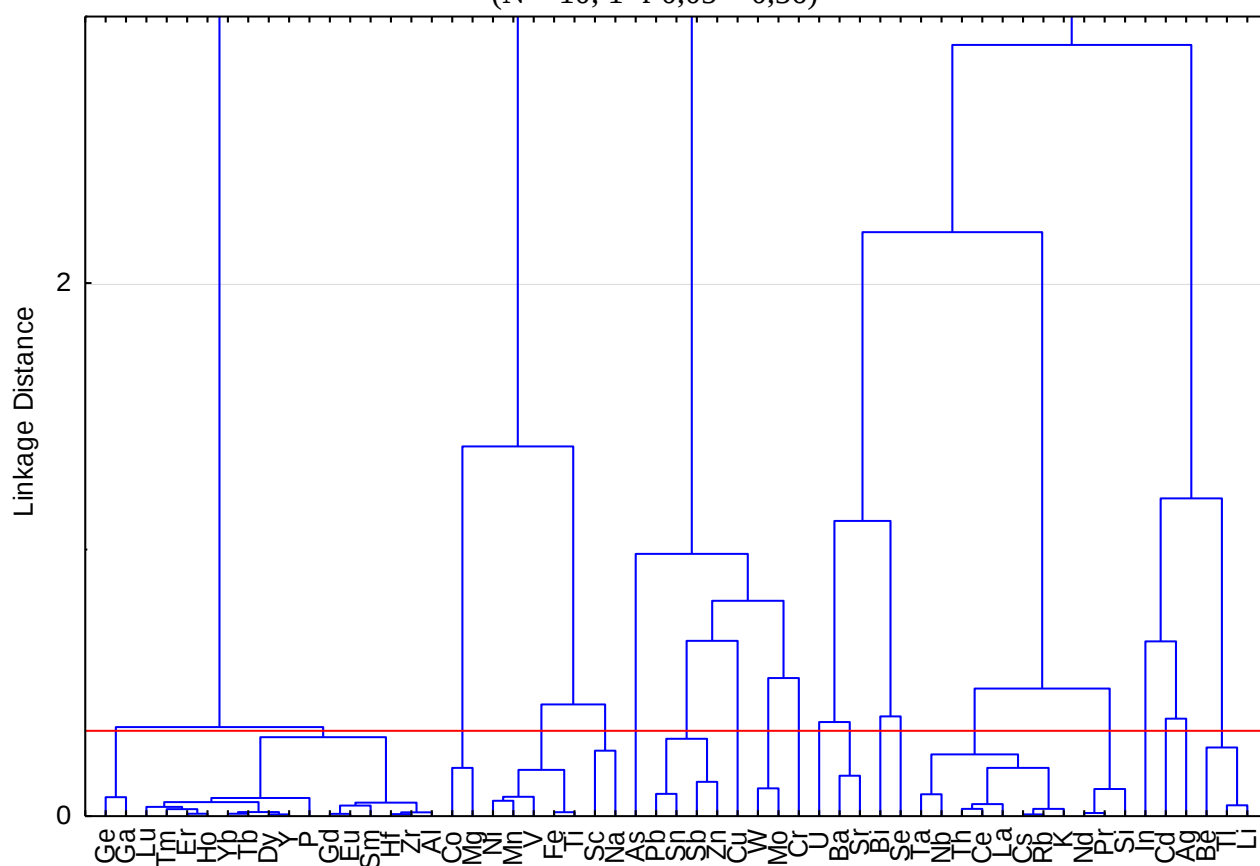


Рисунок 76 – Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра микроэлементов в буровом шламе месторождений Иркутской области по методу ИСП-МС
($N = 10$; $1 - r_{0,05} = 0,32$)

Кроме того, для дальнейшего установления закономерностей при распределении элементов в пробах шлама был применен факторный анализ, позволяющий выделить количество и силу факторов, влияющих на это распределение. При анализе в один фактор объединяются сильно коррелирующие между собой переменные. Вследствие этого происходит перераспределение дисперсии между компонентами и возможно получить простую и наглядную структуру факторов.

Для выявления наиболее значимых факторов и факторной структуры в целом, был применен метод главных компонент. Для проб месторождений Томской области было выделено три фактора. Для проб месторождений Иркутской области оказались значимыми четыре фактора (табл. 50).

Таблица 50 – Вращаемые факторные нагрузки в факторной модели для бурового шлама месторождений Томской и Иркутской областей

Томская область			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Li	-0,84	0,46	-0,07
Be	0,01	-0,24	0,65
Na	-0,02	-0,68	0,65
Mg	-0,53	0,75	-0,15
Al	-0,92	0,11	-0,22
Si	-0,08	-0,72	-0,23
P	-0,47	0,34	0,60
K	-0,46	-0,72	0,09
Sc	0,23	0,49	0,08
Ti	-0,87	-0,31	-0,17
V	-0,44	0,48	-0,57
Cr	-0,91	0,06	0,15
Mn	-0,36	0,66	0,07
Fe	-0,63	0,76	-0,08
Co	-0,74	0,60	-0,09
Ni	-0,61	-0,04	-0,33
Cu	-0,52	0,14	0,82
Zn	-0,64	0,31	0,43
Ga	-0,92	0,27	-0,19
Ge	-0,44	0,38	-0,28
As	0,49	0,10	-0,44
Se	-0,06	-0,48	-0,02
Rb	-0,88	-0,01	-0,21
Sr	-0,49	-0,10	0,25
Y	-0,99	0,00	0,00
Zr	-0,84	-0,41	0,04
Nb	-0,86	-0,26	-0,22
Mo	0,30	0,28	0,64

Иркутская область				
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Li	-0,19	-0,87	-0,39	0,20
Be	-0,30	-0,74	-0,59	-0,06
Na	-0,50	-0,66	-0,50	0,24
Mg	0,19	0,67	-0,69	0,13
Al	-0,99	0,01	-0,10	-0,05
Si	-0,92	-0,22	0,27	-0,01
P	-0,85	0,48	-0,21	0,01
K	-0,66	-0,74	0,15	-0,03
Sc	-0,68	-0,09	-0,06	0,32
Ti	-0,79	0,37	-0,49	0,03
V	-0,96	-0,15	-0,22	0,08
Cr	0,78	-0,29	0,30	0,23
Mn	-0,83	0,55	0,07	-0,02
Fe	-0,80	0,29	-0,52	-0,01
Co	0,11	0,72	-0,55	-0,37
Ni	-0,81	0,21	0,37	-0,27
Cu	0,76	-0,17	-0,61	0,10
Zn	0,92	-0,17	-0,18	-0,23
Ga	-0,99	-0,01	-0,17	-0,02
Ge	-0,95	-0,22	0,04	-0,11
As	0,39	-0,72	0,45	0,28
Se	-0,32	0,50	0,25	0,76
Rb	-0,76	-0,63	0,18	0,02
Sr	-0,48	0,58	0,63	-0,16
Y	-0,93	0,32	-0,12	-0,09
Zr	-0,99	0,09	-0,02	0,01
Nb	-0,82	-0,53	-0,17	0,07
Mo	0,28	-0,91	-0,25	0,16

Ag	-0,31	0,12	0,62
Cd	-0,22	0,24	0,70
Sn	-0,07	-0,15	-0,12
Sb	-0,41	0,30	0,69
Cs	-0,78	0,47	-0,29
Ba	-0,51	-0,56	0,41
La	-0,93	-0,20	0,06
Ce	-0,94	-0,23	-0,12
Pr	-0,93	-0,20	-0,03
Nd	-0,95	-0,20	-0,03
Sm	-0,95	-0,24	0,01
Eu	-0,96	-0,07	-0,24
Gd	-0,96	-0,13	-0,10
Tb	-0,95	-0,11	0,17
Dy	-0,97	0,10	-0,12
Ho	-0,88	-0,04	-0,24
Er	-0,96	-0,07	-0,05
Tm	-0,90	0,16	-0,15
Yb	-0,96	-0,16	0,09
Lu	-0,94	0,02	-0,04
Hf	-0,74	-0,48	-0,07
Ta	-0,82	-0,30	-0,17
W	0,42	0,77	-0,05
Tl	-0,58	0,25	0,08
Pb	-0,26	0,18	0,79
Bi	-0,69	0,15	0,63
Th	-0,96	-0,07	-0,11
U	-0,67	0,24	0,17

Ag	-0,42	-0,62	-0,05	-0,60
Cd	-0,05	-0,83	-0,11	-0,41
Sn	0,74	-0,59	0,20	-0,08
Sb	0,92	-0,17	0,32	-0,18
Cs	-0,76	-0,64	0,14	-0,05
Ba	-0,50	0,01	0,86	-0,12
La	-0,68	-0,72	-0,04	0,09
Ce	-0,84	-0,52	0,09	0,07
Pr	-0,93	-0,33	0,14	0,05
Nd	-0,95	-0,23	0,18	-0,02
Sm	-0,97	0,19	0,14	0,04
Eu	-0,95	0,31	0,07	-0,02
Gd	-0,97	0,21	0,08	-0,02
Tb	-0,94	0,29	-0,12	-0,15
Dy	-0,96	0,26	-0,05	-0,03
Ho	-0,95	0,20	-0,19	0,06
Er	-0,94	0,25	-0,25	-0,01
Tm	-0,97	0,19	-0,15	-0,06
Yb	-0,97	0,20	-0,05	-0,12
Lu	-0,95	0,08	-0,24	-0,09
Hf	-1,00	0,02	0,04	0,02
Ta	-0,76	-0,63	-0,14	0,03
W	0,63	-0,71	-0,11	0,20
Tl	-0,38	-0,87	-0,29	0,13
Pb	0,62	-0,67	-0,11	-0,15
Bi	-0,46	0,10	0,79	0,24
Th	-0,74	-0,62	0,26	-0,01
U	-0,60	-0,42	0,60	-0,33

Согласно таблице 50, высокие факторные нагрузки элементов распределились по факторам следующим образом:

Фактор 1 является самым весомым и характеризует ассоциацию Li – Al – Ti – Cr – Co – Ga – Rb – Y – Zr – Nb – Cs – La – Ce – Pr – Nd – Sm – Eu – Gd – Tb – Dy – Ho – Er – Tm – Yb – Lu – Hf – Ta – Th, наблюдается отрицательная корреляционная связь.

Фактор 2 – менее весомый, наблюдается ассоциация М – Fe – W, связанная положительной корреляционной связью. Ассоциация Si – К связана со вторым фактором отрицательной корреляционной связью.

Фактор 3 – характеризуется ассоциацией Cu – Cd – Pb, связанной с фактором 3 положительной корреляционной связью.

Для Иркутской области значимые факторы следующие:

Фактор 1 – наиболее весомый, характеризуется ассоциацией Cr – Cu – Zn – Sn – Sb, связанной с данным фактором положительной корреляционной связью. Большая группа элементов Al – Si – P – Ti – V – Mn – Fe – Ni – Ga – Ge – Rb – Y – Zr – Nb – Cs – Ce – Pr – Nd – Sm – Eu – Gd – Tb – Dy – Ho – Er – Tm – Yb – Lu – Hf – Ta – Th связана с первым фактором отрицательной корреляционной связью.

Фактор 2 – менее весомый, характеризуется ассоциацией Li – Be – K – As – Mo – Gd – La – W – Tl, связанной с фактором 2 отрицательной корреляционной связью. Элемент Co связан со данным фактором положительной корреляционной связью.

Фактор 3 – характеризуется положительной ассоциацией Ba – Bi.

Фактор 4 – выделяется наличием Se, положительно связанным с данным фактором.

Применение сканирующей электронной микроскопии выявило микроминеральные фазы и минеральные формы таких химических элементов, как Fe, Ti, Cr, Ba, Pb, Zn, Cu. Так, во всех исследуемых пробах бурового шлама отмечено Fe в разных формах: дисульфид железа (пирит), оксид железа в форме сферул и в виде минерала – гематита. Ti-содержащие фазы встречаются в форме оксида титана (минерал рутил), соединения Ti и Fe представлены минералами ильменитом и псевдорутилом, Fe-Cr-содержащие фазы представлены в форме минерала хромита. Во всех пробах были выявлены Ba-содержащие фазы в форме сульфата бария (барита), Pb-содержащие фазы, в форме оксида свинца, соответственно. Стоит отметить, что оксид свинца в сферической форме выявлен только в пробах бурового шлама Шингинского месторождения Томской области. Также в пробах шлама с месторождений Томской области, отмечаются Cu- и Zn-содержащие частицы, в форме оксида меди и цинка. В то время как в буровом шламе месторождений Иркутской области медь представлена в форме халькопирита.

Отличие бурового шлама месторождений Томской области было выявлено в содержании РЗЭ-содержащих фаз в форме минерала монацита и Zr-содержащие фазы в форме минерала циркона. В шламах с нефтегазоконденсатных месторождений Иркутской области выделяется изоморфная смесь Ba и Sr, и Sr-содержащие фазы в форме минерала целестина. Исключительно в пробах месторождений Иркутской области выявлено наличие соединения NaCl с выраженной кубической сингонией. Сравнительная таблица с результатами сканирующей электронной микроскопии представлена ниже (табл. 51).

Таблица 51 – Результаты сканирующей электронной микроскопии бурового шлама месторождений Томской и Иркутской областей

Область		Томская							Иркутская	
Месторождение		Первомайское	Катыльгинское	Южно-Черемшанское	Лугинецкое	Кульгинское	Шингинское	Южно-Шингинское	Марковское	Ярактинское
Элемент-содержащие фазы / минерал (?)										
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	—	—	+	+	+	+	+	++	++
	псевдорутил	—	—	+	+		+	—	++	++
Fe-Cr содержащие фазы	хромит	—	—	—	—	—	+	++	++	—
Ba - содержащие фазы	сульфат бария (барит)	—	++	+	+	++	+++	+++	++	++
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	монацит	—	—	++	+	—	—	—	—	—
Y-P- содержащие фазы	фосфат иттрия (ксенотим)	—	—	+	—	—	—	+	—	—
U - содержащие фазы	коффинит	+	—	—	—	—	—	—	—	—

Sn - содержащие фазы	оксид олова (касситерит)	–	–	–	–	–	–	–	–	+
Na-Cl- содержащие фазы	галит	–	–	–	–	–	–	–	–	+

Для исследуемых проб бурового шлама измерялась величина магнитной восприимчивости, которая зависит от содержания ферромагнитных и парамагнитных ионов. Также полученные данные сравнивались с ранее рассчитанным суммарным показателем загрязнения (см. 4 главу, п. 4.3., 5 главу, п. 5.3). Величина магнитной восприимчивости для проб бурового шлама со шламовых амбаров месторождений Томской области изменяется от $10,6$ до $105 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, где среднее значение каппа равно $51,1 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, в то время как разброс значений для проб шлама месторождений Иркутской области – от 11 до $375 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, со значением каппа равным $186,6 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (табл. 49). В целом низкое значение магнитной восприимчивости (менее $82 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) соответствует низкой степени загрязнения, за исключением единичной пробы шлама месторождения Томской области. Для проб месторождений Иркутской области положительная корреляция между показателем каппа и суммарным показателем загрязнения не была выявлена.

Для всех исследуемых проб концентрация нефтепродуктов в среднем выше допустимого уровня загрязнения в (1000 мг/кг). Разброс значений широкий: для проб с амбаров месторождений Томской области концентрация варьируется от 270 до 37690 мг/кг, для месторождений Иркутской области – диапазон от 90 до 16300 мг/кг.

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 (*Daphnia magna* и *Scenedesmus quadricauda*) и с использованием тест-объекта мушек *Drosophila melanogaster*.

Исходя из полученных данных видно, что величина суммарного показателя загрязнения меняется от $3,8$ до 46 ед., при этом магнитная восприимчивость изменяется от 11 до 375 ед. По результатам исследования можно предложить условную градацию. Для проб IV-V классов опасности характерно следующее: показатель магнитной восприимчивости достигает 120 ед. СИ, суммарный показатель загрязнения – до 32 ед.

Как уже отмечалось выше, 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 классов опасности (малоопасные и практически неопасные), за исключением одной пробы, принадлежащей к III классу (умеренно опасные). В то же время на тест-организме *Drosophila melanogaster* было проведено биотестирование бурового шлама, позволяющее оценить токсичность твердой фазы исследуемого отхода. Установлено, что тест-объект *Drosophila melanogaster* не был чувствителен к отходам, относящимся к IV-V классам опасности, тогда как реакция на пробу, отнесённую к III классу, была положительная.

Помимо этого, на тест-объектах *Drosophila melanogaster* определялась не только токсичность исследуемого вещества через соотношение полов, но и мутагенная изменчивость особей при воздействии на их организмы исследуемого вещества посредством учета соматической рекомбинации (мозаицизма). Было установлено, что токсический эффект проб шлама, выраженный в непропорциональном соотношении полов особей мушек, выявлен не во всех случаях. Исключение составила одна проба с Марковского месторождения. Мутационная изменчивость тест-объекта также не была выявлена.

По результатам исследования, пробам бурового шлама Томской области были присвоены IV-V классы опасности. Буровой шлам, отобранный на Кулгинском месторождении, показал свою токсичность только для тест-объекта *Daphnia magna*. Шламы с Шингинского и Южно-Шингинского месторождений не оказали 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-объекте рачка *Daphnia magna* показало вредное воздействие при кратности в 1 раз.

Пробы бурового шлама, отобранные на территории Иркутской области, по результатам биотестирования были отнесены к III-IV классам опасности. По результатам тестирования на тест-объектах *Daphnia magna* Straus и *Scenedesmus quadricauda* буровому шламу, отобранному из эксплуатационной скважины Ярактинского месторождения, присвоен III класс опасности. В то же время данная проба выделяется повышенными показателями магнитной восприимчивости и суммарного показателя загрязнения. Однако, стоит отметить, что реакция тест-объектов *Drosophila melanogaster* на токсичность не была выявлена, за исключением реакции на единичную пробу бурового шлама с Марковского месторождения. Данная проба отличается повышенным содержанием Se относительно проб с Ярактинского месторождения, что отразилось на тест-объектах *Drosophila melanogaster*.

Кроме того, экспериментальным способом было определено, что организм *Daphnia magna* более чувствительный в сравнении водорослями *Scenedesmus quadricauda* и мушками *Drosophila melanogaster*.

Предложенный в работе комплексный подход позволяет оценить опасность отхода как в жидкой, так и твердой фазах. Элементный состав, содержание нефтепродуктов, биотестирование на тест-объектах *Daphnia magna* и *Scenedesmus quadricauda* определялись по жидкой фазе исследуемого отхода, а токсичность твердой фазы исследуемого отхода определялась методами магнитной восприимчивости и биотестирования на тест-организмах *Drosophila melanogaster*.

Установлено, что отходы в твердой фазе не оказывают значимого влияния на исследованные живые организмы. Таким образом, буровой шлам может быть использован как вторичное сырье, например, в виде техногенного грунта или компонента для производства грунтобетонных, органоминеральных смесей, поскольку не оказывает токсичного действия. Сравнительная таблица с результатами исследования представлена ниже (табл. 52).

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.

Таблица 52 – Результаты комплексной эколого-геохимической оценки отходов бурового шлама месторождений Томской и Иркутской областей

Область	Месторождение	Нефте- продукты (мг/кг)	k * 10-5 ед. СИ m ± σ (min/max)	Zс	Класс опасности	Тест-объект		
						<i>Daphnia magna</i>	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer* / <i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Drosophila melanogaster</i>
Томская	Первомайское	1020	84±0,5 (83/85)	29,19 (средняя)	н.о.	н.о.	+	+
	Катыльгинское	2140	81,3±0,3 (81/82)	2,54 (низкая)	н.о.	н.о.	+	+
	Южно-Черемшанское	270	10,6±0,3 (10/11)	4,17 (низкая)	н.о.	н.о.	+	+
	Лугинецкое	2710	42,3±0,3 (42/43)	6,45 (низкая)	н.о.	н.о.	+	+
	Кулгинское	2790	22±1,0 (20/23)	10,84 (низкая)	IV	+	-	-
	Шингинское (кустовая площадка №7, амбар 1)	2630	23,6±0,8 (22/25)	12,78 (низкая)	IV	+	-	-
	Шингинское (кустовая площадка №8, амбар 1)	740	105±1,0 (104/107)	24,85 (средняя)	V	-	-	-
	Южно-Шингинское (кустовая площадка №3, амбар 1)	3850	30,6±0,6 (30/32)	3,81 (низкая)	IV	+	-	-
	Южно-Шингинское (кустовая площадка №3, амбар 2)	3250	15±1,0 (14/17)	8,54 (низкая)	V	-	-	-
	Южно-Шингинское (кустовая площадка №3, амбар 3)	37960	97±1,0 (95/98)	20,77 (средняя)	V	-	-	-
Иркутская	Марковское	90	11±1,0 (9/12)	30,68 (средняя)	IV	+	+	+
	Ярактинское (эксплуатационная скважина)	16300	173,7±0,88 (172/175)	46,56 (высокая)	III	+	+	-
	Ярактинское (разведочная скважина)	190	375±2,51 (372/380)	36,03 (высокая)	IV	+	+	-

Примечание: н.о. – не определено

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 СОКРАЩЕНИЙ

НГП – нефтегазоносная площадь

НГК – нефтегазоносный комплекс

НГО – нефтегазоносная область

НГР – нефтегазоносный район

ВНК – водонефтяной контакт

ГНК – газонефтяной контакт

ГКЗ – государственная комиссия по запасам

МОГТ – метод общей глубинной точки

МИНОЦ – международный инновационный научный образовательный центр

РЗЭ – редкоземельные элементы

ГН – гигиенический норматив

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абалаков А. Д. Экологическая геология: учеб. пособие / А. Д. Абалаков. - Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. – 267 с.
2. Авдеева И.И., Нехорошева А.В., Киржаков И.Ф, Ахмеджанов Р.Р. Оценка экологической опасности бурового шлама на территории амбара в природных условиях ХМАО-Югры // XXI век. Техносферная безопасность. – 2016. – Т. 1. – № 4. – С. 39–47.
3. Азарова С. В. Оценка экологической опасности отходов горнодобывающих предприятий республики Хакасия с применением метода биотестирования / С. В. Азарова, Е. Г. Языков, Н. Н. Ильинских // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 4. – С. 55–59.
4. Азарова С.В. Отходы горнодобывающих предприятий и комплексная оценка их опасности для окружающей среды (на примере объектов Республики Хакасия): диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-минер.наук. – Томск. – 2005. – 235 с.
5. Александрова В.В. Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод: Монография. – Нижневартовск: Изд-во Нижневартовский государственный университет, 2013. – 119 с.
6. Андреева В.М. Род CLORELLA. Морфология, систематика, принципы классификации / В.М. Андреева – Л.: Изд-во «Наука», 1975. – 110 с.
7. Анциферов А.С, Бакин В.Е., Воробьев В.Н. и др. Непско-Ботуобинская антеклизы — новая перспективная область добычи нефти и газа на Востоке СССР / Анциферов А.С, Бакин В.Е., Воробьев В.Н. и др. – Новосибирск: Наука, 1986. – 245 с.
8. Багаутдинов А.К., Барков С.Л. и др. Геология и разработка крупнейших и уникальных нефтяных месторождений и нефтегазовых месторождений России / Багаутдинов А.К., Барков С.Л., Белевич Г.К., Бочаров В.А., Бриллиант Л.С., Гавура А.В., Гавура В.Е., Гузеев В.В., Джавадян А.А., Долгих М.Е., Закирова Р.А., Курамшин Р.М., Лapidус В.З., Лещенко В.Е., Мангазаев В.П., Медведев Н.Я., Мухарский Э.Д., Праведников Н.К., Ровенская А.С., Сафронов В.И., Юрьев А.Н., Янин А.Н.// – Т. 2 – М: ОАО «ВНИИОЭНГ», 1996. – 352 с.
9. Балаба В.И. Обеспечение экологической безопасности строительства скважин на море // Бурение и нефть. – 2004. – №1. – С. 18–21.
10. Балаба В.И., Колесов А.И., Коновалов Е.А. Проблемы экологической безопасности использования веществ и материалов бурения // Сер. Охрана человека и окружающей среды в газовой промышленности. – М.: ИРЦ «Газпром», 2001. – 32 с.
11. Белозерцева И. А. Экологическое состояния почв Верхнеленя // Природа внутренней Азии. – №3 (8). – 2018. – С. 17–27.

12. Беляков А.Ю. Определение токсического воздействия на почву бурового раствора на углеводородной основе с помощью различных приемов биотестирования / А. Ю. Беляков, Д. С. Головкин, Е. В. Плешакова // Известия Саратовского университета. – 2012. – Т.12. – №3. 106–113
13. Беляков А.Ю. Оценка токсичности буровых шламов и эколого-функциональные особенности выделенных из них микроорганизмов: диссертация на соискание ученой степени канд. биол.наук. – Саратов. – 2014. – 170 с.
14. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем/ Под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
15. Бобров А. В., Гладилин С. А. Особенности геологического строения продуктивного пласта Ю1/3-4 Южно-Черемшанского месторождения // Нефтяное хозяйство. – 2011. – N 3. – С. 22–25.
16. Богданов Н.И. Концепция очистки сточных вод // Окружающая природная среда и медицинская экология: сборник материалов. – Пенза, 2001. – С. 109 –110.
17. Богуш И.А., Бурцев И.А., Фрамбоидальный пирит как фоссилизированные остатки древних грибовых организмов / Труды института геологии дагестанского научного центра РАН. – 2015. – С. 55–64.
18. Большая советская энциклопедия. [Электронный ресурс] // Сценедесмус. – URL: <https://slovar.cc/enc/bse/2046307.html> (дата обращения 23.07.2019).
19. Бубнов А.Г, Буймова С.А. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды /А.Г. Бубнов, С.А. Буймова, А.А. Гуцин, Т.В. Извекова. Иваново: ГОУВПО Ивановский государственный химический технологический университет. – 2007. – 112 с.
20. Булатов А.И. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, В.Ю. Шеметов – М.: Недра, 1997. – 483 с.
21. 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.
22. Булатов, А.И. Буровые промывочные и тампонажные растворы. Учеб. пособие для вузов / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, Ю.М. Проселков. – М.: Изд-во Недра, 1999. – 424 с.
23. Васильев А.В. Анализ особенностей и практические результаты экологического мониторинга загрязнения почвы нефтесодержащими отходами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.16, №1(6), 2014 – С. 1705–1708.
24. Васильев А.В., Тупицына О.В. Экологическое воздействие буровых шламов и подходы к их переработке // Проблемы прикладной геологии. – 2014. – С. 308–312.
25. Виноградов, А. П. Среднее содержание химических элементов в горных породах / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – №. 7. – С. 555–571.

26. ВРД 39-1.13-057-2002. Регламент организации работ по охране окружающей среды при строительстве скважин [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294845/4294845958.htm> (дата обращения 05.12.2020)
27. Гавриков Д.Е., Новицкая А.С. Влияние средового стресса на флуктуирующую асимметрию морфологических признаков *Drosophila melanogaster* // Современные наукоемкие технологии, 2010. – С. 83–84.
28. Гвоздецкая М.В. Комплексный аналитический метод мониторинга состояния отходов бурения: диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Санкт-петербург. – 2010. – 167 с.
29. Геологическая карта СССР. Масштаб 1: 1 000 000 (новая серия). Лист О-(44), 45 – Томск. Объяснительная записка. Л., 1988. – 89 с.
30. Геология СССР, том XIV, Западая Сибирь (Алтайский край, Кемерово, Новосибирская, Омская, Томская области). – М.: изд-во «Недра», 1967. – 674 с.
31. Гершензон С.М. Основы современной генетики. – Киев: Наукова думка, 1983. – 560 с.
32. Гидрогеология СССР, том XVI, Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области). – М.: изд-во «Недра», 1970. – 368 с.
33. Годовой отчет ПАО «Сургутнефтегаз» за 2017 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.surgutneftegas.ru/investors/reporting/> (дата обращения 10.04.2019).
34. ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов, – М.: Стандартиформ, 2019. – 12 с.
35. ГОСТ 17.1.4.01-80 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к методам определения нефтепродуктов в природных и сточных водах, 2010 – 3 с.
36. ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения» – М.: Стандартиформ, 2008. – 4 с.
37. ГОСТ 17.4.3.01-83 Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартиформ, 2008. – 3 с.
38. ГОСТ 17.4.4.02-84 Почвы. Методы отбора проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Стандартиформ, 2008. – 7 с.
39. ГОСТ 28168-89 Почвы. Отбор пробы. – М.: Стандартиформ, 2008. – 7 с.
40. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартиформ, 2013. – 63 с.
41. ГОСТ Р 56060-2014. Производственный экологический мониторинг. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200111618> (дата обращения 05.12.2020)

42. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Иркутской области в 2018 году» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://irkobl.ru/region/ecology/Госдоклад_2018.pdf (дата обращения 08.04.2020).
43. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2018 году» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <file:///C:/Users/1/Downloads/ОБЗОР%202019-1.pdf> (дата обращения 08.04.2020).
44. Григорьев, Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры / Н. А. Григорьев // Екатеринбург: УрО РАН. – 2009. – 382 с.
45. Даненберг Е.Е., Белозеров В.Б., Брылина Н.А. Геологическое строение и нефтегазоносность верхнеюрско-нижнемеловых отложений юго-востока Западно–Сибирской плиты (Томская область). – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2006. – 291 с.
46. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2018 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre/2876367/2018-god> (дата обращения 20.02.2020).
47. Жмур Н.С. Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России. – М.: Международный дом сотрудничества, 1997. – 115 с.
48. Жорняк Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: диссертация ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36. – Томск, 2009. – 205 с.
49. Заболотских В.В., Васильев А.В. Мониторинг токсического воздействия на окружающую среду с использованием методов биоиндикации и биотестирования: Монография – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2012. – 233 с.
50. Зайцева Ю.Л. Нефтегазогеологическое районирование нижней-средней юры нюрольского нефтегазоносного района (Юго-Запад Томской области): диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-минер.наук. – Новосибирск – 2017. – 138 с.
51. Западная Сибирь // Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т.2 / Гл. Ред. В.П. Орлов. Ред. 2-го тома: А.Э. Конторович, В.С. Сурков. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 477 с.
52. Захаров, А.П. Регенерирующие установки для очистки и переработки шлама, образующегося при бурении скважин / А.П. Захаров // ЭИ Бурение. – 1983. – №14. – С. 6–9.
53. Илларионова Е.А. Флуориметрия. Теоретические основы метода. Практическое применение метода: Учебное пособие. / Е.А. Илларионова, И.П. Сыроватский. Иркутск: Иркутский государственный медицинский университет, 2011. – 63 с

54. Ильенок С.С. Геохимия элементов-примесей в углях Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна: диссертация ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.09. – Томск, 2017. – 207 с.
55. Карбонатные коллекторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oilloot.ru/77-geologiya-geofizika-razrabotka-neftyanykh-i-gazovykh-mestorozhdenij/805-karbonatnye-kollektory> (дата обращения 09.04.2020)
56. Карогодин Ю.Н. Системная модель стратиграфии нефтегазоносных бассейнов Евразии. В 2 т. Т. 1: Мел Западной Сибири / Ю.Н. Карогодин; Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2006. – 166 с.
57. Карпов А.К. Природные газы месторождений Советского Союза Природные газы месторождений Советского Союза [Текст]: Справ. книга. – Москва : Недра, 1978. – 319 с.
58. Катыльгинское месторождение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mklogistic.ru/katilginskoe_mestorojdenie – (дата обращения: 10.02.2017)
59. Кауфова М.А., Хандохов Т.Х., Керефова М.К. Морфозы, наблюдаемые у *Drosophila melanogaster* при облучении переменным магнитным полем разной частоты // Фундаментальные исследования, 2013. – № 10-10. – С. 2219–2221.
60. Климова А.А., Язиков Е.Г. Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтегазоконденсатных месторождений на примере объектов Иркутской области // Вестник Забайкальского государственного университета, 2020. – Т. 26. – №2. – С. 32–39
61. 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
62. Книга нефти: месторождение «Первомайское» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kniganefiti.ru/field.asp?field=291> (дата обращения 17.02.2018)
63. Козак М.Ф. Дрозофила - модельный объект генетики: учебно-методическое пособие / М.Ф. Козак. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87 с.
64. Конторович В.А. Тектоника и нефтегазоносность мезозойско-кайнозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. – Н.: Изд-во СО РАН, 2002. – 253 с.
65. Крыса В.В., Малышкин М.М. Методика определения класса опасности соленых буровых шламов // Записки Горного института. – Т.3. – 2013. – С. 50–54
66. Крючков В.Н. Оценка влияния отходов бурения на гидробионтов / В.Н. Крючков, А.А. Курапов // Вестник Астрахан.гос.тех ун-та. Серия: Рыбное хозяйство №1, 2012 – С. 61–65.

67. Лебедев Б.А. Закономерности образования и размещения терригенных коллекторов и покрышек в различных нефтегазоносных комплексах Сибири // Фонды Востсибнефтегазгеологии. – Иркутск, 1980. – Ф.3846. – 200 с.
68. Лесной кодекс Российской Федерации" от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 31.07.2020) [Электронный ресурс]: Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 05.12.2020)
69. Лукин А. Е. Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных бассейнов — трассеры суперглубинных флюидов // Геофиз. журн. – 2009. – Т.31. – № 2. – С. 61–92.
70. Лукин А.Е. Минеральные сферулы – индикаторы специфического флюидного режима рудообразования и нефтидогенеза. 2013. - Геофизический журнал. – Т. 35. – № 6. – С. 10–53.
71. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия. – 1984. – С. 448.
72. Майстренко В.Н. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей / В.Н. Майстренко, Н.А. Ключев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 323 с.
73. Максимов С.П. Нефтяные и газовые месторождения СССР. – М.: Недра. –1987. – 258 с.
74. Матвеев В.В., Кузнецов В.А. К вопросу о современных методах переработки и утилизации отходов бурения/ В.В. Матвеев, В.А. Кузнецов, М.В. Цеханский // Нефть и газ Сибири. – №3 (28). – 2017. – С. 146–151.
75. Мелахова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: Учебное пособие / Под ред. О.П. Мелеховой, Е.И. Егоровой. – М.: Академия. - 2007. – 288 с.
76. Мельников Н.В. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Мельников Н.В., Якшин М.С., Шишкин Б.Б., Ефимов А.О., Карлова Г.А., Килина Л.И., Константинова Л.Н., Кочнев Б.Б., Краевский Б.Г., Мельников П.Н., Наговицин К.Е., Постников А.А., Рябкова Л.В., Терлеев А.А., Хабаров Е.М., под редакцией Конторовича А.Э. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2005. – 428 с.
77. Мельников С.С., Манакина Е.Е. Хлорелла: Физиологически активные вещества и их использование. – Мн.: Наука и техника, 1991. – 79 с.
78. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) / И.И. Леоненко, В.П. Антонович, А.М. Андрианов, И.В. Безлущая, К.К. Цымбалюк // Методы и объекты химического анализа. – 2010. – Т.5. – №2. – С. 58–72
79. Миков О.А. Оценка техногенного загрязнения почв методом капшаметрии при эколого-геохимическом мониторинге / Диссер. канд. геол.-минер. наук. – Томск, 1999. – 148 с.

80. Минерально-сырьевые ресурсы Томской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/mestorozhdeniya/141467-mineralno-syrevye-resursy-tomskoy-oblasti/> (дата обращения 15.04.2018).
81. Минигазимов Н.С., Минигазимов Р.Ш. Новая информация о токсичности нефтесодержащих отходов // Уральский экологический вестник. – 2014. – №2. – С. 336.
82. Миронов Н.А., Агеев С.В. Использование отходов бурения для строительства автомобильных дорог на территории Оренбургской области // Журнал Актуальные вопросы современной науки, 2014. – № 34. – С. 177–188
83. Миронов Н.А., Усманов И.Р. Использование бурового шлама при строительстве дорог // Электронный журнал Cloud of Science, 2013. – №2. – С. 33–36.
84. Московченко Д.В., Дожорукова С. Л. Последствия буровых работ на Севере Тюменской области // Экология и промышленность России. – 2002. – № 9. – С. 27–30.
85. Музафаров А.М. Культивирование и применение микроводорослей / А. М. Музафаров, Т. Т. Таубаев. – Ташкент: Фан, 1984. – 133 с.
86. Муртазин Д.Г., Пищулева А.В., Губаев А.Р. Применение кластеризации амплитудных спектров в условиях сложно-прогнозируемого геологического разреза по данным сейсморазведки 3D // Ргонефть. Профессионально о нефти. – 2018. – №. 1. – С. 28–32.
87. Некрасова И.Л. Эколого-геохимическая характеристика отходов строительства нефтяных скважин (на примере Пермского Прикамья): диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Пермь. – 2003. – 186 с.
88. Непотребный А.И. Мониторинг содержания тяжелых металлов в почвах нефтяных месторождений южной тайги Томской области // Биология. – 2008. – С. 215–219
89. Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т.6. – №4. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf (дата обращения 01.10.2018)
90. Нехаева В.И. Практический курс общей генетики: учеб.пособие для студентов биологических специальностей педагогических высших учебных заведений / В.И. Нехаева. – 2-е изд., стереотип. – М.: ФЛИНТА, 2011. – 210 с.
91. Нехорошева А.В. Оценка цитотоксичности образцов бурового шлама, собранных на территории амбара, в природных условиях ХМАО-Югры / Киржаков И.Ф., Авдеева И.И., Ахмеджанов Р.Р. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 17. – №5. – 2015. – С. 690–694.
92. О проведении рекультивации и консервации земель [Электронный ресурс]: постановление правительства Российской Федерации от 10.07.2018 N 800; в ред. от 07.03.2019 / Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_302235/ (дата обращения 05.12.2020)

93. Об экологической экспертизе [Электронный ресурс]: федеральный закон № 174-ФЗ от 23.11.95; с изм. и доп. от 31 июля 2020 г. / Официальный сайт компании «КонсультантПлюс». – URL: (дата обращения 05.12.2020)
94. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 15 с.
95. Околелова А.А., Капля В.Н, Лапченков А.Г. Оценка содержания нефтепродуктов в почвах // Научные ведомости. Серия Естественные науки. – 2019. – С. 11.
96. Олькова А.С. Условия культивирования и многообразие тест-функций *Daphnia Magna* Straus при биотестировании // Вода и экология. – 2017. – №1. – С. 63–82.
97. Олькова А.С., Фокина А.И. *Daphnia Magna* Straus в биотестировании природных и техногенных сред // Успехи современной биологии. – 2015. – Т. 135. – №4. – С. 380–389.
98. Особенности геологического строения продуктивного пласта Ю[1] {3-4} Южно-Черемшанского месторождения / А. В. Бобров, С. А. Гладилин // Нефтяное хозяйство. – 2011. – N 3. – С. 22–25.
99. Отчет в области устойчивого развития ПАО «НК «Роснефть» за 2018 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/Rosneft_CSR18_RU_Book.pdf (дата обращения 29.10.2019)
100. Отчет о деятельности в области устойчивого развития Группы «ЛУКОЙЛ» за 2018 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lukoil.ru/InvestorAndShareholderCenter/ReportsAndPresentations/SustainabilityReport> (дата обращения 29.10.2019)
101. Отчеты в области устойчивого развития Газпром за 2018 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gazprom-neft.ru/annual-reports/2018/gpn_csr18_rus11.pdf (дата обращения 29.10.2019)
102. Отчеты в области устойчивого развития Сургутнефтегаз за 2018 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.surgutneftegas.ru/investors/reporting/godovye-otchety/> (дата обращения 29.10.2019)
103. Оценка мутагенных свойств фармакологических средств Издание: Ведомости фармакологического комитета. / Гуськова Т.А., Дурнев А.Д., Журков В.С., Верстакова О.Л., Ингель Ф.И., Ревазова Ю.А., Сычева Л.П., рченко В.В., Танирбергнов Т.Б., Хрипач Л.В., Цуцман Т.Е. – 1998. – N 4. – С. 32–39.
104. Оценка цитотоксичности образцов бурового шлама, собранных на территории амбара, в природных условиях ХМАО-Югры / Нехорошева А.В., Киржаков И.Ф., Авдеева И.И.,

- Ахмеджанов Р.Р. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. – №5. – С. 690–694.
105. Павлова Е.Ю. Оценка экологической безопасности размещения бурового шлама на территории Ханты-Мансийского автономного округа. – Югры // Международный студенческий вестник. – 2015. – С. 676–679.
106. Патент 2133487 (РФ). Способ определения техногенной загрязненности почвенного покрова тяжелыми металлами группы железа (железо, кобальт, никель). Томский политехнический университет; Авторы: Языков Е.Г., Миков О.А. – Заявл. 08.01.98, №98100689
107. Патент № 2303011 (РФ). Строительный материал «буролит» / Пыталев С.В. – Заявл. 11.10.2006; опубл. 20.07.2007
108. Патент № 2378233 (РФ). Способ получения известкового удобрения / Неваленова Т.В., Сафарова В.И., 2008
109. Патент № 2522317 (РФ). Грунтошламовая смесь / Общество с ограниченной ответственностью «Гидромеханизированные работы»; Авторы: Гурьевский Ю.Е., Бухтоярова Я.Ю – № 2013107249; заявл. 20.02.2013; опубл. 10.07.2014.
110. Патент № 2524708 (РФ). Способ переработки бурового шлама / Эль Ю.Я. – Заявл. 19.02.2013; опубл. 10.08.2014
111. Патент № 2298567 (РФ). Способ переработки бурового шлама. Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тюменский государственный нефтегазовый университет"; Авторы: Сивков В.П., Рядинский В.Ю. – Заявл. 03.08.2005; опубл. 10.05.2007
112. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа - Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. – М.: Изд-во ВНИРО. – 2017. – 326 с.
113. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. – М.: ВНИРО, 2001. – 247 с.
114. Пашкевич М.А. Экологический мониторинг: учебное пособие / М. А. Пашкевич, М. А. Куликова. – Санкт-Петербург: Нац. минерально-сырьевой ун-т Горный. – 2013. – 100 с.
115. Пашкевич М.А., Гвоздецкая М.В. Разработка методологии мониторинга экологической опасности отходов бурения. – 2013. – С. 314–317.
116. Пермьяков С.А., Денисенко Е.П., Волков А.И., Попова Т.Д., Куракина А.Н., Шамшурина М.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации, лист о-48 Усть-Илимск, Роснедра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vsegei.com/ru/info/pub_ggk1000-3/Angaro-Eniseyskaya/o-48.php (дата обращения 10.09.2018)
117. Петухов В.Л., Короткевич О.С., Стамбеков С.Ж. и т.д. Генетика. Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: СемГНИ, 2007. – 628 с.

118. Петухова Г.А., Квашнина Ю.М. Адаптивный потенциал *Drosophila melanogaster* при нефтяном загрязнении среды // Вестник Кемеровского государственного университета. 2015. – №1-16 (61). – С. 29–32.
119. Пиковский Ю.И., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Основы нефтегазовой геоэкологии: Учеб. пособие / Под ред. Д-ра геогр. Наук, проф. А.Н. Геннадиева. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 400 с.
120. Пиковский Ю.И.; Косареви́ч И. В., Шеметов В. Ю., Гончаренко А. П. Экология бурения / Под ред. Рябченко В. И. - Мн.: Наука и техника, 1994. – 119 с.
121. Письмо Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ от 27.12.1993 г. №04-25-61-5678 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5189/ (дата обращения 10.03.2018)
122. Письмо Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31 июля 2015 года N 05-12-44/17743 «О направлении разъяснений» [Электронный ресурс]. – URL:
123. Письмо Минприроды России от 9 апреля 2012 г. N 05-12-44/5185 «Об отнесении шламовых амбаров к объектам размещения отходов». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/70213880/> (дата обращения 05.12.2020)
124. Пичугин Е. А. Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду // Молодой ученый, 2013. – №9. – С. 122–123.
125. Пичугин Е.А. Закономерности получения стабилизированных геоэкологически устойчивых грунтов смесей на основе буровых шламов: диссертация ... канд. тех. наук: 25.00.36. – Пермь, 2019. – 183 с.
126. Пичугин Е.А. К вопросу различия буровых и нефтяных шламов / Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд // Экология и промышленность России. – 2017. – Т. 21. – №7. – С. 14–19.
127. Пичугин Е.А. Оценка влияния компонентов, входящих в состав буровых шламов на почву ХМАО-Югры // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2015. – №2. – С. 75–83.
128. ПНД Ф 12.1:2.2.2.3:3.2-03 Методические рекомендации. Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления. Москва. – 2014. – 15 с.
129. ПНД Ф 14.1:2.4.128-98 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых, сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат – 02» – М.: 1998. – 25 с.
130. ПНД Ф 16.1:2.2.2.2.3:3.64-10 Количественный химический анализ почв. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв, грунтов, донных отложений, илов,

осадков сточных вод, отходов производства и потребления гравиметрическим методом – М.: 2010. – 16 с.

131. 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.

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

133. ПНД Ф Т 14.1:2.3.4.10-04 16.1:2.3.7-04 Методика определения токсичности питьевых, природных и сточных вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по измерению оптической плотности тест-культуры водоросли хлорелла (*Chlorella Vulgaris* Beiger). – М.: 2007. – 29 с.

134. Попов Д.Д. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности базальных терригенных отложений венда западной, юго-западной частей Непско-Ботуобинской антиклизы // Известия Иркутского государственного университета, Серия «Науки о Земле». – 2011. – Т.4. – №1. – с. 173–189.

135. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03. – М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003.–154 с.

136. Приказ Министерства природных ресурсов России № 511 от 15.06.2001 г. «Об утверждении Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды» – М. – 2001. – 8 с.

137. РД 118-02-90 Методическое руководство по биотестированию воды. Госкомприрода СССР, 1991. – 47 с.

138. РД 39-133-94. Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на нефть и газ на суше» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003868> (дата обращения 05.12.2020)

139. РД 51-1-96. Инструкция по охране окружающей среды при строительстве скважин на суше на месторождениях углеводородов поликомпонентного состава, в том числе сероводородсодержащих [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003868> (дата обращения 05.12.2020)

140. Рихванов Л.П. и др., Минералого-геохимические особенности Баженовской свиты Западной Сибири по данным ядерно-физических и электронно-микроскопических методов исследования, 2015 – С. 50–63.

141. Рутковская Н.В. Климатическая характеристика сезонов года Томской области. – Томск: Изд-во Томского университета, 1979. – 115 с.
142. Рядинский В.Ю., Соромотин А.В., Денеко Ю.В. Состав и свойства буровых растворов Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета, 2004. – №3. – С. 51-54
143. Савичев О.Г., Бернатонис П.В., Бернатонис В.К. Геохимические условия размещения и утилизации отходов бурения в торфяно-болотных геосистемах Сибири // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 375. – С. 183–186.
144. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды / Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С. Ш. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
145. Самсонов В.В., Ларичев А.И., Чеканов В.И., Соловьев В.В. Особенности геологического строения нефтегазовых комплексов и оценка перспектив нефтегазоносности Южной части Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – №11. – С. 1545–1564.
146. 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: диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-минерал. наук. – Москва. – 2004. – 182 с.
147. Седых В.Н. Откуда в Западной Сибири ямы, полные денег? [Электронный ресурс]: / Наука в Сибири. - №13 (2299). - 2001 – Режим доступа: <http://www.nsc.ru/HBC/article.phtml?nid=41&id=14> (дата обращения: 05.12.2020)
148. Сидорская В.А. Изучение экологических и генетических эффектов ацетилсалициловой кислоты и аскорбиновой кислоты на *Drosophila melanogaster* // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Современные наукоемкие технологии, 2013. – №10. – С. 25 – 27.
149. Сипулинов Р.Б., Карагайчева Ю.В. Оценка токсичности отходов нефтедобычи методами биотестирования / Р.Б. Сипулинов, Ю.В. Карагайчева, Н.А. Шилова, С.М. Рогачева // Промышленная экология. – 2015. – С. 696–699.
150. Славнина Т.П., Пашнева Г.Е., Кахаткина М.И. и др. Почвы поймы Средней Оби. их мелиоративное состояние и агрохимическая характеристика. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1981. – 22 с.
151. Солодовников А.Ю., Соромотин А.В. Опыт утилизации отходов бурения в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – №12. – 2015. – С. 44–48.
152. Соромотин А.В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири: монография. Тюмень: Изд-во тюменского государственного университета. – 2010. – 320 с.

153. Соромотин А.В., Пислегин Д.В. Тяжелые металлы в донных отложениях шламовых амбаров геологоразведочных скважин Западной Сибири // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – №6 – 2015. – С. 514–520.
154. СП 131.13330.2018 «СНИП 23-01-99* Строительная климатология». – М. – 2018. – 113 с.
155. Стратиграфический словарь мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской низменности. Л., «Недра», 1978. – 183 с.
156. Строганов Н.С. Альгицидные свойства полиметаллических руд / Строганов Н.С., Хоботьев В.Г., Капков В.И. / Некоторые проблемы гидробиологии. – М.: Наука – 1968. – С. 153–157.
157. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / А.И. Сысо. – Изд-во СО РАН, 2007. – 276 с.
158. Тевризское газоконденсатное месторождение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.trubagaz.ru/gkm/tevrizskoe-gazokondensatnoe-mestorozhdenie/> (дата обращения 20.02.2018)
159. Терехова В.А. Биотестирование как метод определения класса опасности отходов // Экология и промышленность России, 2003. – С. 27 – 29.
160. Тетельмин В. В., Язев В. А. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – Долгопрудный. Издательский дом «Интеллект», 2009. – 352 с.
161. Технологическая схема разработки Южно-Шингинского нефтяного месторождения: отчет / Зайцева Е.А., Жилина Л.В., Пищулева А.В., Михайлова А.В., Акчуринов А.В., Каешков И.С., Студинский Р.Н., Валитов Р.Ш., Шатровский А.Г., Хазиев А.М., Хрущев В.В., Доктор И.А., Шайкамалов Р.Г., ООО «Газпромнефть НТЦ». – СПб. – 2016. – 330 с.
162. Технологический проект разработки Шингинского нефтяного месторождения: отчет о научно-исследовательской / Бакиев С.Н., Шелепов И.В., Гладких М.Ю., Шабакеев И.Г., Рогожкина С.А., Шатровский А.Г., ООО «Газпромнефть НТЦ». – СПб. – 2017. – 405 с.
163. Топешко В.А. Типы залежей нефти и газа юга Сибирской платформы / В.А. Топешко, Л.В. Рябова // Геология нефти и газа, 2000. – Т.41. – № 6. – С. 896–904.
164. Турсумуратов М.Т., Бекбулатов Ш.Х. Использование шламов в дорожном строительстве / М.Т. Турсумуратов, Ш.Х. Бекбулатов // Вестник НИИ РК – 2010. – №1. – С. 108–115.
165. Тюткова Е.А., Григорьев Ю.С. Чувствительность биотестов на основе водорослей хлорелла и сценедесмус к тяжелым металлам // Экотоксикология. Теоретическая и прикладная экология. – 2014. – №2. – С. 57–60.
166. Усенко Е.В. Оценка генотоксичности объектов окружающей среды // Вестник ХНАДУ. – 2011. – № 52. – 2011. – С. 178 – 181.

167. Филенко О.Ф. Методы биотестирования качества водной среды - М.: Изд-во МГУ, 1989. – 129 с.
168. Филина С.И., Корж М.В., Зонн М.С. Палеография и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. – М.: Наука, 1984. – 35 с.
169. Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. – М.: Протектор, 2001. – 300 с.
170. Фоминых Д.Е., Голещихин А.В., Постернак Т.С. Определение токсичности бурового шлама нефтегазовых месторождений Томской области методом биотестирования // Научно-технический вестник ОАО «НК «РОСНЕФТЬ», выпуск 3, 2014. – С. 66–70.
171. ФР.1.39.2007.03222 Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний (тест-объект – низшие ракообразные дафнии *Daphnia magna* Straus)
172. ФР.1.39.2007.03223 Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей (тест-объект – зеленые протококковые водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bred.)
173. Хамидуллина Г.А., Майский Р.А. Применение технологии инъекции при утилизации буровых отходов с учетом геомеханической модели пласта. Вестник молодого ученого УГНТУ. Нефтегазовое дело. – 2016. – №1. – С. 10–14.
174. Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. – М.: Дело, 2006. – 552 с.
175. Хуснутдинов И.Ш. Методы утилизации нефтяных шламов / И.Ш. Хуснутдинов, А.Г. Сафиулина, Р.Р. Заббаров, С.И. Хуснутдинов // Известия высших учебных заведений. 2015. – Т.58 (10). – С. 10–20.
176. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. -Киев: Наук. Думка. – 1990. – 198 с.
177. Чеснокова, С. М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Методы биотестирования / С. М. Чеснокова, Н. В. Чугай - Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2008. – 92 с.
178. Чупин Е.А. Георгиевская свита в Верхнеюрском разрезе Западной Сибири // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 115-летию со дня рождения академика Академии наук СССР, профессора К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Ф.Н. Шахова. Том I; Томский

политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 420 с.

179. Чупин Е.А. Геофизическая характеристика баженовской свиты и нефтегазоносность разреза северного месторождения // Проблемы геологии и освоения недр. - с. 507 – 509, 2016 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.conference_tpu-2016-C11_V1_p508-510.pdf - (дата обращения: 14.11.2019).

180. Шарф И.В., Шубин С.В. Проблемы утилизации загрязненных вод при строительстве скважин в Восточной Сибири Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2014. – №1. – 14 с. [Электронный ресурс]. – URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/SharfIV/SharfIV_1.pdf (дата обращения 05.12.2020)

181. Шахова Т.С. Влияние нефтеперерабатывающих заводов на эколого-геохимическую обстановку прилегающих территорий по данным изучения снегового покрова (на примере гг. Омск, Ачинск, Павлодар): диссертация ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36. – Томск, 2018. – 192 с.

182. Шемин Г.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская, Байкинская антиклизы и Катангская седловина). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 467 с.

183. Экологический отчет ПАО «Газпром» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/f/posts/72/692465/gazprom-environmental-report-2018-ru.pdf> (дата обращения 20.11.2019)

184. Экологический отчет ПАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ», [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.surgutneftegas.ru/responsibility/ecology/ekologicheskie-otchety/> (дата обращения 20.11.2019)

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

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

187. Язиков, Е. Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири / Е.Г. Язиков // Томск, ТПУ. – 2006. – 46 с.

188. Authigenic and detrital minerals in peat environment of Vasyugan swamp, Western Siberia / M. Rudmin, A. Ruban, O. Savichev, A. Mazurov, A. Dauletova, O. Savinova // Minerals. – 2018. – № 8. – 13 p.

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

190. Ball A. S., Stewart, R. J., Schliephake K. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings // *Waste Management & Research*. – 2012. – Vol. 30. – Is. 5. – P. 457–473.
191. Breuer E. Stevenson A.G., Howe J.A., Carroll J., Shimmield G.B. Drill cutting accumulations in the Northern and Central North Sea: a review of environmental interactions and chemical fate // *Marine Pollution Bulletin*. – 2004. – Vol. 48. – P. 12–25.
192. Eitrheim E. S., May D., Forbes T. Z., Nelson A. W. (2016). Disequilibrium of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Drill Cuttings from a Horizontal Drilling Operation // *Environmental Science & Technology Letters*, 2016. – Vol. 3. – Is. 12. – P. 425–429.
193. Fontana K. B. Rare earth elements in drill cutting samples from off-shore oil and gas exploration activities in ultradeep waters / Fontana K. B. et al. // *Chemosphere*/ - 2021. – Vol. 263. – 9 p.
194. Frost T K., Neff J. Toxicity of drilling discharges // *Report Environmental Risk Management System*. – 2006. – Vol. 4 – 214 p.
195. Geehan T., Gilmour A., Guo Q. The Cutting Edge in Drilling-Waste Management // *Oilfield Review*, 2007. – Vol. 18. – N. 4. – P. 54–67.
196. Guo Q., Geehan T., Pincock M. Managing Uncertainties and Risks in Drill Cuttings Reinjection in Challenging Environments Field Experience from Sakhalin // *SPE/EPA/DOE Exploration and Production Environmental Conference*, Galveston, Texas, March 7-9. – 2005.
197. Hudgins C. Chemical use in north sea oil and gas E&P. *Journal of Petroleum Technology*. – 1994. – P. 67–75.
198. Ifeadi Chris. N. The treatment of drill cuttings using dispersion by chemical reaction (DCR) // *Health, Safety & Environment (HSE) International Conference on Oil and Gas Industry*. – 2004. – 12 p.
199. Jennings B. H. *Drosophila – a versatile model in biology & medicine* // *Materialstoday*. – 2011. – Vol. 14. – Is. 5. – P. 190–195.
200. Kai Ru I. T., Sung Y. Y., Jusoh M., Wahid M. E., Nagappan T. *Chlorella vulgaris*: a perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts // *Applied phycology*. – 2020. – Vol. 1. – No. 1. – P. 2–11.
201. Kujawska J., Cel W. Mobility of metals from drill cuttings // *International Journal of Waste Resources*. – 2017. – Vol. 7. – 3 p.
202. Mikos-Szymańska M., Rusek P., Borowik K., Rolewicz M., Bogusz P., Characterization of drilling waste from shale gas exploration in Central and Eastern Poland // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2018. – Vol. 25. – Is.36. – P. 35990–36001.
203. Nabhani N., Khaje E. Environmental aspect of oil and water-based offshore drilling muds and cuttings // *International Journal of Mechanical And Production Engineering*. – 2015. – Vol. 3. – Is.4. – P. 14–19.

204. Neff J.M. Composition, environmental fates and biological effects of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment: A Synthesis and Annotated Bibliography // Battelle report to Petroleum Environmental Research Forum (PERF) and American Petroleum Institute. – 2005. – 73 p.
205. Neff J. M., McKelvie S., Environmental impacts of synthetic based drilling fluids // Report prepared for MMS by Robert Ayers & Associates. – 2000. – Vol. 64. – 118 p.
206. Okpokwasili G.C., NNubia C. Effects of drilling fluids on marine bacteria from a Nigerian offshore oilfield // Environmental Management. – 1995. – Vol. 19. – P. 923–929.
207. Onwukwe S. I., Nwakaudu M. S. Drilling Wastes Generation and Management Approach // International Journal of Environmental Science and Development. – 2012. – Vol. 3. – №3. – P. 252–257.
208. Patin S. Environmental Impact of the Offshore Oil and Gas Industry. EcoMonitor Publishing, New York. – 1999. – 425 p.
209. Savichev O.G., Matveenkov I.A., Savchenko D.V. Changes in chemical composition of drilling waste water in taiga zone of Western Siberia (the Russian Federation) on the basis of thermodynamic approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science/ – 2016. – Vol. 43. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/43/1/012027>
210. Schaanning M., Hylland K., Lichtenthaler R., Rygg B. Biodegradation of Anco Green and Novaplus drilling muds on cuttings deposited in benthic chambers // Report no. OR-3475, Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Oslo. – 1996. – 90 p.
211. Schaanning M.T., Trannum H.C., Oxnevad S., Carroll J., Bakke T. Effects of drill cuttings on biogeochemical fluxes and macrobenthos of marine sediments. // Marine Ecology Progress Series. – 2008. – Vol. 361. – P. 49–57.
212. Soegianto A., Irawan B., Affandi M. Prawn Toxicity of Drilling Waste and Its Impact on Gill Structure of Post Larvae of Tiger Prawn (*Penaeus monodon*) // Global Journal of Environmental Research. – 2008. – Vol. 2 – P. 36–41.
213. Stuckman M. Y., Lopano C. L., Berry S. M., Hakala J. A. Geochemical solid characterization of drill cuttings, core and drilling mud from Marcellus Shale Energy development // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2019. – Vol. 68. – 14 p.
214. Stuckman M., Lopano C.L., Hakala J.A. Trace metal distribution and mobility in drill cuttings from Marcellus shale gas extraction [Электронный ресурс] // Office of Scientific and Technical Information. – 2016. – URL: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1344480> (дата обращения 23.07.2019)
215. Trannum H. C., Nilsson H. C., Schaanning M.T., Oxnevad S. Effects of sedimentation from water-based drill cuttings and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem processes. // Marine Ecology Progress Series. – 2010. – Vol. 383. – P. 111–121.

Фондовая литература

216. Геологический отчет. Оценка балансовых запасов УВ и ТЭО КИН продуктивных пластов Первомайского месторождения на основе геологического и динамического моделирования. НК ЮКОС ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК», 2003.
217. Геологический отчет. Пересчет запасов нефти, газа, конденсата, сопутствующих компонентов и создание ТЭО КИН Лугинецкого месторождения Томской области. ОАО «НК ЮКОС» ОАО «Томскнефть» ВНК ЗАО «Союзинформ», 2005.
218. Геологический отчет. Пересчет запасов УВ и ТЭО КИН Катыльгинской группы месторождений. ОАО «ТомскНИПИнефть», 2014.
219. Геологический отчет. Пересчет запасов УВ и ТЭО КИН Южно-Черемшанского месторождения. ОАО «ТомскНИПИнефть», 2013.
220. Обустройство Лугинецкого нефтегазоконденсатного месторождения. Кустовая площадка №116 Рабочая документация Технический отчет о выполненных инженерных изысканиях Шифр 2239 – ИИ Том 1, ОАО «ТомскНИПИнефть», 2010.
221. Проектная документация «Строительство разведочной скважины №602 Марковского НГКМ. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Проектная организация ООО «Геотех-КС», 2016. – 143 с.
222. Проект технической документации на новую технологию «Строительство, эксплуатация и рекультивация шламовых амбаров на лицензионных участках ПАО «Сургутнефтегаз» на территории лесного фонда Российской Федерации в среднетаежной подзоне западной Сибири». – 2019. – С. 76.
223. Строительство эксплуатационных скважин на КП №21. 24, 25, 28, 30, 35, 37, 38, 40, 42, 49 Ярактинского НГКМ. Технический отчет по выполнению инженерно-геологических изысканий, ООО «Навигатор», 2014. – 171 с.
224. Технологическая схема разработки Южно-Шингинского нефтяного месторождения: отчет / Зайцева Е.А., Жилина Л.В., Пищулева А.В., Михайлова А.В., Акчурин А.В., Каешков И.С., Студинский Р.Н., Валитов Р.Ш., Шатровский А.Г., Хазиев А.М., Хрущев В.В., Доктор И.А., Шайкамалов Р.Г., ООО «Газпромнефть НТЦ». – СПб. – 2016. – 330 с.
225. Технологический проект разработки Шингинского нефтяного месторождения: отчет о научно-исследовательской / Бакиев С.Н., Шелепов И.В., Гладких М.Ю., Шабакаев И.Г., Рогожкина С.А., Шатровский А.Г., ООО «Газпромнефть НТЦ». – СПб. – 2017. – 405 с.