ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. Н.Л. ДОБРЕЦОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи



Воронина Юлия Сергеевна

Геоэкологические процессы загрязнения приземной атмосферы от хранилищ отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината

1.6.21 – Геоэкология (географические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук
Плюснин Алексей Максимович

Улан-Удэ – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….. 3
ГЛАВА 1. АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ВЫБОР РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ…….. 9
1.1 Понятие об аэрозолях: условия возникновения, распространения, влияния на окружающую среду……... 9
1.2 Аэрозольное загрязнение окружающей среды от отходов горнодобывающего производства……..... 13
1.3 Загрязнение поверхностных и подземных вод в горнодобывающем производстве……..... 17
1.4 Район исследования и его физико-географическая характеристика 18
1.5 Анализ состояния отходов добычи и переработки Джидинского вольфрамо-молибденового комбината…….. 27
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ…….. 32
2.1 Методики анализа и обработки результатов…….. 32
2.2 Методика исследования конденсационной влаги…….. 34
2.3 Методика исследования снегового покрова……... 39
ГЛАВА 3. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ХРАНИЛИЩАМИ ОТХОДОВ ДЖИДИНСКОГО ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА…… 42
3.1 Химический состав конденсационной влаги…….. 43
3.2 Химический состав снегового покрова……..... 53
ГЛАВА 4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПЫЛЬЮ…….. 72
4.1 Вещественный состав твердой фазы снегового покрова на территории города Закаменск……. 72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ……..…….. 88
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……...…… 89
ПРИЛОЖЕНИЕ А Химический состав проб конденсационных вод, отобранных на фоновой территории……... 109
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Химический состав проб свежевыпавшего снегового покрова 115
ПРИЛОЖЕНИЕ В Химический состав проб снегового покрова г. Закаменск и его окрестностей…….. 118

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы.

На сегодняшний день на территории Российской Федерации сосредоточено более 15 тыс. горнодобывающих предприятий, которые оставляют после своей деятельности на длительное хранение отходы добычи и переработки руд [50]. Техногенные отходы под воздействием агентов выветривания подвергаются окислительному разрушению.

В толще складированных отходов накапливаются растворенные и газообразные токсичные вещества, среди которых присутствуют марганец, цинк, кадмий, свинец, окислы серы, азота, сероуглерод [13, 160]. Вместе с газообразными продуктами в атмосферу выделяются минерализованные растворы, формируя аэрозольный ореол загрязнения приземной атмосферы над природно-техногенными системами [14, 105]. Тонкодисперсные частицы от нарушенных горными работами территорий переносятся ветром на значительные расстояния, формируя геохимические особенности территорий, загрязняя почву, снег [18, 44, 164].

Степень разработанности темы. Ранее оценку воздействия отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината на окружающую среду и ее отдельные компоненты проводили многие ученые [48, 49, 64, 65, 102, 132, 133, 142, 151]. Проводились измерения концентрации частиц аэрозоля, в которых был определен основной набор загрязняющих элементов: хром, никель, медь и свинец [153]; производилась приближенно-качественная оценка экологического ущерба компонентам природной среды и населению г. Закаменск [19], детально изучались наиболее экологически опасные зоны г. Закаменск [152].

При оценке степени экологического неблагополучия территории г. Закаменск по критериям нарушения здоровья детей и подростков в связи с воздействием техногенных хвостов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината выявлена зависимость уровней общей заболеваемости, заболеваний органов дыхания и костно-мышечной системы от загрязнения окружающей среды. Наблюдаемые изменения являются результатом выраженного воздействия загрязнения окружающей среды на адаптационные реакции [110].

Тема исследования является актуальной, направленной на оптимизацию взаимодействия природных и техногенных подсистем. Установленные факты аэрозольного загрязнения атмосферы, реализуются при протекании определенных процессов, поэтому для обеспечения экологической безопасности в районе разработки месторождений необходимо выделить и изучить основные из них. Исследованию некоторых из техногенных процессов посвящена представленная диссертационная работа.

Цель работы – установление закономерностей формирования загрязнения приземной атмосферы над хранилищами отходов добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд.

Задачи работы:

– анализ теоретических и методических подходов исследования аэрозольного загрязнения окружающей среды;

– выявление особенностей вещественного состава влаги, испаряющейся из отходов добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд;

– исследование пылевого загрязнения вблизи отходов добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд;

– определение факторов изменения химического состава снегового покрова вблизи хранилищ отходов горнодобывающего производства;

– геоэкологическая оценка загрязнения природно-техногенной системы Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (далее ДВМК).

Объект исследования – процессы и условия формирования загрязнения приземной атмосферы вблизи хранилищ отходов ДВМК.

Предмет исследования – вещественный состав конденсационной влаги и снежного покрова вблизи техногенных отходов ДВМК.

Фактический материал и методы исследования.

Основу диссертационной работы составляют результаты полевых и лабораторных исследований потоков аэрозолей, формирующихся над отходами добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд в зимний и летний период 2021-2023 гг. Для оценки суммарного загрязнения исследуемой территории использован анализ снегового покрова, который включал определение содержаний токсичных компонентов в талой воде и взвешенном материале.

Отбор проб, подготовка их к анализу, обработка результатов проводились лично автором. Было изучено 47 проб снега, 29 проб конденсационной влаги. Произведено 5552 элементоопределения. Из образцов снега были выделены твердые частицы для определения гранулометрического, химического и минерального состава.

Микрокомпонентный состав проб определялся методом индуктивно-связанной плазмы на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 ce в Лимнологическом институте СО РАН, г. Иркутск, макрокомпонентный состав определен на хроматографе LC-20 Prominence в центре коллективного пользования «Геоспектр» ГИН им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ.

Определение гранулометрического состава и размера частиц производилось методом лазерной дифракции, на приборе Fritsch Analysette-22 MicroTec Института почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск.

Химический состав твердого осадка определялся методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе iCAP Pro XP Duo (Termo Fisher

Scientific) Института геологии и минералогии СО РАН им. В.С. Соболева в центре коллективного пользования «Многоэлементных и изотопных исследований», г. Новосибирск.

Минеральный состав дисперсных частиц снегового покрова был изучен по снимкам электронной микроскопии и результатам энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX-элементного анализа) с помощью электронного микроскопа JEM-2010 с системой микроанализа EDAX PHOENIX ГИН им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ.

Обработка исходных данных была произведена с применением программного пакета Microsoft Office Excel 2013, Statistica 8.0. Обработка графического материала осуществлялась с помощью программ Corel Draw и Adobe Photoshop. Карты распределения химических элементов в пыли созданы с помощью программного обеспечения ArcGIS.

Защищаемые положения.

1. Под воздействием влаги, испаряющейся из хвостов добычи и переработки руд Джидинского вольфрамо-молибденового комбината, формируется ореол аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха. Содержание Mn, Fe и Zn в конденсате достигает значений более 1 мг/л, также в нем присутствуют высокие концентрации Ni, Co, Pb, Cd. При длительном хранении отходов горнодобывающего производства в составе аэрозолей увеличивается количество химических элементов, поступающих из вмещающих оруденение горных пород, в результате чего возрастает доля Si, P.

2. На загрязнение снежного покрова территории природно-техногенной системы горнодобывающего производства оказывает влияние испарение высокоминерализованных поровых вод, находящихся в толще отходов производства, и сточных вод, изливающихся из горных выработок.

3. Основные очаги пылевого загрязнения на изучаемой территории связаны с техногенными ландшафтами горного производства. При длительном хранении отходов добычи и переработки руд образуется мелкая фракция продуктов выветривания, которая развевается воздушными потоками на окружающей территории. Пыль содержит в своем составе токсичные элементы (Al, Mn, Fe, Zn, Cu, Pb, Cd), которые представляют опасность для биоты и человека.

Научная новизна.

1. Впервые установлено, что над отходами добычи и переработки Джидинского вольфрамо-молибденового комбината формируется ореол загрязнения атмосферного воздуха аэрозолями, содержащими тяжелые металлы и другие токсичные компоненты, концентрация которых на 1-2 порядка превышает ПДК. Наиболее высокими содержаниями в потоках аэрозолей характеризуются такие микроэлементы как железо, марганец, цинк, алюминий. Эти элементы воздушными потоками рассеиваются на окружающей территории, загрязняя почвы, растительность.

2. В зимний период за счет рассеивания аэрозолей потоками ветра на обширной территории загрязняется снеговой покров. Ореол загрязнения снега составляет десятки квадратных километров. В составе загрязняющих веществ обнаруживаются химические элементы, относящиеся ко второй группе токсичности (Pb, Cd).

3. Установлена зависимость качественного и количественного состава загрязняющих компонентов в аэрозолях и снеговом покрове от времени хранения продуктов переработки руд. Изначально в составе аэрозолей над хранилищами отходов переработки доминируют продукты разложения сульфидной минерализации (S, Al, Zn, Mn), со временем в составе аэрозолей преобладают растворенные продукты выветривания пород (P, Si, Bi).

Практическая значимость.

Выявлены очаги поступления аэрозолей в атмосферный воздух; установлено, что основной вклад в загрязнение атмосферы токсичными химическими элементами вносят отходы переработки руд. Отходы добычи в большей мере загрязняют атмосферу пылью. Созданы карты распределения химических элементов в снеге на исследуемой территории. Полученные данные могут быть применены при разработке мероприятий по ликвидации и минимизации накопленного экологического ущерба на исследуемой территории для создания условий устойчивого развития региона.

Личный вклад автора.

Автор принимала участие в полевых экспериментальных исследованиях на техногенных объектах, отборе проб конденсационной влаги и снега, изучении геолого-географических условий района исследования. Автором произведена пробоподготовка снега и конденсационной влаги, взвешенного вещества для аналитических работ, проведена математическая обработка полученных данных и их теоретическое обобщение.

Достоверность результатов исследования обусловлена количеством проанализированных проб с применением сертифицированных методик и стандартов, использованием современного оборудования и программного обеспечения.

Апробация результатов исследования.

Основные положения и отдельные результаты исследования докладывались и обсуждались на всероссийских, межрегиональных и международных конференциях, таких как: VI Всероссийская молодежная научная конференция, посвященная памяти академика Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ – Горячинск, 2021 г; II Всероссийская научно-практическая конференция «Эволюция и современное состояние ландшафтов и биоты Внутренней Азии», посвященная памяти заслуженного эколога РФ, лауреата золотой медали им. Н.М. Пржевальского, доктора географических наук, профессора А.Б. Иметхенова, Улан-Удэ, 2021 г; XXV Международный симпозиум студентов и молодых ученых имени М.А. Усова,

посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск 2021; XXVI Международный научный симпозиум молодых ученых и студентов имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», посвященный 90-летию со дня рождения Н.М. Рассказова, 120-летию со дня рождения Л.Л. Халфина, 50-летию научных молодежных конференций имени академика М.А. Усова, 2022 г; Всероссийская научная конференция с международным участием молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире», Казань, 2021 г; XVII Международная научно-практическая конференция «Кожа и мех в XXI веке»: технология, качество, экология, образование»», Улан-Удэ, 2021 г; Всероссийская конференция с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез», Чита, 2021 г,; Всероссийская конференция (с участием зарубежных ученых), посвящённая 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона «Современные направления развития геохимии», Иркутск, 2022 г; VI Международная научная конференция «Геодинамика и минерагения Северной Евразии», посвященная 50-летию Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 300-летию Российской академии наук, 100-летию Республики Бурятия и 10-летию науки и технологий, Улан-Удэ, 2023.

Публикации.

По теме исследования опубликовано 14 работ, среди которых 3 в рецензируемых журналах из перечня ВАК и Web of Science.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Тема диссертационного исследования соответствует паспорту научной специальности 1.6.21 Геоэкология (географические науки), пунктам 7: «Геоэкологические аспекты устойчивого развития регионов, функционирования природно-технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенных подсистем»; 14: «Научные основы организации геоэкологического мониторинга природно-технических систем и обеспечение их экологической безопасности, разработка средств контроля состояния окружающей среды».

Структура и объем работы.

Диссертация включает введение, четыре главы, заключение, список литературы и 3 приложения, которые изложены на 122 страницах печатного текста, содержащих 16 таблиц и 42 рисунка. Список литературы насчитывает 190 источников. В приложениях приведен химический состав конденсационных и талых вод снежного покрова, проанализированных по 72 параметрам.

Работа выполнена в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института им Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ.

Благодарности.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.г.-м.н. Алексею Максимовичу Плюснину за совместное обсуждение и обобщение материалов, всестороннюю поддержку и помощь на всех этапах выполнения работы.

За содействие в проведении исследований и постоянное внимание к данной работе выражается благодарность к.г-м.н Александру Викторовичу Украинцеву, к.г.н Михаилу Константиновичу Чернявскому и всем сотрудникам лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института им Н.Л. Добрецова СО РАН.

Также выражается благодарность за ценные советы и помощь к.т.н Аюржанаеву Александру Андреевичу.

ГЛАВА 1. АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ВЫБОР РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Понятие об аэрозолях: условия возникновения, распространения, влияния на окружающую среду

Аэрозольное загрязнение окружающей среды является одной из важнейших проблем техногенно-измененных и урбанизированных территорий страны и, в частности, Сибири и Дальнего Востока [49, 81, 92, 138]. Для определения экологической обстановки районов исследования атмосферный аэрозоль считается одним из важнейших факторов. Крупномасштабный ветровой перенос взвешенных частиц вносит значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха [57].

Вблизи хранилищ промышленных и коммунальных отходов, а также в непосредственной близости с объектами тепло- и гидроэнергетики, добычи полезных ископаемых и их переработки вопрос изучения воздействия аэрозолей на компоненты природы и здоровье человека становится с каждым годом все актуальнее [59].

Под термином «аэрозоли» понимаются дисперсные частицы твердого или жидкого вида, которые находятся во взвешенном состоянии в воздушной среде. Атмосферные аэрозоли классифицируются по нескольким признакам: по источнику возникновения; по размерности и по веществу диспергированных частиц [78].

Причины возникновения аэрозолей подразделяются на естественные и антропогенные.

К естественным причинам относятся природные явления – извержения вулканов, лесные пожары, пыльные бури, туманы и т.п.

Почвы в степях, пустынях и горах являются наиболее мощным источником аэрозолей. Находясь вдалеке от моря и промышленных районов они практически полностью составляют вещественный состав аэрозолей в нижней атмосфере.

Предполагается, что почва составляет примерно 50% всей массы аэрозольных частиц в атмосфере, но тем не менее, химический состав этих частиц не совпадает полностью с химическим составом самих почв, потому как различные минералы и другие почвенные компоненты диспергируются с разной эффективностью.[63].

Одним из главных источников аэрозольных частиц является морская поверхность, которая способствует образованию примерно 20 % от общего объема вещества в дисперсной фазе. Химический состав этих частиц в значительной мере соответствует составу сухих остатков морской воды. [9].

У Голицына С.Г [38] размеры аэрозольных частиц в атмосфере варьируются от кластеров диаметром 1 нм до крупных пылинок и микрокапель воды диаметром до десятков микрон. Для частиц меньше 1 мкм в литературе существует термин «субмикронная» или «тонкодисперсная фракция». По величине различают три класса аэрозольных частиц: мелкодисперсные (радиус (r) <0,1 мкм), среднедисперсные (0,1 мкм <r <1 мкм) и грубодисперсные (r> 1 мкм). Среднедисперсные аэрозоли называются также большими частицами, а грубодисперсные – гигантскими.

Существует также новый, четвертый класс частиц, который называется ультрадисперсными аэрозолями или наноаэрозолями (частицы размером менее 0,01 мкм). Геометрия частиц определяется методом их формирования, а также процессами последующего изменения и их физико-химическими характеристиками. В различных процессах конденсации и дисперсии формируются первичные частицы как в твердом, так и в жидком состояниях. В условиях атмосферы капли жидкости всегда обладают сферической формой, тогда как твердые частицы могут принимать различные очертания. Вторичные частицы возникают при агрегации первичных частиц. При их встречах, столкновениях и последующем слиянии происходит изменение их формы. Иногда под пылью понимаются твердые частицы, размеры которых варьируются от субмикронных (~ 0,01 мкм) до микроскопических (~ 100 мкм), которые легко могут находиться в взвешенном состоянии. Подобные вопросы описаны в работах Грина Х., Ивлева Л.С, Lee E.-H., Sohn B.-J, Zychowski K. E [47, 62, 175, 190].

Промышленные аэрозоли можно разделить по различным характеристикам. В зависимости от метода их образования существует два типа: дисперсионные и конденсационные. Дисперсионные аэрозоли появляются в результате измельчения твердых и жидких материалов. Конденсационные же образуются при конденсации насыщенных паров, а также в процессе газовых химических реакций. Частицы дисперсионных аэрозолей, как правило, гораздо грубее и обладают большей полидисперсностью, они имеют неправильную форму.

В противоположность этому, конденсационные аэрозоли характеризуются более правильной шарообразной структурой [42].

Причины возникновения антропогенных аэрозолей характерны, в первую очередь, промышленными выбросами в атмосферу, основными источниками которых являются металлургические производства, цементные заводы и ТЭЦ, перерабатывающая промышленность (как ее активная деятельность, так и складированные отходы) [122].

Аэрозольные частицы, образующиеся от упомянутых источников, имеют разнообразный химический состав. Наиболее часто встречаются соединения кремния, кальция и углерода, тогда как оксиды металлов, таких как железо, магний, марганец, цинк, медь, никель, свинец, сурьма, висмут, селен, мышьяк, бериллий, кадмий, хром и кобальт, встречаются реже. Эти элементы и их

соединения характерны для выбросов, осуществляемых предприятиями в сферах теплоэнергетики, черной и цветной металлургии, строительных материалов, а также автомобильного транспорта. Пыль, накапливающаяся в промышленных районах, может содержать до 20 % окислов железа, 15 % силикатов и 5 % сажи, в дополнение к примесям различных металлов, таких как свинец, ванадий, молибден и мышьяк, среди прочих [109].

Органическая пыль содержит множество химических элементов, среди которых алифатические и ароматические углеводороды, а также кислоты в виде солей. Она формируется в результате сжигания остатков нефтепродуктов и процесса пиролиза на предприятиях, занимающихся переработкой нефти, нефтехимией и другими схожими областями [68].

Концентрации аэрозолей варьируются в широких пределах: от 10 мг/м³ в чистом воздухе до 210 мг/м³ в промышленных зонах. Наиболее значимым для биосферы считается аэрозоль антропогенного происхождения — свинец, чьи концентрации колеблются от 0,000001 мг/м³ в незаселенных районах до 0,0001 мг/м³ в застроенных территориях. В городских условиях уровень свинца значительно выше и составляет от 0,001 до 0,03 мг/м³.

Аэрозольные потоки оказывают воздействие не только на атмосферу, но и на стратосферу, что приводит к рискам разрушения озонового слоя и изменению его спектральных характеристик. В стратосферу аэрозоли попадают благодаря выбросам сверхзвуковых самолетов; помимо этого, существуют аэрозоли и газы, которые диффундируют в стратосферу, влияя на её состав [70, 189].

В атмосфере преобладает техногенный газ - сернистый ангидрид (SO2). Хотя его выбросы в окружающую среду имеют значительные масштабы, этот газ имеет короткий срок жизни (примерно 4-5 суток). В отличие от углекислого газа, сернистый ангидрид представляет собой малостойкое химическое соединение. Влияние коротковолновой радиации от солнца способствует его быстрой трансформации в серный ангидрид. При взаимодействии с водяным паром серный ангидрид преобразуется в сернистую кислоту, что приводит к образованию известных кислотных дождей [46].

Одним из значительных аэрозольных загрязнителей атмосферного воздуха являются как насыщенные, так и ненасыщенные углеводороды, содержащие от одного до трех атомов углерода. Эти углеводороды легко подвержены разного рода химическим изменениям, включая окисление, полимеризацию и реакциям с другими атмосферными загрязнителями под воздействием солнечной радиации. Указанные химические реакции приводят к образованию пероксидных соединений, свободных радикалов, а также соединений углеводородов с оксидами азота и серы. Наиболее значимым следствием этих процессов является образование аэрозольных частиц [181]. Некоторые метеорологические условия способствуют образованию значительных скоплений опасных газовых и аэрозольных загрязнителей в нижних слоях атмосферы. Чаще всего такие явления наблюдаются, когда в воздухе, находящемся непосредственно над источниками

выбросов, возникает инверсия — когда слой холодного воздуха располагается ниже теплого. Это явление затрудняет перемещение воздушных масс и предотвращает подъем загрязняющих веществ. В результате вредные выбросы скапливаются ниже инверсионного слоя, и их концентрация у поверхности земли значительно увеличивается [69].

Доказано, что вредные вещества, находясь во взвешенном состоянии, загрязняют приземный слой воздуха и подстилающую поверхность, что приводит к угрозе поступления вредных веществ в организм человека, животных и растений. Перенос примесей в воздушных массах настолько динамичен, что последствия этих процессов сказываются на окружающей среде практически сразу [63].

Образование промышленных аэрозолей напрямую связано с производственными процессами конкретной индустриальной отрасли.

Свойства промышленных аэрозолей определяются размерами твердых или жидких частиц, находящихся в взвешенном состоянии в дисперсной среде, которые могут варьироваться в диапазоне от 10^{-7} до 10^{-1} см. Наибольшую угрозу для здоровья человека представляют частицы размером менее 5 мкм, которые ингаляционно проникают в человеческий организм. В зависимости от их химической природы такие частицы могут либо внедряться в легочные ткани, вызывая различные заболевания дыхательных путей, либо всасываться в кровь и выводиться из организма. Частицы размером более 5–7 мкм, как правило, задерживаются в верхних отделах дыхательной системы, что облегчает их удаление через носовую слизь во время дыхания или чихания [190].

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, взвешенные частицы, особенно те, что имеют размеры менее 10 мкм (PM10 и PM2.5), классифицируются как опасные загрязнители воздуха, оказывающие значительное влияние на здоровье населения [89, 177].

Аэрозольные частицы имеют свойство адсорбировать на своей поверхности различные соединения, в том числе металлы [37], а частицы диаметром меньше 2,5 мкм, содержащие в себе соединения металлов, имеют свойство разрушать целостность мембраны, проникать в эндотелиальные клетки сосудов, инициировать развитие сердечно - сосудистых заболеваний [166]. Свойство тяжелых металлов производить активные формы кислорода в дыхательной системе человека делает их опасными для живых организмов [167, 174]. Проведенные токсикологические исследования показали, что воздействие аэрозольных частиц на здоровье человека напрямую зависит от их химического состава [138].

Характеристики миграции, поведение и свойства загрязняющих веществ в атмосфере во многом зависят от их фазового состояния, а также от способности растворяться в осадках и вступать в химические реакции с другими веществами. Физико-химические характеристики аэрозолей влияют на их время пребывания в атмосфере, которое, как правило, увеличивается с

высотой выброса и с ростом дисперсии частиц аэрозоля. Мелкодисперсные аэрозоли, такие как сульфаты и нитраты, образующиеся из сернистого газа и окислов азота, остаются в нижней тропосфере в течение нескольких дней, обычно не превышая пяти суток. [10].

Крупные аэрозоли могут находиться в нижнем слое тропосферы обычно не дольше нескольких минут. Время, в течение которого мелкие частицы остаются в верхней тропосфере, достигает 10-20 дней, а в стратосфере — свыше года [130].

По мнению Seinfeld J.H, типичные расстояния переноса от источников выброса для веществ с небольшим средним временем пребывания в атмосфере (десятки минут и часы) составляют единицы и десятки километров, со средним временем (десятки часов, дни) – сотни и тысячи километров [184]. Для веществ с долгим сроком жизни (месяцы и годы) загрязнение становится глобальной проблемой, так как загрязненный воздух способен многократно огибать земной шар [22, 36, 94].

1.2 Аэрозольное загрязнение окружающей среды от отходов горнодобывающего производства

Проблема складирования горнопромышленных отходов на сегодняшний день занимает особое положение при геоэкологической оценке индустриальных территорий. Ежегодно по всему миру происходит перемещение горных масс более 100 млрд. тонн, что приводит к формированию техногенных ландшафтов в виде отвалов горных пород, отходов добычи и переработки руд, золошлаков и шламов [90].

В настоящее время горнодобывающая отрасль промышленности в России – это один из крупнейших источников загрязнения окружающей среды. Так, за один год в атмосферу выбрасывается около 50 млн тонн токсичных элементов и их соединений, происходит сброс загрязненных сточных вод в водоемы более 2 млрд $м^3$ и складируются масштабные площади твердых отходов более 8 млрд тонн [41].

К последствиям перечисленных явлений относятся эрозия почв, сокращение площадей сельскохозяйственного пользования, загрязнение почв, поверхностных и подземных вод и возникновение горно-геологических процессов и явлений, носящих катастрофический характер [183]. Отходы добычи и переработки полезных ископаемых формируют техногенный рельеф с карьерами и отвалами. Промышленные стоки с высокой минерализацией приводят к деградации подземных вод [170]. Газопылевые выбросы при обогащении и добыче руд, дефляции с отвалов являются причиной загрязнения атмосферного воздуха, почвы, поверхностных вод [129]. Основные группы поллютантов окружающей среды это высокие концентрации халькофильных и литофильных элементов, тяжелые металлы и их окислы, редкоземельные элементы, которые,

попадая в организм, могут депонироваться в отдельных органах и тканях, представляя потенциальную угрозу для здоровья населения.

Отходы горнодобывающего производства занимают масштабные площади. По данным Росстата (https://rosstat.gov.ru/) отходы горнодобывающей отрасли с 2016 года по 2021 год увеличились вдвое. На рисунке 1 представлена статистика отходов горнодобывающей промышленности по некоторым отраслям.

Наибольшая часть отходов образуется при добыче и переработке металлических руд, угля и торфа. Добыча сырой нефти по статистике, вероятно, сильно недооценена (в среднем 8182 т/год), поскольку вред наносится как от проникновения нефтепродуктов в почву и грунтовые воды, так и в виде испарений в атмосферу. Например, только с одного Туймазинского нефтегазового месторождения в атмосферу попадает до 123 т нефтепродуктов ежегодно [82]. Также существенное влияние оказывает добыча нерудных полезных ископаемых – глины, песка, гравия, калийных солей и т.д.).

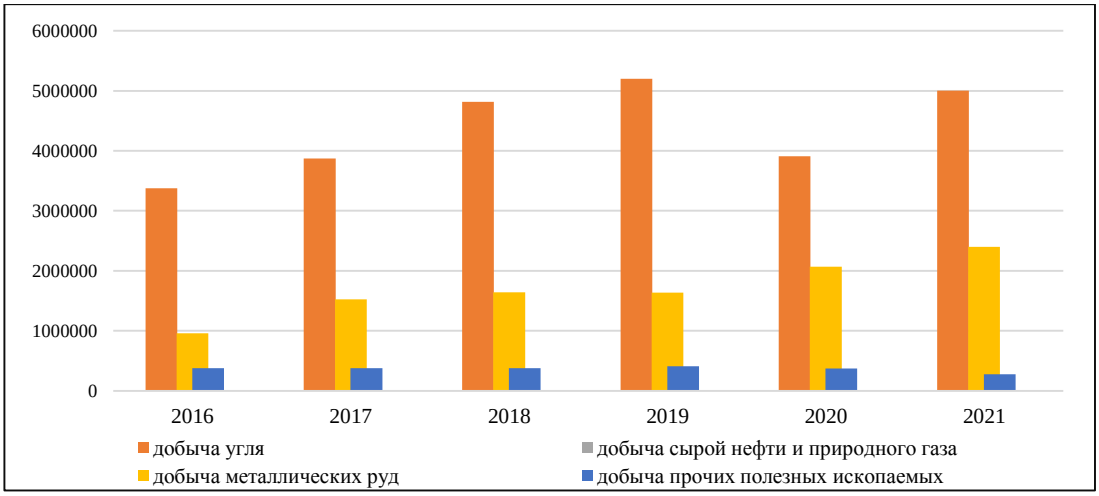


Рисунок 1 – Статистика образования промышленных отходов в горнодобывающей отрасли, (т/год)

Комплексные геохимические исследования по оценке состояния окружающей среды на ряде месторождений, описанные в работах Гареева А.М и Саета Ю.Е [35, 126] показывают, что наиболее интенсивное загрязнение окружающей среды связано со следующим и миграционными цепями:

1. Пылевые выбросы в процессе открытых горных работ, загрязняющие атмосферу и формирующие значительные геохимические аномалии в почвах;

2. Дефляция и размывание хвостохранилищ обогатительных фабрик, образующие интенсивные потоки рассеяния в водных системах и сравнительно локальные ореолы рассеяния в почвах;

3. Сток воды из подземных горных выработок и карьеров, приводящий к образованию длительных потоков в водных системах;

4. Сбросы из обогатительных фабрик после очистных сооружений, загрязняющие водные ресурсы;

5. Рассеяние рудных материалов при транспортировке, ухудшающее состояние почвы;

6. Организованные и неорганизованные выбросы в атмосферу при процессах обогащения;

7. Природные геохимические аномалии – вторичные ореолы рассеяния в почвах, потоки рассеяния в поверхностных водотоках, гидрогеохимические аномалии в подземных водах.

Одним из основных видов воздействия складированных отходов горно-обогатительного производства на окружающую среду являются рассеянные аэрозольные потоки, которые активно взаимодействуют с атмосферными осадками, мигрируют в составе воздушных масс, поверхностных и подземных вод, аккумулируются в почвах.

Аэрозольные частицы, возникающие в результате горнодобывающего производства, представляют собой полидисперсные системы и делятся на следующие категории:

– ультратонкая пыль, состоящая из частиц размером менее 1 мкм (гравитационное осаждение таких частиц слабо выражено из-за влияния броуновского движения);

– среднедисперсная пыль, в которой размеры частиц колеблются от 0,1 до 10 мкм (осаждение этих частиц происходит с постоянной скоростью в статичном воздухе, что зависит от их размера и плотности);

– грубодисперсная пыль, имеющая частицы размером более 10 мкм (в неподвижной атмосфере такие частицы оседают под действием гравитации, что преобладает над эффектами броуновского движения). Данная классификация описана у Калаевой С.З [67].

На сегодняшний день, по проблеме влияния отходов горнодобывающего производства на окружающую среду проведен ряд исследований [73, 147, 108, 119].

Изучение физических, химических и миграционных особенностей атмосферных аэрозолей проводились различными учеными научно-исследовательских организаций. Рассматривались как комплексное влияние на окружающую среду, так и отдельно воздействие на отдельные компоненты природы: на атмосферу, почву, климат, подземные и поверхностные воды, животный и растительный мир, это отражено в публикациях [6, 40, 99].

Не менее опасными в горнодобывающем производстве источником ядовитых газов и пыли служат взрывные работы, содержащие в себе тонны условной окиси углерода и техногенной пыли; измельчение и переработка добываемого сырья. Частицы аэрозоля, возникающие из указанных источников, имеют разнообразный химический состав, включающий соединения таких элементов, как кремний, сера и углерод, а также оксиды металлов, таких как

марганец, железо, магний, цинк и другие [122]. В зависимости от площадей техногенно-измененных территорий формируются представления об ореолах аэрозольных загрязнений нарушенных земель. В настоящее время площади рассеивания аэрозолей на горнодобывающими предприятиями изучаются с помощью спутниковых наблюдений [86], а на территории Сибири проходят комплексные мониторинговые исследования, позволяющие отследить газопылеаэрозольные эмиссии различных источников происхождения [81].

По словам Берлянда [11], пространственное распределение аэрозольного загрязнения определяется совокупностью множества факторов, наиболее важными из которых являются местоположение источника загрязнения, интенсивность выбросов, рельеф местности и метеорологические условия.

В многочисленных работах [95, 137, 138, 148] выявлены уровни пылевой нагрузки на некоторых урбанизированных территориях, теоретически обоснована оценка влияния аэрозольных потоков в атмосфере на состояние атмосферного воздуха. Это позволяет прогнозировать техногенное воздействие на окружающую среду.

Исследования характера и масштабов влияния на окружающую среду отходов горнодобывающих предприятий устанавливают, что процессами механического переноса токсичных компонентов являются пылеаэрозольная и водная миграция растворенных форм тонкодисперсных частиц. Выявлено, что хранение отходов горнодобывающей промышленности приводит к формированию зон, наложенных атмо-, сноу-, лито-, гидро- и биогеохимических аномалий (потоков), которые в сочетании с естественными ореолами месторождений создают сложную эколого-геохимическую обстановку в зонах влияния отходов добычи и переработки руд. На рисунке 2 представлена схема формирования геохимических ореолов на участках размещения отходов добычи и переработки руд [127].

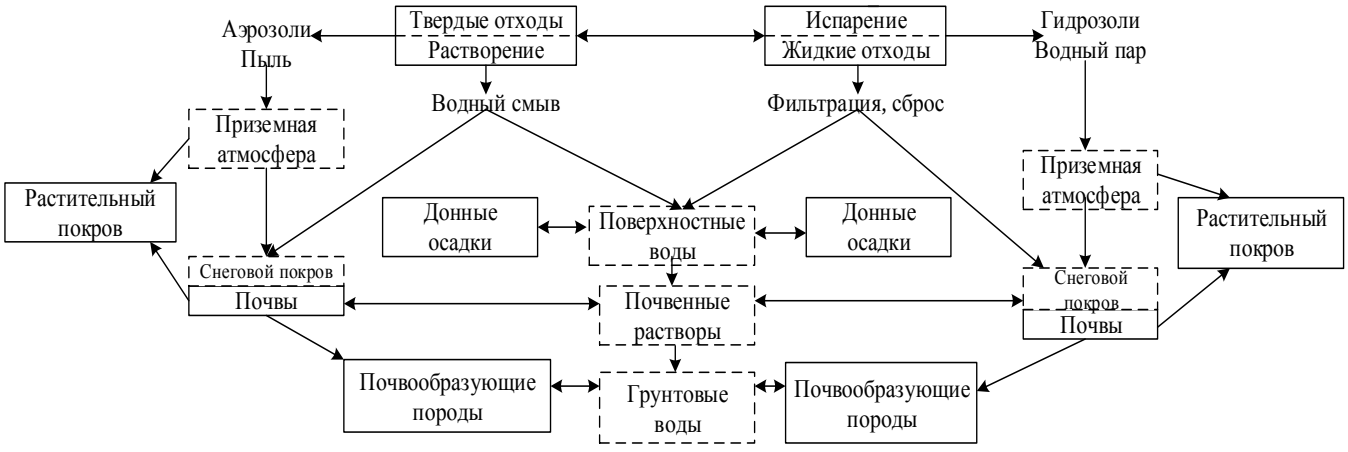


Рисунок 2 – Схема формирования геохимических ореолов на участках размещения отходов горнодобывающего производства (штрихами обозначены нестабильные ореолы)

В миграционных особенностях аэрозолей в окрестностях отходов горнодобывающих производств отмечается существенное значение эолового переноса токсичных компонентов в окружающую среду – пространственная миграция аэрозолей интенсивнее проходит под влиянием преобладающих ветров на конкретной территории [113]. Так же следует отметить, что загрязнение атмосферы газопылевыми выбросами горнодобывающих производств зависит от геологической природы вмещающих месторождение формаций, от специфики горного предприятия [134].

Перенос химических элементов в атмосфере играет большую роль в процессах миграции элементов в природе [173]. Компоненты атмосферного переноса могут присутствовать в форме газа, дисперсных частиц и сорбированных на них ионах [176].

Когда речь идет о переносе химических элементов из растворов в атмосферу, основными механизмами перемещения растворенных веществ из водных сред в воздух можно считать:

1. Механический выброс водяных капель, известный как капельный унос;

2. Перенос растворенных веществ в форме летучих соединений;

3. Перемещение растворенных веществ за счет их растворимости в водяном паре.

а сегодняшний день наиболее детально изучены первые два механизма, и они принимаются за главные. Тем не менее, исследование третьего механизма, хотя и имеет значительно меньшую интенсивность, также остается весьма актуальным [20].

1.3 Загрязнение поверхностных и подземных вод в горнодобывающем производстве

Добыча и переработка руд сопровождаются деградацией и частичной потерей земельных, лесных, водных ресурсов, ухудшением качества среды обитания.

Воздействие на водные ресурсы при горнорудном производстве выражается в изменении водного режима, загрязнении поверхностного и подземного стоков и т.д. Наиболее отрицательным является истощение и загрязнение подземных и поверхностных вод.

Процесс изменения водного режима происходит, в первую очередь, вследствие осушения месторождений, отвода поверхностных вод, снижением уровня подземных вод [94].

Процесс разработки месторождений сопровождается строительством водозаборных сооружений для обеспечения водоснабжением, мелиорации территорий. Внедрение загрязняющих веществ в водоносные горизонты происходит непосредственно через негерметичные скважины, подтягиванию к водозаборным скважинам некондиционных загрязненных или минерализованных подземных вод, морских вод и рассолов [179]. При строительстве и эксплуатации карьеров препятствием служат подземные и поверхностные воды:

происходят деформации горных выработок, снижается производительность оборудования, усложняется производство буровзрывных работ, поэтому возникает необходимость осушения месторождений полезных ископаемых для обеспечения возможности их разработки [1].

Закрытие горнорудных месторождений не всегда является решением экологических проблем. Появляются затопленные шахты и карьеры, имеющие выходы кислых, высоко минерализованных подземных вод на поверхность, вследствие чего ухудшается качество пресных вод [39].

Техногенно-минеральные образования являются одним из ведущих факторов, негативно влияющих на окружающую среду в горнопромышленных регионах. Гидрогеологические проблемы выражаются в формировании техногенного ландшафта; активизации геохимических и геомеханических процессов; деформировании массива горных пород и формировании его новых свойств; изменении условий питания-разгрузки подземных вод; увеличении скорости массо-водообмена; изменении направления потоков энергии и вещества; изменении условий взаимосвязи с поверхностной гидросферой [123, 124, 125].

Гипергенные процессы и их физические и геохимические особенности определяют степень выветривания сульфидных минералов, что приводит к формированию кислой среды подземных и поверхностных вод. Для зоны гипергенеза характерна повышенная геохимическая подвижность химических элементов, активные процессы их рассеивания и концентрирования, в ней происходит разрушение и переотложение минералов [162].

Изучение воздействия горнорудного производства на подземные и поверхностные воды позволяет выявить закономерности развития и преобразования гидросферы. Анализ механизмов и процессов в системе вода-порода способствует спрогнозировать последствия негативного воздействия горнодобывающих производств на гидроресурсы.

1.4 Район исследования и его физико-географическая характеристика

Изучение загрязнения приземной атмосферы проводилось в Закаменском районе Республики Бурятия.

Закаменский район располагается в юго-западной части Республики Бурятия вдоль границы с Монголией (рисунок 3).

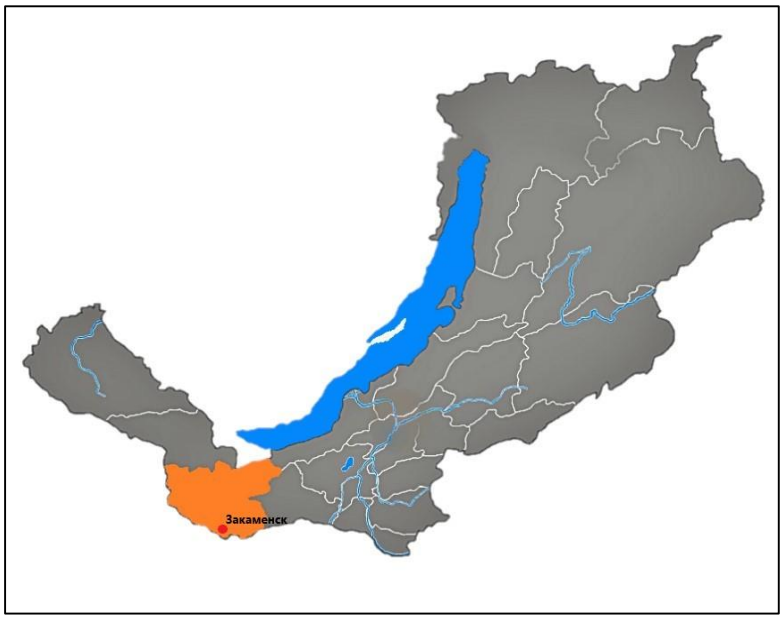


Рисунок 3 – Расположение Закаменского района на схеме Республики Бурятия

Ландшафт

Город Закаменск расположен в юго-западной части Селенгинской Даурии и представляет собой регион с сильно пересечённым среднегорным рельефом.

Наиболее значимой орографической единицей в этой местности является Джидинский хребет. Он тянется в субширотном направлении и служит государственной границей с Монголией. Водораздел этого хребта образует зигзагообразную линию высоких, плоских вершин, которые чередуются с широкими седловинами. Высота главного водораздела варьируется от 1600 до 1800 метров, в то время как относительные высоты наиболее приподнятых участков по сравнению с дном долин небольших рек достигают 300-400 метров, иногда поднимаясь до 600-700 метров [88].

Северная часть района занята Ключевским хребтом, который представляет собой южный отрог хребта Малый Хамар-Дабан. Абсолютные высоты водораздела Ключевского хребта постепенно понижаются с запада на восток – от 1750-1800 метров до 1600-1650 метров, в то время как абсолютные высоты вершин водоразделов по сравнению с дном долин речек увеличиваются с 200-250 метров до 400-450 метров. Район исследования представлен на рисунке 4. Наиболее крупными отрицательными формами рельефа являются долины рек Джида (ширина долины изменяется от нескольких сотен метров до 2,5-3,5 км) и Модонкуль (правый приток р. Джиды), с многочисленными лево- и правобережными притоками [140].

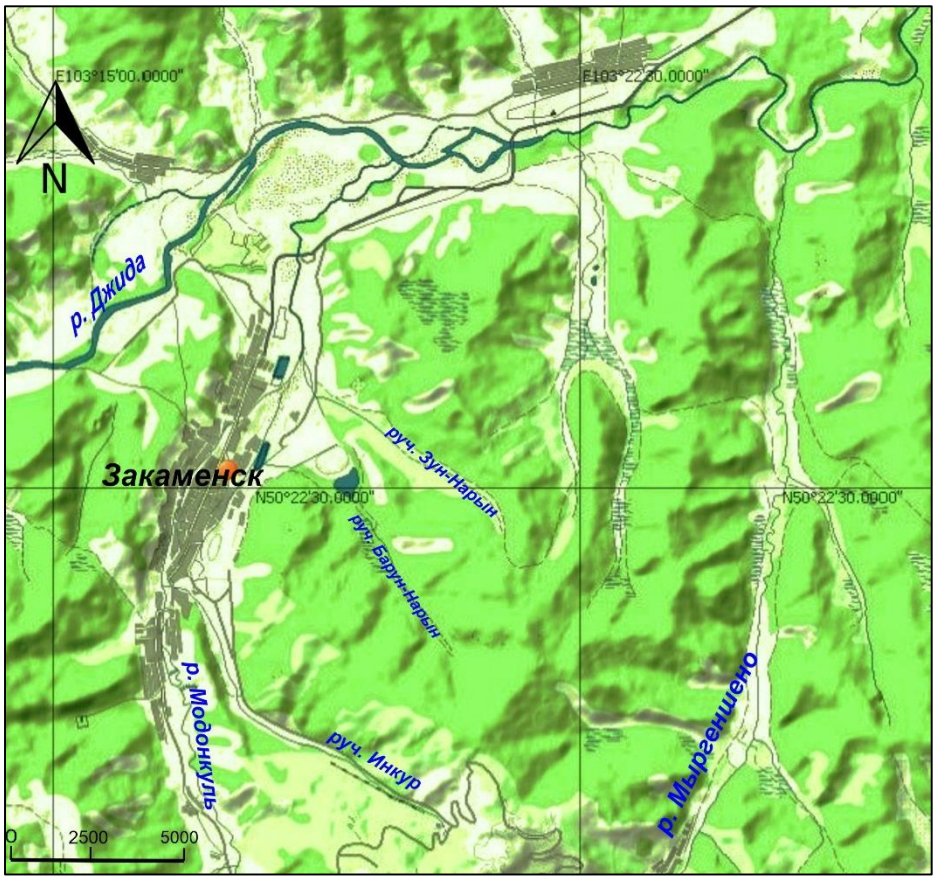


Рисунок 4 – Топографическая карта территории района исследования

Территория г. Закаменск полузакрытая, предгорного характера с перепадом отметок от 1080 до 1280 м и общим уклоном к западу. Рельеф на участке имеет много микроформ, образованных деятельностью человека. Растительный покров – лес твёрдых пород (лиственница, береза) кустарник и травянистый покров степного характера. Согласно ландшафтной карте юга Восточной Сибири [88] рассматриваемая территория относится к горно-таежным южносибирским геосистемам (рисунок 5).

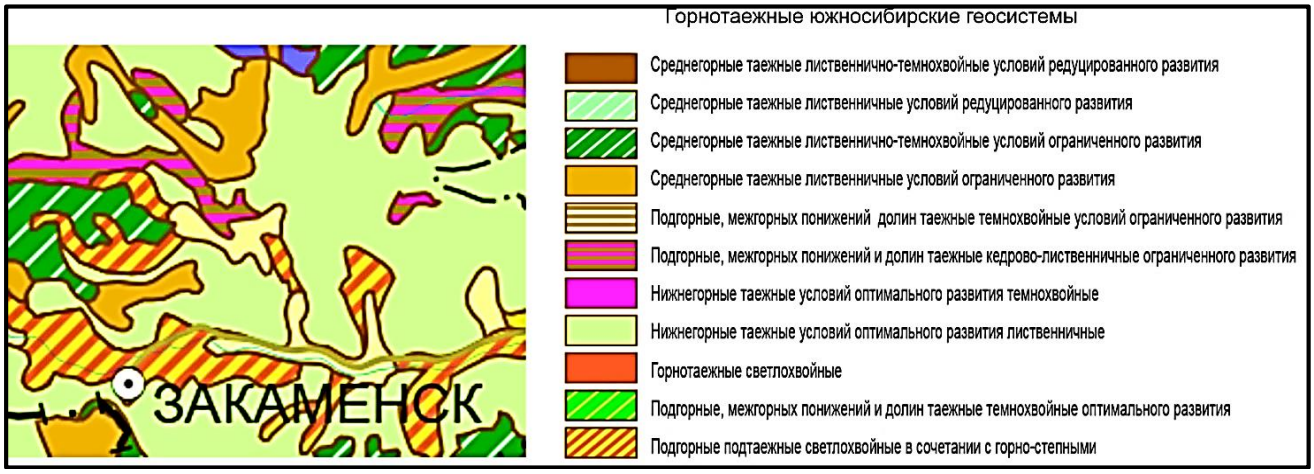


Рисунок 5 – Схема ландшафтного строения района исследования

Гидрография представлена небольшими ручьями Зун-Нарын и Барун-Нарын, Инкур которые заполняются водой во время осадков, реками Модонкуль, Мыргеншено и основной водной артерией – рекой Джида [96].

По набору ландшафтов территория типична для данной природной зоны. Природные процессы, вызывающие изменения ландшафтов, усиливаются деятельностью человека. Нарушения носят преимущественно площадной характер [131].

Рельеф и почвенный покров

Основные элементы рельефа рассматриваемой территории представлены хребтами субширотного направления и узкими межхребтовыми структурно-денудационными понижениями.

С учётом ряда факторов, влияющих на формирование рельефа (связь древних и современных тектонических структур, характер субстрата, степень расчленения и ведущие экзогенные процессы) на территории г. Закаменск можно выделить несколько типов рельефа:

– массивное среднегорье с четвертичными поверхностями гольцового выравнивания, активными нагорными и солифлюкционными террасами – этот тип рельефа сохранил лишь отдельные участки в центральных частях Джидинского и Ключевского хребтов (верховья р. Хуртуги, Модонкуля и Айнека);

– расчленённое среднегорье с отпрепарированными элементами древних складчатых структур, с четвертичными поверхностями гольцового выравнивания, активными нагорными и солифлюкционными террасами, с мягкими формами водоразделов – приурочен к площади развития эффузивно-осадочной толщи кембрия;

– расчленённое среднегорье с дробно-расчленёнными гравитационно-денудационными и осыпными склонами долин и водоразделов – этот тип рельефа развит отдельными дайками на склонах Джидинского и Ключевского хребтов;

– флювиальный пологосклонный рельеф межхребтовых структурно-денудационных понижений – к этому типу рельефа отнесены участки, приуроченные к долине р. Джиды, где ведущими факторами-оформителями являются плоскостной смыв и аккумуляция под действием временных потоков. Здесь развиты овраги, рытвины и промоины [98].

На формирование разновидностей почв оказывают влияние основные факторы почвообразования: климатические, геологические, геоморфологические, биогенные и антропогенные.

Основное влияние на состояние почвенного покрова территории г. Закаменск в последние десятилетия оказывает антропогенный фактор, который выражается в многолетней деятельности обогатительных и добывающих производств, распашке и переводе земель в залежь, вырубках и пожарах.

Почвы района исследования формируются на элюво-делювии плотных пород и на аллювии руч. Зун-Нарын и относятся к двум стволам: постлитогенному и синлитогенному. Среди почв постлитогенного ствола выделяются почвы: криозем грубогумусовый, криозем грубогумусовый перегнойный, серая метаморфическая пирогенная, намытая слаборазвитая дерново-серая лесная на аналогичной глееватой погребенной почве. К почвам синлитогенного ствола относится аллювиальная глеевая [141].

Климатическая характеристика

Мониторинг климатических условий в зоне изучения проводят метеостанции, находящиеся в населенных пунктах Санага и Цакир. Эти метеостанции находятся под управлением Бурятского Центра гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды.

Основные климатические характеристики представлены по метеостанции Цакир, наиболее репрезентативной для г. Закаменск.

Закаменский район находится в континентальной восточно-сибирской области умеренного климатического пояса. Здесь наблюдается резко-континентальный климат, с долгими холодными зимами и коротким, но жарким летом.

В зимний период над Закаменским районом доминирует стабильная область высокого давления, известная как сибирский антициклон. Это явление приводит к преобладанию холодной, малооблачной погоды с незначительными осадками и активными процессами выхолаживания. Зима суровая и затяжная, а самым холодным месяцем считается январь, когда средняя температура воздуха за многолетний период составляет – 25,4 °С. Минимальная зарегистрированная температура в городе Закаменск достигает 49 °С. [96].

В зимний сезон активность циклонов проявляется в ограниченной мере. Устойчивый слой снега формируется в первой половине ноября, а его разрушение наблюдается в конце второй и начале третьей декады марта. Общее количество дней с установленным снежным покровом составляет 148. Средняя высота снежного слоя невелика и колеблется в пределах 5-10 см.

Весна прохладная, зачастую поздняя сухая и ветреная. Зафиксированный переход температуры к значениям выше 0°С обычно происходит в середине апреля. В этот период наблюдается переменчивость погоды. Частые изменения в циклональной активности приводят к заметному усилению ветров. Интенсивный солнечный теплообмен в весенние месяцы способствует быстрому увеличению температуры воздуха. Последние заморозки весной могут сохраняться вплоть до первой декады июня. В некоторых случаях отрицательные температуры ночью могут фиксироваться даже в июле. Средняя длительность безморозного интервала составляет около 75 дней.

Лето в данном районе отличается кратковременностью и теплом, а иногда даже знойной погодой. Средняя температура воздуха в июле составляет +15,8 °С. Максимально возможная

температура может достигать +38 °С. В этот сезон наблюдается усиление активности циклонов. На это время года приходится основная часть годового количества осадков – около 75 %, которые, в основном, проявляются в виде интенсивных дождей. Во второй половине лета в Закаменский район поступает влажный воздух с южных и юго-западных направлений, что приводит к резкому ухудшению погодных условий с сильными ливнями, градом и порывистым ветром. В конце августа существует вероятность первых заморозков.

Осень бывает долгой и солнечной. Ночные температуры могут опускаться ниже нуля, в то время как в течение дня воздух прогревается до 10-15 °С, а в некоторые сентябрьские дни он может достигать 20 °С. Устойчивое снижение среднесуточной температуры воздуха ниже 0 °С наблюдается в первой декаде октября [96].

Среднегодовое количество осадков в городе Закаменск составляет 406 мм. Большая часть осадков выпадает в теплый период, с мая по сентябрь, достигая 370 мм, при этом дожди имеют ливневый и обложной характер. Наивысший показатель осадков зафиксирован в июле (124 мм), в то время как наименьшие значения наблюдаются с декабря по февраль (2-3 мм). В течение года фиксируется 42 дня с грозами и 2 дня с градом.

В начале летнего сезона состав осадков включает натриево-магниевый хлоридно-гидрокарбонатный, а поздней осенью и зимой – натриево-кальциево-магниевый гидрокарбонатно-сульфатный. Минерализация этих осадков колеблется от 0,01 до 0,02 г/л.

Климат данного региона характеризуется постоянной сухостью воздуха на протяжении всего года, а средняя относительная влажность остается почти неизменной в разные сезоны. Максимальное значение средней относительной влажности наблюдается в августе (79%), а минимальное — в мае (52%) [97].

Ветровой режим изменяется в зависимости от времени года. Метеорологические данные, собранные в селе Цакир, в основном отражают условия в долине реки Джида, которая значительно влияет на направление ветра. В зимний период преобладают западные ветры, в то время как ветры из других направлений фиксируются лишь в редких случаях. С приходом весны увеличивается количество восточных ветров, и в летние месяцы они начинают дуть так же часто, как и западные. Осенью наблюдается постепенное снижение восточных ветров.

На протяжении всех сезонов отмечается высокая частота штиля, с максимальной долей штиля, достигающей 52 % в зимние месяцы[96].

Среднегодовая скорость ветра составляет 1,2 м/с. Наивысшие показатели скорости ветра наблюдаются в апреле и мае, достигая 2,1 м/с. Минимальные значения фиксируются в декабре и январе [141].

По метеоусловиям, благоприятным для рассеивания вредных примесей в атмосфере, территория г. Закаменск относится к зоне опасного потенциала загрязнения [131].

Поверхностные воды и подземные воды

Водные потоки в исследуемом районе принадлежат водосборному бассейну реки Джида, которая является правым притоком реки Селенга. Река Модонкуль выступает правым притоком Джиды, а ручьи Барун-Нарын и Зун-Нарын сливаются, образуя ручей Нарын, который также является правым притоком для реки Модонкуль.

Модонкуль берёт начало на северных склонах Джидинского хребта и впадает в реку Джиду справа, на расстоянии 383 километров от её устья. Длина реки составляет 38 километров, а площадь водосборного бассейна равна 190 квадратным километрам.

Модонкуль – горная река. На всем своем протяжении она протекает среди гористой, сильно пересеченной местности, обладает большими уклонами и бурным течением воды. Бассейн р. Модонкуль вытянут с юго-запада на северо-восток, при этом развита его правобережная часть. Линия водораздела выражена четко, наиболее высокие отметки достигают 2000 м.

Русло реки имеет общую ширину в пределах берегов 30-40 м, галечно-валунное с песчаным заполнением дно, эрозионный врез берегов – до 2 м.

Бассейн реки характеризуется хорошо развитой гидрографической сетью (около 25 рек общей протяженностью 80 км). Внутренний годовой сток рек бассейна р. Модонкуль распределен крайне неравномерно – в теплую часть года проходит до 95-98 % годового объема [163].

Весеннее половодье в бассейне р. Джиды выражено слабо из-за маломощности снегового покрова. На рассматриваемых водотоках оно начинается, в среднем, в начале третьей декады апреля, достигает максимальных значений в середине мая и заканчивается в конце мая – начале июня (средняя продолжительность около 50 суток). Сразу после окончания половодья устанавливается летняя межень, которая носит прерывистый характер и продолжается в паводковый период. Наибольшие по величине максимального расхода воды дождевые паводки наблюдаются с июня и заканчиваются в конце августа - сентябре. Продолжительность среднего паводка – 13 суток.

Летне-осенняя межень явно проявляется в годы с низким уровнем воды, когда ее длительность достигает 60-70 дней. Более стабильный период можно наблюдать с сентября по середину октября. В прочие годы она прерывается по 7-10 дней между паводками или может отсутствовать.

В конце первой декады ноября реки замерзают, в конце декабря – перемерзают. На отдельных участках, связанных с выходами ключей, наблюдается процесс наледообразования [131].

Ручей Нарын характеризуется периодическим стоком только в период выпадения осадков высокой обеспеченности. Сток ручьев теряется в четвертичных отложениях долины р. Модонкуль. Водосборные бассейны ручьев имеют сложную орографию, перепад вершин хребтов, обрамляющих ручьи достигает 500-600 м над урезом р. Модонкуль.

Бассейн ручьев Зун-Нарын и Барун-Нарын, вытянут с юго-востока на северо-запад. Их долина имеет трапецеидальную форму с асимметричными склонами, заросшими смешанным лесом [142].

Ручей Зун-Нарын имеет протяженность 3,6 км, ширине его русла составляет от 0,3 до 1,0 м, эрозионный врез не превышает 0,3-0,5 м, площадь водосбора составляет 6,53 км^2. Русло ручья задерновано растительностью, ввиду эпизодического стока. Река Модонкуль и ее притоки считаются одними из наиболее загрязненных водных объектов на территории Бурятии по причине многолетнего поступления в водотоки шахтных вод штолен, карьерных вод Джидинского вольфрамо-молибденового комбината и открытых разработок [163].

Основными процессами рассеяния техногенного материала является ветровой разнос, плоскостной смыв и линейная эрозия временными водотоками, аллювиальный снос переотложенного материала р. Модонкуль, антропогенные рассеяния (отсыпка дорог, строительство защитных дамб и т.д.), наводнения [141].

Грунтовые воды имеют повсеместное распространение и объединяют поровые и трещинные воды рыхлых образований и эффузивов кайнозоя: трещинные воды эффузивов мезозоя, трещинные воды метаморфических образований палеозоя, трещинные воды разновозрастных интрузивных образований. В целом, подземные воды данного типа образуют единую гидродинамическую систему и имеют общее направление движения – от горных массивов к долинам рек. Узколокальное распространение на территории района имеют надмерзлотные и подмерзлотные воды, приуроченные к островкам многолетнемерзлых пород. Трещинно-жильные воды тектонических разломов имеют широкое распространение на исследованной территории [141].

По составу и возрасту водовмещающих пород, а также по особенностям химического состава подземных вод на территории района выделяется несколько водоносных комплексов и горизонтов, описанных у Шульги Ф.И [163]:

– водоносный горизонт современных аллювиальных отложений;

– водоносный комплекс верхнечетвертичных и современных (преимущественно делювиально-пролювиальных) отложений;

– подземные воды зоны трещиноватости базальтов нижнечетвертичного возраста;

– водоносный комплекс плиоценовых аллювиальных отложений;

– подземные воды зоны трещиноватости эффузивов черноярovской (петропавловской) и цаган-хунтейской свит пермско-триасового возраста;

– подземные воды зоны трещиноватости метаморфических пород нижнекембрийского возраста (хохюртовская и джидинская свиты);

– подземные воды зоны трещиноватости интрузивных пород палеозойского и мезозойского возраста;

– трещинно-жильные воды зон тектонических разломов.

Водовмещающие грунты представлены галечниковым грунтом, гравийным, пылеватыми песками. Амплитуда колебания уровня грунтовых вод возможна в летний период во время ливневых дождей на 0,2-0,3 метра [163].

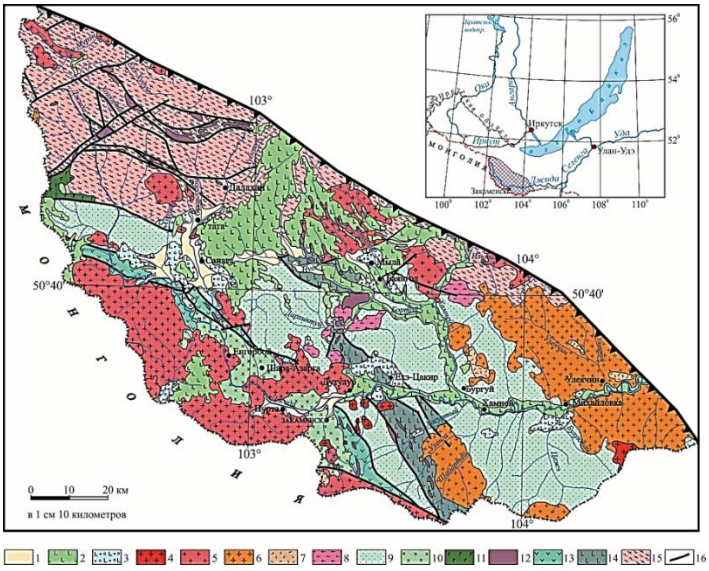
Геологическое строение

Территория г. Закаменск в геологическом отношении находится на территории Джидинской рудной зоны, которая протянулась на 45-50 км шириной 5-7 км и охватывает бассейны рек Шабартай, Уленга, Модонкуль. Ее восточная часть через р. Мыргеншено выходит на левобережье р. Джида.

Молибденовое месторождение приурочено к штоку гранит-порфиров и гранитов (Первомайскому) и представлено штокверком кварц-молибденовых прожилков. Первомайское молибденовое месторождение сформировалось в дорудную полевошпатную и молибденитовую стадии. В этой зоне преимущественно локализировано штокверковое молибденовое оруденение [51].

Холтосонское жильное вольфрамовое месторождение находится в 1 км к юго-западу от Перовмайского массива. Рудные тела его, протяженные и мощные кварц-вольфрамитовые жилы, приурочены к трещинам скола.

Между Первомайским штокверком и Холтосонским месторождение расположен Инкурский штокверк кварц-полевошпатовых прожилков с гюбнеритом и шеелитом [7]. На рисунке 6 представлена карта геологического строения района исследования, составленная Гордиенко И.В [43].



Условные обозначения:
1 – четвертичные отложения; 2 – неоген–четвертичные базальты; 3 – юрско–меловые осадочные и осадочно-вулканогенные образования; внутриплитные (рифтогенные) комплексы (4–7): 4 – мезозойские гранитоиды (бичурский – P2–T1, малокуналейский – T2–3, гуджирский – J3–K1 комплексы), 5 – раннепермские гранитоиды (дабанский – P1, шабартайский – P1 комплексы), 6 – позднекарбоновые гранитоиды (битуджидинский – C3, улекчинский – C3 комплексы), 7 – пермо-карбоновые осадочно-вулканогенные образования (гунзанская свита); 8 – кембро-ордовикские ранне- и позднеколлизионные гранитоиды (позднеджидинский комплекс); 9 –кембро-ордовикские осадочные отложения задугового и преддугового палеобассейнов (джидинская свита); 10–нижне-среднекембрийские островодужные гранитоиды (джидинский комплекс); 11 – вендские островодужные габброиды (зунгольский комплекс); 12 – вендские базит-гипербазиты офиолитового комплекса; 13 – венд-раннекембрийские вулканогенные породы Джидинской островной дуги (хохюртовская свита); 14 – венд-раннекембрийские осадочно-вулканогенные образования Джидотского гайота (хасуртинская свита); 15 – неопротерозойские осадочно-метаморфические породы Хамардабанского микроконтинента (хамардабанская серия нерасчлененная); 16 – разрывные нарушения. Зубчатой жирной линией показана северо-восточная граница Джидинского рудного района.

Рисунок 6 – Схема геологического строения Джидинского рудного района с изменениями и дополнениями

Изучаемую территорию слагают преимущественно нижнепалеозойские породы. Наиболее древними являются осадочно-эффузивные образования хохюртовской свиты нижнего кембрия. Выше её с небольшим перерывом залегает джидинская свита, сложенная песчаниками, сланцами и известняками. Возраст свиты определяется условно, как нижний кембрий. Как хохюртовская, так и джидинская свиты подразделяются на две подсвиты. Подчинённое развитие имеют отложения мезозоя и кайнозоя.

На нижнепалеозойских отложениях с перерывом залегают основные эффузивы чернояровской свиты верхнепермско-нижнетриасового возраста, которые в свою очередь перекрыты кислыми эффузивами цаган-хунтейской свиты триаса. Отмеченные эффузивы подстилают осадочные образования сангинской свиты гусиноозёрской серии, на которых залегают эффузивы цежейской свиты неогена. Стратиграфически выше неогеновых отложений следуют базальты неогеново-нижнечетвертичного возраста. Стратиграфический разрез заканчивается четвертичными («долинными») базальтами и рыхлыми отложениями . Геологическое строение описано в работе Плюснина А.М и Гунина В.И [103].

По описаниям Тайсаева Т.Т [136], в долине р. Джида – в районе г. Закаменска развитие получили нижне- и среднечетвертичные озёрно-аллювиальные, аллювиальные и делювиально-пролювиальные отложения четвертичной системы. Они представлены серыми, желтовато-серыми песками с параллельной, иногда косой слоистостью, реже глинами, супесями. Среди них отмечены прослои и линзы галечника.

К верхнечетвертичным отложениям относятся аллювиальные отложения, слагающие 10-20-метровые террасы рек и речек Джиды, Хамнея, Модонкуля, Шара-Азарги и др., а также делювиально-пролювиальные отложения, образующие предгорные шлейфы. Представлены они галечниками, гравием, щебёнкой, дресвой, песками, супесями, суглинками. Мощность их не превышает 30 м. В состав верхнечетвертичных и современных отложений неразделенных включены делювиально-пролювиальные и пролювиальные отложения, образующие шлейфы вдоль подножий склонов долин крупных рек. Они представлены плохо отсортированным грубообломочным материалом, состоящим из валунов, обломков, щебёнки, дресвы, супесей, суглинков. Эти шлейфы перекрывают базальты, развитые по долине р. Джида.

По данным Технологического регламента, 2014 [141], современные - аллювиальные и делювиально-пролювиальные отложения представлены галечниками, песками, супесями, илами, слагающими низкие надпойменные и пойменные террасы. Мощность их не превышает 30 м. Делювиально-пролювиальные отложения развиты вдоль подножий склонов долин, в сухих падях, распадках, а также образуют конусы выноса в устьевых частях падей, оврагов, ложбин. Сложены эти отложения грубообломочным материалом, состоящим из валунов, галек, щебёнки, гравия, супесей и суглинков. Мощность отложений измеряется от 0,5 м до 10 м.

Оливиновые базальты «долинные» нерасчлененные на площади района выполняют долины наиболее крупных рек и речек Джиды, Хамнея, Дархинтуя, Мылы, Бартоя и других, отчего получили в литературе название «долинных».

Интрузивные породы представлены широкой гаммой разнообразных (пёстрых) по составу и различных по возрасту интрузий, среди которых выделяются следующие комплексы: цакирский, джидинский, куналейский, гуджирский, хурай-байбинский.

1.5 Анализ состояния отходов добычи и переработки ДВМК

В период с 1937 г. по 1997 г. на территории Закаменского района функционировал Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат – первое предприятие горнодобывающей промышленности в Республике Бурятия, которое давало стране в разные годы от 50 до 100 % добываемого вольфрама.

Разработка велась вначале с использованием штолен, а затем с помощью двух карьеров. Руда перемещалась к обогатительной фабрике по канатной дороге. На фабрике руда измельчалась, из нее извлекался флотационно-гравитационным методом молибденовый и вольфрамовый концентрат [26].

Во время работы предприятия было сформировано более 40 млн. тонн техногенных отходов, которые в настоящее время представляют наибольшую опасность для населения и

окружающей среды г. Закаменска, а также для бассейна озера Байкал, поскольку район исследования относится к буферной экологической зоне Байкальской природной территории, согласно Федеральному закону от 1 мая 1999 г. № 94 «Об охране озера Байкал»).

Наибольшую опасность на изучаемой территории представляют отходы переработки в виде хвостохранилищ и отходы добычи вольфрамовых руд в виде крупноглыбового материала, вскрышных пород.

Заполнение хвостохранилища Барун-Нарын начато в 1958 г., прекращено в 1997 г. Отвалы сформированы в результате сброса хвостов обогащения как молибденовой фабрики (до 1972 г.), так и вольфрамовых фабрик. Транспортировка хвостов обогащения в гидроотвал производилась совместно с сульфидным продуктом по пульпопроводу.

Хвостохранилище имеет вытянутую форму шириной у основания (дамбы) около 1050 м. Протяженность гидроотвала вверх по долине р. Барун-Нарын около 1700 м. Площадь порядка 142 га.

В структурном отношении Барун-Нарынское хвостохранилище представляет отвал лежалых хвостов обогатительных фабрик Джидинского вольфрамомолибденового комбината, имеет простую форму и достаточно однородную структуру.

Литологически руды представлены песками с различным соотношением фракций от пылеватых и илистых разновидностей до крупнозернистых. Кроме того, среди них выделяются слежавшиеся и переотложенные разности [141].

Зун-Нарынское хвостохранилище в настоящее время формирует горнодобывающее предприятие АО «Закаменск», которое занимается вторичной переработкой песков. Хвостохранилище постоянно пополняется промытыми песками, поступающими с фабрики.

Под воздействием внешних факторов окружающей среды – кислорода воздуха, атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод эрозии ветров в отходах Джидинского вольфрамо-молибденового комбината на протяжении многих лет формируется агрессивно-кислая среда [34].

Минеральный состав песков техногенных хвостохранилищ

Пески Барун-Нарынского месторождения бедные по всем рудным и полезным компонентам представляют собой обломки глинистых пород, сланцев. Все обломки обохрены, порошковаты, легко разрушаются, образуя много илов и тонких фракций.

Гюбнерит (вольфрамит) находится преимущественно в свободной форме, отмечаются сростки с кварцем в классах крупности + 0,5 мм, + 1 мм. Наибольшее содержание гюбнерита приходится на мелкие классы крупности. Вольфрамовые минералы в классе – 0,074 мм представлены тонкими переизмельчёнными трудно различимыми частицами [97].

Из сульфидов преобладает пирит. Присутствует во всех классах. В неэлектромагнитных фракциях преобладают кварц, обломки пород. В мелких классах пород обнаруживаются полевые шпаты, карбонаты, мусковит, хлорит, биотит, турмалин; из примесей – циркон, апатит, флюорит, и др.

Основное количество составляют обломки пород, сульфиды, сростки, отдельные минералы и глинисто-слюдистые фракции. Обломки пород представлены разными боковыми породами – порфиритами, сланцами, роговиками, диоритами и др. [140].

Среди прочих сульфидов отмечен галенит, редко встречаются зерна сфалерита, еще реже блеклые руды.

Шеелит содержится в классах 0,15 + 0,07мм, в виде свободных зерен – мелкий, обохренный с неровной поверхностью зерен.

Гюбнерит отмечается в виде обломков толстотаблитчатых, призматических кристаллов, чаще неправильных уплощенных зерен с острыми гранями. По плоскостям спайности в них отмечаются включения шеелита. Чаще гюбнерит наблюдается в сростках с кварцем, карбонатом, пиритом. Цвет минерала буровато-черный с красноватым и фиолетовым оттенком, в тонких осколках просвечивает, спайность совершенная, ступенчатый излом. Блеск зеркальный, алмазный по плоскостям спайности [96].

Основная масса гюбнерита сосредоточена в крупных классах и представлена крупными зернами как в свободной форме, так и в сростках с кварцем.

Шеелит отмечается в виде единичных зерен неправильной, грубоизометричной формы, зеленовато-желтого, серовато-белого цвета с жирным алмазным блеском, с матовыми неровными поверхностями [85].

Химический состав техногенных хвостохранилищ

По данным Технологического регламента [141] основная масса химического состава техногенных песков представлена оксидом кремния и оксидом алюминия. Присутствует железо, причем более 60 % от его общей массы находится в сульфидной форме. Содержание других попутных ценных компонентов (золота, серебра, бериллия, меди, свинца, цинка, висмута и фтора) низкое. При обогащении песков Барун-Нарынского месторождения ценные попутные компоненты концентрируются слабо (Таблица 1) [85].

Таблица 1 – Химический состав техногенных песков

Элементы, компоненты	Массовая доля, %	Элементы, компоненты	Массовая доля, %
SiO_2	65,7	Zn	0,068
Al_2O_3	13,7	Pb	0,048
K_2O	4,23	Ba	0,026
TiO_2	0,45	Be	0,0129

Продолжение таблицы 1

MgO	2,49	Cd	<0,001
MnO	0,22	Cr	0,02
CaO	3,91	Co	0,002
Na_2O	2,25	La	0,002
P_2O_5	0,16	Li	0,056
WO_3	0,101	Mo	0,003
$Fe_{общ}$	4,21	Ni	0,003
$Fe_{окисл}$	1,66	Sc	0,0014
$Fe_{(S)}$	2,55	Sn	<0,005
$S_{общ}$	2,61	Sr	0,013
$S_{окисл}$	0,14	V	0,012
As	<0,003	Y	0,0013
Sb	<0,005	Au, г/т	0,086
Cu	0,029	Ag, г/т	6,07

Над сульфидсодержащими отходами хвостохранилищ с продуктами их окислительного разрушения, органическими веществами, использовавшимися при флотации руды, формируется ореол загрязнения воздуха, который существует круглый год. В составе газовых эманаций присутствуют вещества, которые образуются при взаимодействии органических и неорганических веществ.

Установлено, что воздух, находящийся в порах пород, загрязняется газами, состоящими из сероуглерода, диметилсульфида, паров воды и др. компонентов. Одновременно с газами в зону аэрации выносятся техногенные аэрозоли, состоящие из частиц жидких и твердых продуктов выветривания руды и вмещающих пород [186, 169, 182, 15].

Исследование аэрозольного загрязнения в горнодобывающей промышленности является актуальным в настоящее время. Механизмы образования аэрозолей, их размеры и миграционные особенности описаны в многочисленных трудах. В горнодобывающей отрасли тема токсичных аэрозольных потоков также актуальна на протяжении многих лет. В зависимости от типа горнорудного производства, физико-географических особенностей местности и срока складирования горнопромышленных отходов выявляются новые различные особенности негативного воздействия аэрозольного загрязнения на окружающую среду и живые организмы. Тонкодисперсные частицы диаметром <0,01 мкм не выводятся из организма человека, оседая в органах дыхания и вызывая различные заболевания органов дыхания и сердечно-сосудистой системы.

Общие механизмы образования и миграционные особенности антропогенных аэрозолей известны, но на территории природно-техногенной системы Джидинского вольфрамо-молибденового комбината не изучались. В городе Закаменск площадью 59,22 км^2 с численностью населения 11054 человек находится более 40 миллионов тонн отходов переработки руд, в окрестностях города находятся два карьера, из двух штолен разгружаются

рудничные воды, складированы вскрышные породы и разработки глубокозалегающих россыпей. Но до сих пор остается не выясненным негативное воздействие отходов горнорудного производства на состояние атмосферы и в целом окружающей среды этого района.

В представленной диссертационной работе на основе новой методики отбора проб конденсационной влаги и применения современных методов анализа вещества приведены результаты исследования закономерностей формирования загрязнения приземной атмосферы над хранилищами отходов добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд. Для определения распространения загрязнения атмосферы от хранилищ отходов на окружающую среду применено опробование снегового покрова.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В атмосфере вещества, участвующие в процессах переноса, могут находиться как в газообразном состоянии, так и в виде дисперсных частиц различных размеров (частицы PMx). Следует отметить, что помимо этих двух главных форм переноса, существует также процесс низкотемпературного паро-газового переноса химических элементов, который практически не рассматривается в научной литературе [20].

Экологическое состояние атмосферного воздуха на рассматриваемой территории в значительной степени зависит от природно-климатических условий. Район исследований расположен в расчлененном рельефе, представлен гольцовыми, горно-таежными ландшафтами. Климат резко-континентальный и характеризуется неустойчивым ветряным режимом. Происходит рассеивание аэрозольного и пылевого загрязнения атмосферы на большой территории, в ореол загрязнения попадает г. Закаменск и др. населенные пункты. Для оценки экологического состояния территории нами выбрана депонирующая среда – снеговой покров, как показатель качества экологического состояния. Отбор проб снега для установления суммарного загрязнения за зимний период проводился в марте перед началом снеготаяния. Для установления источников и механизмов поступления загрязнений в снеговой покров проводилось исследование свежевыпавшего снега в пределах хранилищ отходов переработки руд, различающихся длительностью хранения отходов. В этом случае опробование проводилось в декабре.

Исследование качественного и количественного состава жидких аэрозолей от хранилищ отходов переработки и добычи вольфрамовых руд проводилось путем сбора конденсационной влаги в местах их хранения. На этих хранилищах после прекращения работы комбината не проводилась рекультивация, они подвержены воздействию агентов выветривания. В результате длительного хранения в хвостохранилищах накопились агрессивные кислые, высокоминерализованные поровые воды. Так как породы в хранилищах издроблены в технологическом процессе, то грунтовые воды по капиллярам способны подниматься к поверхности. Окисление сульфидной минерализации протекает с выделением тепла, поэтому поровые воды и зимой находятся в жидком состоянии [111, 112].

Конденсационная влага собиралась над хранилищами переработки руд с разным временем хранения отходов. Среди отходов добычи были обследованы карьер, где коренные породы разбиты трещинами в результате проведения взрывных работ и отвалы вскрышных пород, представленные крупно-глыбовым материалом.

Координаты точек отбора проб фиксировались с помощью GPS-навигатора Garmin GPSMAP 78s и автомобильного навигатора Prology iMap 520Ti с нанесением на спутниковые снимки изучаемой местности в ресурсах Google Earth и Google Maps.

2.1 Методики анализа и обработки результатов

Пробы конденсата и снеговой воды для определения микроэлементов отбирали одноразовыми медицинскими шприцами в количестве 2 мл, фильтровали через одноразовые полистирольные стерильные шприц-насадки Minisart 16555-K (0,45 мкм, ацетат целлюлозы, Sartorius Stedim Biotech Gmbh, Германия). Фильтрат помещали в предварительно взвешенные полипропиленовые пробирки Эппендорфа (2 мл, Axygen Scientific, Cat. -No. MCT-200-C, США), содержащие 40 мкл 70 % HNO_3. Азотная кислота была дважды очищена с помощью суббойлинговой системы перегонки кислот Savillex DST-1000 sub-boiling distillation system, Япония. Для отслеживания дрейфа прибора и степени подавления аналитических сигналов использовался индий (30 ppb), который добавлялся в исследуемые образцы весовым методом. Все необходимые взвешивания проводились на аналитических весах Mettler Toledo AG104 (погрешность взвешивания ± 0,0003 г).

Анализ микроэлементного состава выполнен методом индуктивно-связанной плазмы на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 ce в Лимнологическом институте СО РАН согласно методике, описанной у Чебыкина Е.П [154]. Система ввода проб: микропоточный полипропиленовый распылитель (200 мкл/мин, режим подачи растворов - самораспыление), полипропиленовая распылительная камера, кварцевая горелка с системой ShieldTorch. Измерения проводили в режиме «горячей плазмы» (мощность генератора плазмы 1580 Вт). Измерения проводились в сканирующем режиме (3 канала на массу, 0,05 с на канал, общее время сканирования масс-спектра – 55 с). Промывка между пробами – 50 с, между пробами и калибровочным стандартным раствором – 200 с. Для калибровки масс-спектрометра использовали многоэлементные стандартные растворы ICP-MS-68A-A и ICP-MS-68A-B (HIGH-PURITY STANDARDS, Charleston, USA), образец байкальской бутилированной воды (для Na, Mg, Si, S, Cl, K, Ca, а также растворы катионов (Na, Mg, K, Ca, Fe, Hg) и анионов (Si, P, S, Cl, Br, I), приготовленные смешением одноэлементных ИСП-МС стандартных растворов компании Inorganic Ventures (США): Na (Cat. No. MSNA-100PPM), Mg (Cat. No. MSMG-100PPM), K (Cat. No. MSK-100PPM), Ca (Cat. No. CGCA1), Fe (Cat. No. MSFE-100ppm), Hg (Cat. No. MSHGN-10PPM), Si (Cat. No. MSSI-100PPM), P (Cat. No. MSP-100ppm), S (Cat. No. CGS1), Cl (Cat. No. CGICCL1), Br (Cat. No. CGICBR1), I (Cat. No. CGICI1). Металлы и Si в стандартных

растворах присутствовали в азотнокислой среде, S и P в форме серной ортофосфорной кислот соответственно, галогениды – в водном растворе аммонийных солей.

Для анализа анионного состава конденсата использовался метод ионной хроматографии. Анализ выполнен на хроматографе LC-20 Prominence в центре коллективного пользования «Геоспектр» ГИН им. Н.Л. Добрецова СО РАН г. Улан-Удэ. Методика выполнения измерений массовой концентрации анионов: нитрита, нитрата, хлорида, фторида, сульфата и фосфата в пробах природной, питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии, ПНД Ф 14.1:2:4.132-98. При проведении аналитических работ были использованы следующие государственные стандартные образцы: стандартный образец состава водного раствора нитрат-ионов ГСО 7820-2000 п. № 02-22; стандартный образец состава водного раствора нитрит-ионов ГСО 7753-2000 п. № 01-16; стандартный образец состава раствора сульфат-ионов ГСО 7683-99 п. №01-22; стандартный образец состава раствора хлорид-ионов ГСО7616-99 п. №01-22; стандартный образец состава раствора фторид ионов ГСО 8125-2002 п. №01-22; стандартный образец состава раствора фосфат ионов ГСО 7791-2000 п.2 . Концентрация гидрокарбонат-иона в пробах конденсационных вод установлена методом расчета на основе данных полученных ИСП-МС методом. Использована методика расчёта общей минерализации вод и гидрокарбонат-ионов по данным многоэлементного ИСП-МС анализа, основанная на балансе химических эквивалентов, который используется для оценки правильности определения всех главных ионов в воде. Сумма всех положительных эквивалентов (зарядов) K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} должна быть равна сумме отрицательных (Cl^-, SO_4^{2-} и HCO_3^-). Оценку минерализации (сумму главных ионов: Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, SiO_3^{2-}, PO_4^{3-}, NO_3^-,HCO_3^-) конденсационной воды выполняли также по результатам многоэлементного ИСП-МС анализа и с использованием баланса химических эквивалентов по недостающим ионам (HCO_3^- и потенциально возможного NO_3^-). Результаты исследования сравнивались с химическими анализами, выполненными в аккредитованной лаборатории по методикам и руководящим документам принятым в гидрохимии пресных вод суши [154, 155].

Для анализа вариаций элементного состава конденсационной и снеговой воды полученный массив данных был подвергнут факторному и кластерному анализам, которые выполнены с помощью программы Statistica 8.0 по методу главных компонент

2.2 Методика исследования конденсационной влаги

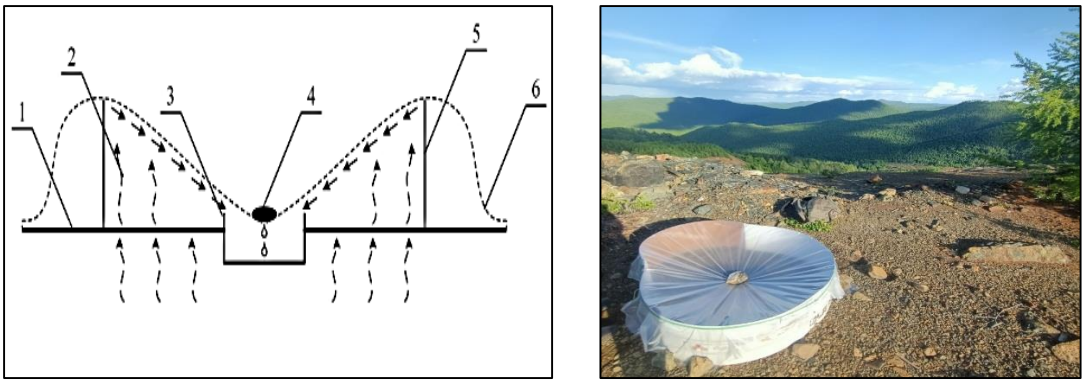
В хранилищах отходов горнодобывающего производства находятся издробленные в технологическими процессами горные породы, которые содержат в своем составе неустойчивые в экзогенных условиях рудные минералы. Постепенно в поровом пространстве песков под

воздействием процессов выветривания сформировались высокоминерализованные воды, которые содержат очень высокие концентрации токсичных химических элементов. Содержание железа может достигать 160 мг/л, марганца 41 мг/л, цинка 27 мг/л, меди 7?7 мг/л, суммарное содержание РЗЭ до 3,9 мг/л, кобальта до 720 мкг/л, никеля до 620 мкг/л, кадмия до 470 мкг/л [104]. Капиллярными силами поровые воды поднимаются к поверхности и испаряются, унося в своем составе в капельно-жидком состоянии растворенные вещества.

Одним из факторов, интенсифицирующим процессы химического выветривания и миграции веществ в растворе и капельно-жидком состоянии, является экзотермический эффект реакций окисления сульфидов, за счет которого может происходить существенный разогрев рудной массы. Термодинамическими расчетами установлено, что руда, содержащая 1,5-2 % сульфидов, состоящих из борнита и халькозина, при условии их полного окисления растворенным в воде кислородом может разогреться на 40-50 градусов. Тепловой эффект от окисления пирита такой-же концентрации выше в несколько раз [111]. В составе хвостов обогащения вольфрамо-молибденовых руд ДВМК присутствует 3-4 % пирита и можно ожидать соответствующий тепловой эффект. Экзотермические эффекты реакций взаимодействия руд и пород с природными растворами могут явиться причиной образования в многолетней мерзлоте таликов [100]. Ореолы рассеяния вокруг рудных тел, не выходящих на земную поверхность, в областях распространения многолетней мерзлоты имеют характерную веерообразную форму. Это связано с тем, что в зимний период миграция водорастворимых соединений происходит преимущественно вверх по вертикали, а боковая миграция ограничена. Резкое расширение веера в верхней части обусловлено скачкообразным увеличением подвижности элементов в сезонно-талом слое [79]. Миграция растворенных веществ может происходить по адсорбированным водным пленкам, которые существуют в пористых средах при температуре от - 50 до + 50 ºС [112]. Изучение химического состава конденсационной влаги позволяет установить уровень аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха, определить степень распространения токсичных химических элементов и их соединений, содержащихся в поровых растворах верхних слоев хвостохранилищ [14]. Исследование конденсационной влаги является развивающимся направлением и в литературе встречается довольно редко, поэтому при изучение конденсационной влаги на исследуемой территории упор производился на публикации, вышеупомянутые в данной главе.

Для исследования химического состава воды, испаряющейся с поверхности хранилищ отходов, использована методика конденсирования ее паров на поверхности полиэтилена. Для этого была изготовлена специальная установка высотой 30 см. В ее состав входит корпус, состоящий из четырёх гибких пластин, герметично соединенных между собой в замкнутый контур, посредством резьбовых соединений, из неметаллических материалов. На корпус сверху

натягивается одноразовый пленочный прозрачный водонепроницаемый материал, изготовленный из полиэтилена и фиксируется резиновым жгутом. В центр на пленочный материал помещается груз массой 200-300 грамм. Под пленкой устанавливается контейнер для сбора конденсата. Контейнер находится под устанавливаемым грузом, но не касается пленочного материала. Контейнер изготовлен из пластика в виде емкости на ножках. Ножки необходимы для того, чтобы контейнер не перекрывал поверхность грунта, с которой осуществляется сбор конденсата (рисунок 7).



а) б)

Рисунок 7 – Схема (а) и общий вид (б) установки для сбора конденсированной влаги
Условные обозначения: а) 1 – поверхность почвы; 2 – испаряющаяся влага (конденсат); 3 – емкость для сбора конденсата; 4 – груз; 5 – стенки цилиндра; 6 – полиэтиленовая пленка

Площадь поверхности, с которой производится сбор конденсата составляет 1 м^2. Для увеличения достоверности полученных результатов в каждом пункте наблюдения одновременно устанавливалось пять сборников конденсата. Расстояние между сборниками составляло 20 м. Такой способ размещения конденсаторов позволил охарактеризовать потоки аэрозолей с большой площади и нивелировать неоднородности в строении песков, связанные с технологией складирования отходов. Сборники конденсата устанавливались в точке наблюдения вечером и снимались утром. Выбранный режим отбора проб был связан с тем, что в районе исследований климат характеризуется резким изменением температуры в течение суток. В летний период разница температуры достигает двадцати и более градусов. Пески за день прогреваются, заключенная в них вода начинает интенсивно испаряться, но сконденсировать ее сложно, для этого необходимо использовать холодильники. Ночью воздух над песками быстро охлаждается, поэтому испаряющаяся из песков влага хорошо конденсируется на внутренней поверхности полиэтиленовой пленки. Образующиеся капли стекают в контейнер, который расположен под пленкой. Накопившийся в контейнере конденсат сливался в пластиковую посуду и готовился для проведения анализов. В части конденсата, если позволял его объем, непосредственно на точке наблюдения измерялся pH растворов. Другая часть пробы конденсата фильтровалась через

мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм и готовилась для проведения химического анализа [102, 106].

Все детали конструкции конденсатора изготовлены из полимерных материалов, для того чтобы исключить попадание металлов в пробу конденсационной воды.

Промышленное производство полимеров, в том числе полиэтилена основано на использовании природного газа, который на 98 % состоит из метана. Из других газов, которые входят в 2 %, присутствуют этан, пропан, бутан, азот, углекислый газ, водород, сероводород. Газовая фаза не может удерживать в своем составе металлы, поэтому в полимерах их нет в количестве, которое могло бы повлиять на ошибку измерения содержания в конденсационных водах.

Предложенная нами методика отбора проб конденсата была также использована для исследования химического состава испаряющейся влаги на территории г. Улан-Удэ [159], а также применялась на Ермаковском флюорит-бериллиевом месторождении [107].

Исследовались конденсационные воды на территории хозяйственно-бытовых, промышленных свалок и на фоновых территориях.

На фоновых территориях в пределах г. Улан-Удэ установлен небольшой диапазон изменения содержания металлов (мкг/л): для алюминия 11,5-13,1; марганца 9,75-11,1; железа 18,1-23,0; цинка 11,2-11,45; меди 3,2-3,7; свинца 0,69-0,72; никеля 0,64-0,68; кобальта 0,073-0,082; хрома 0,31-0,53; кадмия 0,033-0,043. Концентрации металлов в этих пробах конденсата характеризуют состав испаряющейся воды из почв на незатронутой горнодобывающим производством территории.

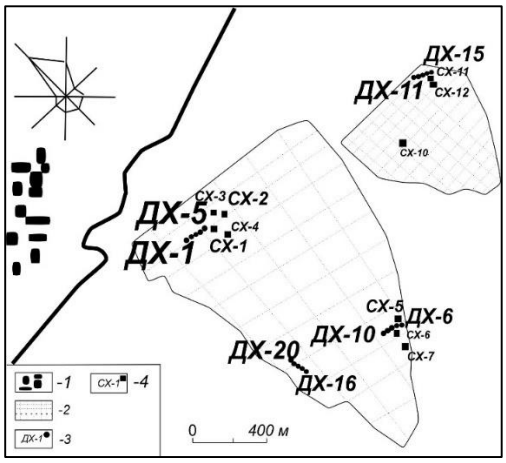
В установленных довольно низких концентрациях присутствует какая-то доля элементов поступающих в конденсат из материалов конденсаторов, но эта доля не велика, так как содержания низкие.

На территории размещения отходов горнорудного производства установлены концентрации этих элементов больше на несколько математических порядков, поэтому вкладом в загрязнение проб от материала концентраторов можно пренебречь.

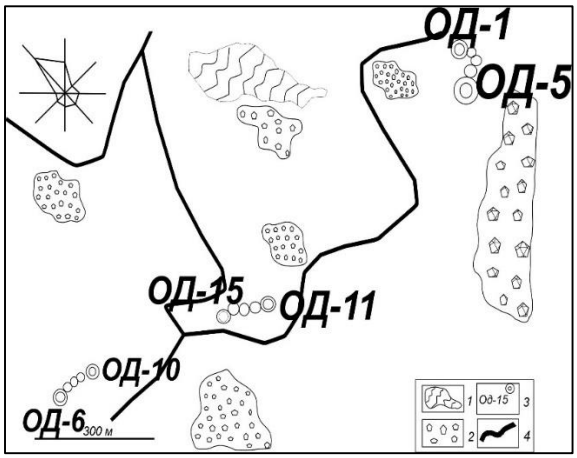
Опробование конденсата над отходами переработки проведено по трем профилям в Барун-Нарынском хвостохранилище и одному профилю в Зун-Нарынском хранилище.

Первое хранилище сформировано в период деятельности Джидинского вольфрамо-молибденового комбината, здесь пески хранятся более 25 лет.

Второе хвостохранилище формирует горнодобывающее предприятие АО «Закаменск», которое занимается вторичной переработкой песков в настоящее время, оно постоянно пополняется промытыми песками, поступающими с фабрики. Карты-схемы опробования конденсата представлены на рисунке 8.



Условные обозначения:
Отходы переработки руд 1- г. Закаменск; 2- пески хвостохранилищ; 3-точки отбора конденсата; 4-точки отбора снегового покрова



Условные обозначения:
Отходы добычи. 1- техногенный водоем; 2 – осыпи вскрышных пород; 3- точки отбора конденсата; 4 - технологические проезды.

Рисунок 8 – Карты-схемы опробования конденсационной влаги

Опробование отходов добычи. Разработка месторождений велась двумя карьерами, которые расположены на вершине горы с абсолютными отметками местности 1670 м. Площадка, на которой производилась разработка карьеров, выполнена кристаллическими горными породами. Они интенсивно раздроблены при проведении взрывных работ и проницаемы для воды.

Вскрышные породы складировались на склонах, окруженными глубоко врезанными долинами ручьев. Эти отходы представлены крупно-глыбовым материалом, который хорошо проницаем для воды и газов.

После закрытия комбината отходы добычи не рекультивировались. За время хранения в результате протекания физического и химического выветривания горные породы преобразованы в мелкие обломки коренных пород и осадки продуктов их выветривания. Они перемещаются в виде осыпей вниз по склону, у подножия накоплены делювиальные отложения, представленные тонкими разностями дресвы, песка, суглинков и глин.

При экспериментальных исследованиях отходов добычи конденсаторы аэрозолей устанавливались на осадочных породах с разной размерностью частиц и на коренных породах. Конденсационную влагу удалось собрать только из осадочных пород, представленных песчаным и супесчаным материалом.

На породах, представленных крупно-глыбовым материалом и трещиноватыми коренными породами, влага, поступающая из атмосферы, проникает по трещинам глубоко в недра и не участвует в формировании ореола аэрозолей. В этом случае вода удаляется подземным стоком за пределы размещения отходов [102].

2.3 Методика исследования снегового покрова

Исследование снегового покрова широко используется для оценивания геоэкологической обстановки. Снеговой покров служит показателем загрязнения атмосферы аэрозолями [76]. Анализ распределения загрязнений в снегу предоставляет возможность решить ряд задач: определить источники выбросов аэрозольных компонентов, разграничить зоны различной интенсивности воздействия и диапазон распространения, а также оценить общий объем выбросов и характеристики дисперсного состава загрязняющих веществ [172, 178, 172]. Снеговой покров представляет особый интерес при изучении процессов длительного загрязнения [117].

Многочисленные исследования снегового покрова в местах функционирования различных горнодобывающих предприятий устанавливают его индикаторную роль при разработке разных типов месторождений. Методики отбора проб, пробоподготовки и анализа снега подробно описаны в следующих источниках [24, 87].

Изучение вещественного состава снегового покрова в России начинается с 1970-х годов. Существуют различные методические указания и правила по отбору проб снегового покрова, пробоподготовке, интерпретации полученных данных, в частности, установления закономерностей распределения концентраций загрязняющих веществ и проведения оценки аэротехногенного загрязнения природных сред [126, 87].

При исследованиях снегового покрова на предмет загрязнения от различных источников возможно установить уровни химического загрязнения, выявить преобладающие токсичные компоненты [168, 171].

Например, установлено, что основными маркерами загрязнения окружающей среды алюминиевым производством являются Al, Na, As, Li, Ni, F, Cd, Be. Теплоэнергетический комплекс является источником загрязнения Si, Fe, Mg, Mn, B [149]. Снеговой покров вблизи полиметаллических месторождений и их отходов характерен высокими содержаниями Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Fe и Mn, вблизи угольных бассейнов – Ca, Fe, K, Ti, Mn, Zr, Zn, Sr, As [93].

В Сибири методику изучения химического состава снегового покрова в своих исследованиях подробно описывают научные школы Томского политехнического университета, Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Национального исследовательского Иркутского технического университета, Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ [137, 138, 76, 144, 146]. Снеговой покров является важным накопителем различных веществ, которые остаются без изменений в течение зимнего периода. Его химический состав позволяет определить реальные объемы как сухих, так и влажных осадков, а также служит показателем уровня загрязнения экосистем. Высокая чувствительность снегового покрова к

изменениям в индустриальной среде региона предоставляет возможность для объективной оценки состояния окружающей среды [23].

Для исследования техногенных потоков аэрозолей, их размерности, химического и минерального составов были выбраны участки на территории г. Закаменск и прилегающей техногенно-измененной территории. Отбор проб снега проводился в период с 2021 г. по 2023 г. включительно. Точки отбора располагались в границах селитебной зоны, техногенных объектов, хранилищ отходов переработки руд, вскрышных пород. Первоначально было произведено площадное опробование в конце марта 2021 г. по всей техногенной территории, включая и объекты инфраструктуры ДВМК, а также жилой массив. Затем был осуществлен отбор свежевыпавшего снега на промышленных объектах – хранилищах отходов, обогатительной фабрики и в конце периода снегонакопления (2023 г.) снеговой покров отбирался вблизи отвалов вскрышных пород, отходов добычи вольфрамовых руд. За период работ было отобрано 49 проб снегового покрова. Схема опробования представлена на рисунке 9.

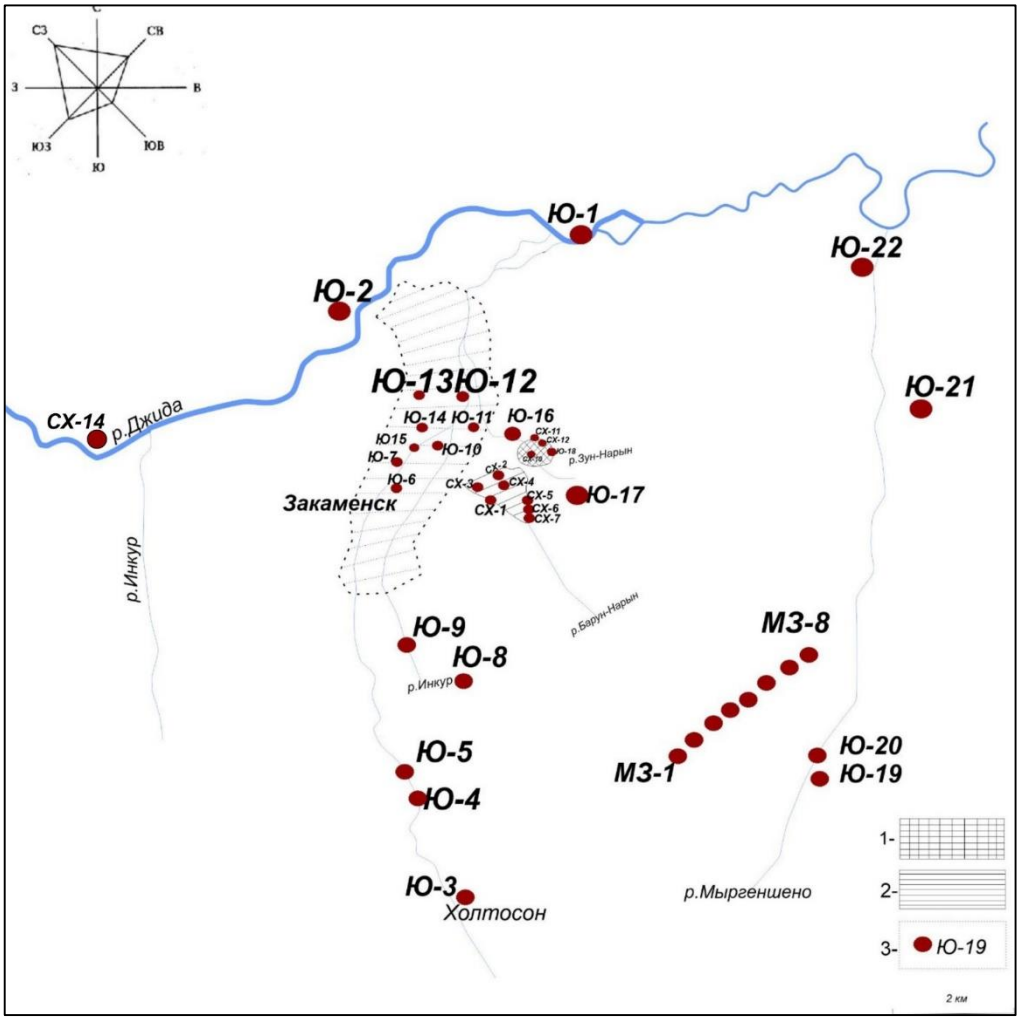


Рисунок 9 – Схема опробования снегового покрова

Условные обозначения: 1- Зун-Нарынское хвостохранилище; 2-Барун-Нарынское хвостохранилище; 3-точки опробования снегового покрова

Для отбора пробы снега на его поверхности располагалась картонная рамка размером 5,0х5,0 дм (S=25 дм^2). Снег отбирался внутри рамки на всю его мощность. Отбор производился пластиковым совком, исключая слой, соприкасающийся с почвой. Ширина рамки позволяла свободно отобрать пробы в углах рамки.

Вся масса снега собиралась в полиэтиленовый пакет. Таяние снега происходило при комнатной температуре. Вода сливалась в стеклянную посуду, фильтровалась через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм для определения микроэлементного состава.

Для подготовки к определению макрокомпонентного состава талая вода фильтровалась с помощью воронки Бюхнера и колбы Бунзена через фильтр «синяя лента» под давлением, создаваемым водоструйным вакуум-насосом.

Объем пробы свежевыпавшего снега от 30 до 37 л, проба снега в конце марта была от 60 до 75 л. Разница в объемах проб зависела от глубины снегового покрова, которая в среднем составляла от 10 до 25 см [102].

Обработка проб заключалась в определении загрязняющих веществ и их соединений в снеготалых водах и твердом осадке снега.

Нерастворимая часть отделялась путем отстаивания в течение 2-х суток, после чего вода отделялась от осадка. Твердые частицы переводились в состояние суспензии для определения гранулометрического состава и размера частиц методом лазерной дифракции, на приборе Fritsch Analysette-22 MicroTec в соответствии с ГОСТ Р 8.777-2011 [45].

Химический состав твердого осадка определялся методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе iCAP Pro XP Duo (Termo Fisher Scientific).

Минеральный состав дисперсных частиц снегового покрова был изучен по снимкам электронной микроскопии и результатам энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX-элементного анализа) с помощью электронного микроскопа JEM-2010 с системой микроанализа EDAX PHOENIX.

Изучение атмосферных осадков и конденсированной влаги в природно-техногенной системе позволяет установить закономерности распространения аэрозольных потоков от мест хранения отходов.

Сравнительный анализ полученного массива данных, современное оборудование и методы анализа полученного материала позволяют выявить широкий спектр загрязняющих химических элементов и их соединений, установить их взаимосвязь и представить механизмы формирования ореолов загрязнения приземной атмосферы.

ГЛАВА 3. ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ХРАНИЛИЩАМИ ОТХОДОВ ДЖИДИНСКОГО ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВОГО КОМБИНАТА

В результате проведенных исследований были получены аналитические данные по распределению в конденсационных и снеговых водах 72 химическим элементам, их концентрации представлены в приложениях. Результаты этой главы основаны на опубликованных ранее работах автора [26 – 34].

В диссертационной работе детально рассмотрено поведение наиболее подвижных химических элементов, которые присутствуют в рассматриваемых средах в наиболее высокой концентрации, обладают большой дисперсией в распределении по пробам или ярко выраженными токсическими свойствами.

Несмотря на то, что исследования проводились на вольфрамо-молибденовых месторождениях, концентрации вольфрама и молибдена в талых снеговых водах и в конденсате не столь высоки, как других компонентов, входящих в состав рудной минерализации.

В конденсате содержания вольфрама варьируются от 0,12 до 0,119 мкг/л; в снеге – от 0,073 до 1,76 мкг/л. Концентрации молибдена в конденсационных водах от 0,12 до 0,46 мкг/л; в снеге – от 0,17 до 1,51 мкг/л.

Факт низких концентраций вольфрама и молибдена в водах на территории исследуемого района установлен многими ранее проведенными исследованиями [131]. Это связано с тем, что в поверхностных и подземных водах сформирована кислая среда. А для активной миграции этих элементов благоприятствуют щелочные условия.

Негативное воздействие вольфрама и молибдена, а также их соединений на здоровье человека не было четко зафиксировано, но эти элементы принадлежат к категории токсичных. При длительном воздействии высоких концентраций вольфрамо-молибденовой пыли может развиться пневмокониоз. Основные симптомы этого заболевания включают кашель, расстройства дыхания, атопическую астму и изменения в легочной ткани, которые уменьшаются после прекращения контакта с данными металлами. Существует мнение, что вольфрам легко накапливают растения [56].

В исследовании установлено, что общая минерализация конденсационных вод растет с увеличением кислотности, главным образом вследствие сернокислого разложения сульфидных руд и вмещающих оруденение пород. В возрастании минерализации вод играют роль не только основные катионы, но и такие элементы как алюминий, редкоземельные элементы, которые поступают в раствор при разложении вмещающих оруденение алюмосиликатных пород [160, 60].

Поэтому в исследовании было обращено внимание на миграцию химических элементов, сопутствующих образованию руд вольфрама и молибдена.

3.1 Химический состав конденсационной влаги

Вещественный состав конденсационной влаги позволяет установить качественные и количественные характеристики аэрозольных эмиссий. В представленной главе приведены показатели загрязнения приземной атмосферы на отходах добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд, показаны различия в концентрациях наиболее подвижных химических элементов. Для выявления региональных фоновых содержаний элементов в конденсационных водах были отобраны пробы на значительном удалении от мест хранения отходов. Для опробования была выбрана территория, не затронутая рудным процессом при формировании вольфрамовых и молибденовых месторождений. Пробы конденсата были собраны на левом берегу р. Джида в пяти километрах северо-восточнее г. Закаменск и в двух километрах западнее улуса Дутулур. Конденсат собран по выше описанной методике в пойме реки, сложенной задернованными аллювиальными отложениями. Результаты исследования содержания основных загрязнителей представлены в Таблице 2, содержания всех определенных микроэлементов приведено в Приложении А.

Таблица 2 – Значения концентраций микроэлементов в конденсационной влаге на фоновой территории, мкг/л

Химический элемент	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Co	Cr	Cd
Предел обнаружения, мкг/л	0,02	1	0,1	0,03	0,002	0,3	0,001	0,003	0,0007
Z-1	10,8	1	10,8	1,9	2,3	0,73	0,051	0,5	0,12
Z-2	14,3	1	14,9	0,48	10,3	0,31	0,031	0,41	0,044

Относительно высокие содержания установлены для марганца и цинка 10,8-14,3 мкг/л; 10,8 – 14,9 мкг/л соответственно. Содержание свинца составляет 2,3 мкг/л и 10,3 мкг/л, меди 0,48 и 1,9 мкг/л. Железо не превышает 1 мкг/л, все другие микроэлементы меньше 1 мкг/л.

Отходы переработки руд

Отходы переработки руд Джидинского вольфрамо-молибденового комбината представлены двумя хвостохранилищами, расположенными в падях ручьев Барун-Нарын и Зун-Нарын. Исследование химического состава конденсата проводилось на площадках этих территорий. На рисунках 10, 11 представлены природно-техногенная система ДВМК и точки

отбора конденсата на отходах переработки руд. В зимнее время на этих же участках отбирался снеговой покров.

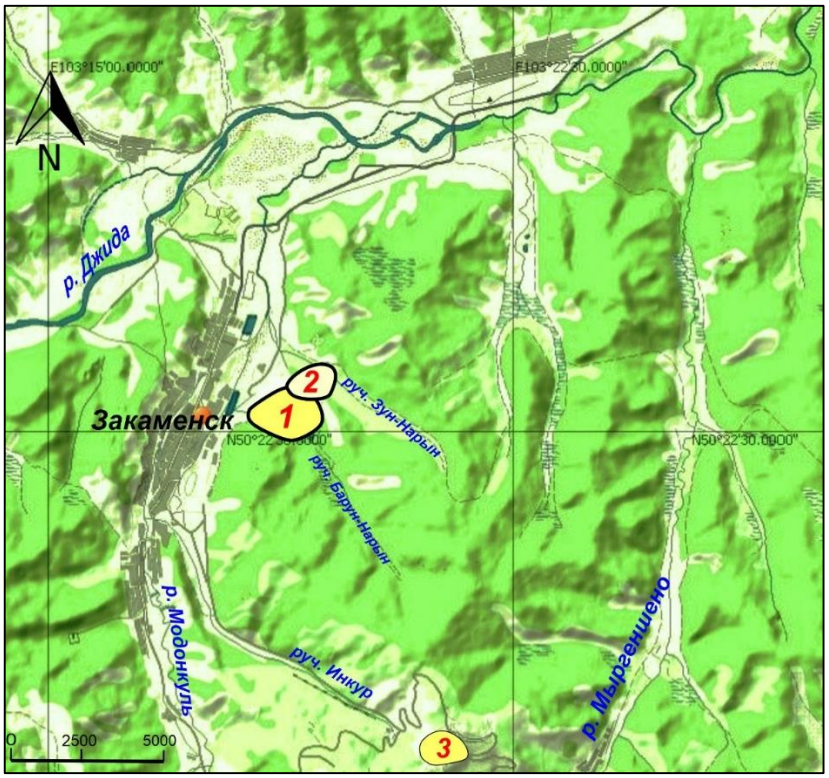


Рисунок 10 – Топографическая карта района исследования с местами размещения отходов переработки и добычи руд ДВМК

Условные обозначения: 1 – Барун-Нарынское хвостохранилище; 2- Зун-Нарынское хвостохранилище; 3-отходы добычи вольфрамо-молибденовых руд

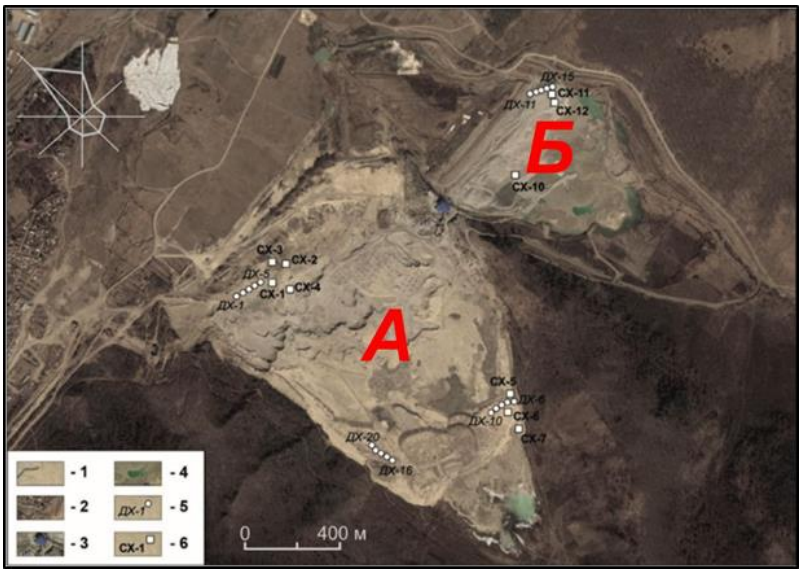


Рисунок 11 – Спутниковый снимок участка складирования отходов переработки вольфрамо-молибденовых руд (Google Earth)

Условные обозначения: а-Барун-Нарынское хвостохранилище; б-Зун-Нарынское хвостохранилище; 1-пески хвостохранилищ; 2- г. Закаменск; 3-фабрика вторичной переработки песков; 4-техногенные водоемы; 5 – точки отбора конденсата; 6 – место опробования техногенного водоема

Опробование конденсата на отходах переработки проводилось с 6-11 августа 2021 года. Всего отобрана 21 проба. На рисунке 11 точки отбора сосредоточены в северо-западной, западной и юго-восточной части хвостохранилища Барун-Нарын и в северо-восточной части Зун-Нарынского отвала. Для получения более достоверной информации и во избежание ошибок при анализе полученных данных в каждом месте опробования отбиралось 5 проб конденсационной влаги.

В конденсате определялся макро- и микрокомпонентный состав. Результаты макроэлементного анализа содержали данные о концентрациях главных ионов: Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, $HCO3^{-}$, $NO3^{-}$, $SO4^{2-}$, Cl^{-}, F^{-}, а также показатели pH, общей минерализации. В Таблице 3 приведен макрокомпонентный состав конденсата. Представленные значения являются средними арифметическими из пяти проанализированных проб, отобранных на каждом профиле.

Таблица 3 – Макрокомпонентный состав конденсационной воды, собранной над поверхностью хвостохранилищ, мг/л

Хвостохранилище (профиль опробования)	Na^{+}	K^{+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	Формула Курлова
Предел обнаружения (мг/л)	0,0004	0,0005	0,01	0,02	0,01	0,01	0,5	
Барун-Нарын (ДХ1-ДХ5)	0,18-2,3 0,75	0,1-0,55 0,25	0,03-0,4 0,32	2,5-44 27	0,4-30 21,4	0,02-1,3 0,7	1-69 63	0,118 $\frac{HCO_3 69 SO_4 30}{Ca 96}$
Барун-Нарын (ДХ6-ДХ10)	0,62-1,1 0,83	0,74-3,0 2,18	0,3-0,62 0,51	21-27 24,4	0,2-12 8,1	0,04-2,9 1,4	1,1-84 70	0,11 $\frac{HCO_3 84 SO_4 12}{Ca 90}$
Барун-Нарын (ДХ16-ДХ20)	0,72-1,3 0,93	0,68-2,1 1,41	0,23-1,2 0,73	4,1-22 15,7	0,3-34 16,2	0,06-6 2,1	0,6-60 36	0,075 $\frac{HCO_3 60 SO_4 34}{Ca 85}$
Зун-Нарын (ДХ11-ДХ15)	0,81-1,4 1,17	0,76-1,3 0,96	1,4-3,7 2,34	8,6-14 10,1	0,9-64 42,8	0,03-2 1,2	0,5-34 29	0,097 $\frac{SO_4 64 HCO_3 34}{Ca 65 Mg 25}$

Примечание: Объем конденсата составлял 10-30 мл, поэтому pH измерить не удалось, лакмусовая бумажка показывала слабо кислую среду. В числителе указаны минимальные и максимальные значения концентраций, в знаменателе – среднее значение по 5 пробам конденсата каждого профиля. В формуле Курлова общая минерализация приведена в г/л

Полученные результаты наблюдения показывают высокую минерализацию в конденсате, собранном на Барун-Нарынском хвостохранилище, среднее значение общей минерализации составляет 101 мг/л. В анионном составе преобладает гидрокарбонат-ион, в катионном составе доминирует кальций.

Другой химический состав имеют конденсационные воды на Зун-Нарынском хранилище. Здесь среди анионов преобладает сульфат-ион, гидрокарбонат имеет подчиненное значение. В катионном составе преобладает кальций и в значимых количествах присутствует магний. Общая минерализация конденсата в Зун-Нарынском хвостохранилище в среднем составляет 97 мг/л.

Учитывая то, что отходы исследуемого объекта содержат сульфидные минералы, предполагалось, что в конденсационной влаге будут повышенные концентрации элементов,

склонных вступать в соединения с серой (халькофильные элементы), кислородом (литофильные элементы), схожие по строению с железом (сидерофильные). Также предполагалось изучить распределение группы токсичных тяжелых металлов и элементов, обладающих большой индикаторной ролью – лантаноидов.

В Таблице 4 приведены содержания некоторых халькофильных и сидерофильных элементов. В числителе приведены минимальные и максимальные содержания, средние содержания металлов, установленные в конденсационных водах, приведены в знаменателе.

Таблица 4 – Содержание халькофильных и сидерофильных металлов в конденсате, собранном над поверхностью хвостохранилищ, мкг/л

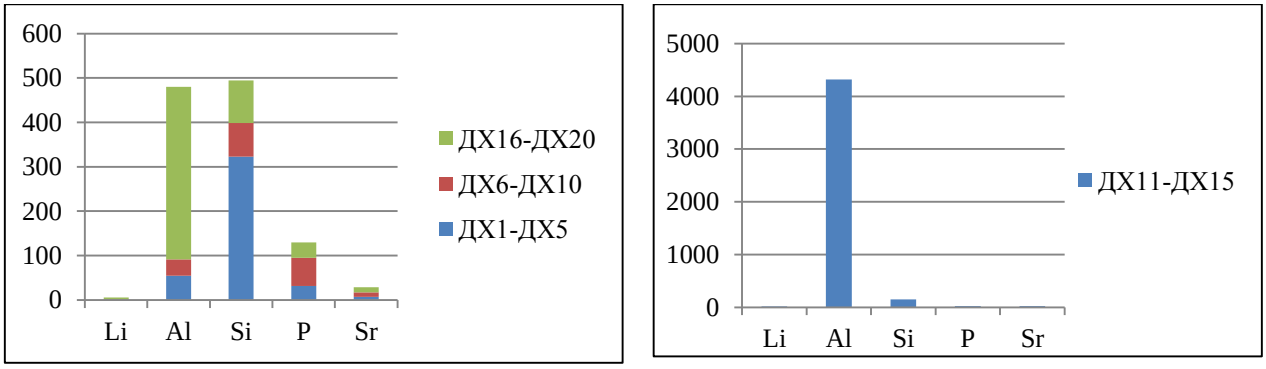
Хранилище (профиль опробования)	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Co	Cr	Cd
Предел обнаружения, мкг/л	0,02	1	0,9	0,3	0,03	0,03	0,001	0,1	0,003
Барун-Нарын (ДХ1-ДХ5)	1,3-6,9 4,5	36-350 127	3,7-14,9 6,02	0,51-1,71 1,29	0,7-2,8 1,23	0,55-0,97 0,71	0,05-0,57 0,28	0,75-0,87 0,83	0,03-0,14 0,08
Барун-Нарын (ДХ6-ДХ10)	6,0-10,6 8,5	55-123 100	6,9-31 23,4	3,0-47 15,82	2,9-23 8,1	1,08-1,84 1,43	0,13-0,49 0,32	1,02-1,2 1,15	0,1-0,43 0,28
Барун-Нарын (ДХ16-ДХ20)	40-530 432	59-490 269	45-680 325	12,2-210 104	2,0-16,4 5,6	3,7-10,4 5,4	0,45-10,8 4,8	0,66-1,52 0,93	0,62-12,4 7,34
Зун-Нарын (ДХ11-ДХ15)	1050-3500 2052	880-3500 1942	690-2400 1352	240-820 476	1,5-2,9 2,1	10,2-30,0 18,4	10,6-30,0 18,3	0,73-1,01 0,79	13,3-45,0 25,2

Примечание: в каждой точке наблюдения отобрано и проанализировано 5 проб конденсата. В числителе указаны минимальные и максимальные значения концентраций, а в знаменателе – среднее значение по 5 пробам каждого профиля

Полученные данные показывают значительную дисперсию в распределении металлов в пробах, отобранных в разных частях Барун-Нарынского хвостохранилища. Различия в содержаниях на отдельных участках достигают более двух математических порядков. В высоких концентрациях обнаружены такие химические элементы как марганец, железо, цинк и медь. На Барун-Нарынском хранилище конденсат характеризуется наиболее высокими содержаниями железа, а на Зун-Нарынском хранилище в конденсате доминирует марганец. На этом хранилище в конденсате присутствуют в высокой концентрации и другие металлы. Содержание марганца, железа и цинка достигает значений более 1 мг/л. Обнаружена высокая концентрация таких тяжелых металлов как никель, кобальт, свинец, кадмий. Несомненно, высокие концентрации этих химических элементов связаны с окислительным разложением остаточной сульфидной минерализации.

Очень высокие концентрации обнаруживаются среди литофильных химических элементов – алюминия, кремния, фосфора, стронция и лития. Очень высокая концентрация

алюминия установлена в конденсационной влаге, собранной над Зун-Нарынским хвостохранилищем. Здесь его содержание в среднем составляет 4320 мкг/л, изменяясь в интервале 2100-7400 мкг/л. Напротив, высокие содержания кремния и фосфора установлены в конденсационной влаге, собранной над Барун-Нарынским хвостохранилищем (рисунок 12 а, б). Их средние концентрации соответственно составляют 165 и 44 мкг/л, тогда как на Зун-Нарынском хвостохранилище их концентрация составляет соответственно 148 и 23 мкг/л. Концентрация стронция и лития на Зун-Нарынском хранилище составляет 19,5 и 19,2 мкг/л соответственно, а на Барун-Нарынском хранилище всего 9,5 и 1,9 мкг/л.



Зун-Нарынское хвостохранилище
а)

Барун-Нарынское хвостохранилище
б)

Рисунок 12 –Распределение содержания литофильных элементов, мкг/л
Примечание: приведены средние содержания по 5 пробам

В конденсационных водах обнаружены высокие содержания редкоземельных элементов. Суммарное содержание лантаноидов в конденсате Зун-Нарынского хвостохранилища по пяти пробам составляет от 0,479 до 18,133 мкг/л, в среднем 7,634 мкг/л. В конденсационных водах Барун-Нарынского хвостохранилища содержание меньше. По пятнадцати пробам среднее содержание составляет 0,401 мкг/л, при минимуме – 0,126 мкг/л и максимуме – 1,086 мкг/л. Для сравнения укажем, что суммарное содержание редкоземельных элементов в Байкале, в пределах водосбора которого находится рассматриваемая территория, составляет 0,00585 мкг/л [185].

Отходы добычи руд представляют собой горные породы, которые находятся в раздробленном состоянии. Вследствие глубоко проникающей трещиноватости, над отходами добычи пробы конденсата удалось собрать только в 9 случаях из 15 предпринятых попыток. Полевые исследования проводились в период с 11-14 июня 2022 года. На спутниковых снимках (Google Earth) (рисунок 13,14) показаны отходы добычи (общий вид) и места опробования конденсата в местах добычи руды.

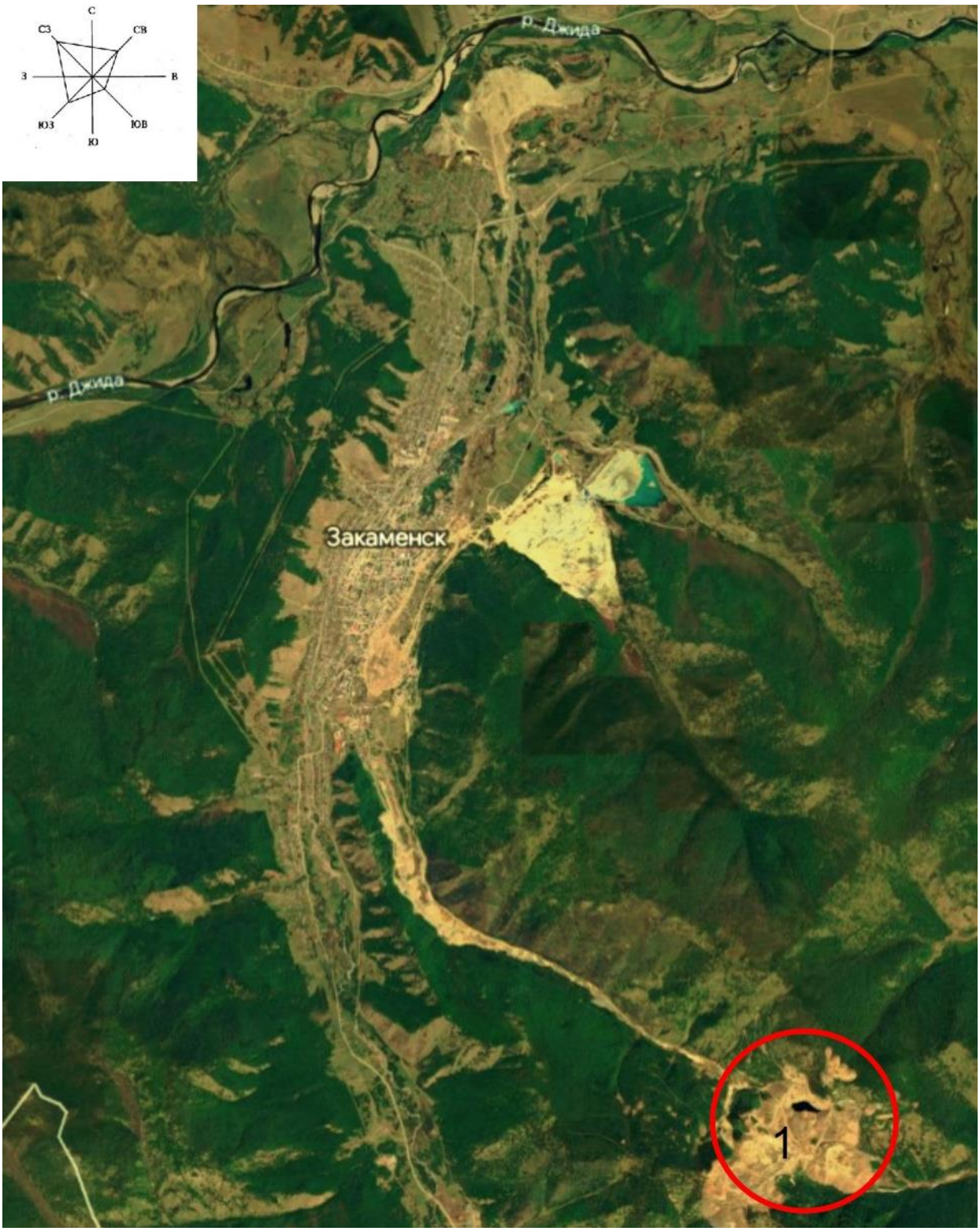


Рисунок 13 – Спутниковый снимок природно-техногенной системы ДВМК
Условные обозначения: 1 – отходы добычи вольфрамо-молибденовых руд (снимок Google Earth)



Рисунок 14 - Спутниковый снимок (Google Earth)
участка складирования отходов добычи руд.
Условные обозначения: 1 – карьер с водоемом, 2 – растительность у подножия склонов, 3- осыпи вскрышных пород, 4 - места установки конденсаторов

На вскрышных породах (рисунок 14) зона аэрации составляет несколько десятков метров. Пространство между отдельными кусками пород и трещин заполнено воздухом, влага присутствует в небольшом количестве. Выпадающие атмосферные осадки подземным стоком удаляются за пределы мест складирования отходов. Потоки аэрозолей формируются только там, где накопились мелкие продукты выветривания пород. В Таблице 5 представлен химический состав собранных проб конденсата.

Таблица 5 – Макрокомпонентный состав конденсационных вод над отходами добычи, мг/л

Профиль опробования (количество проб)	pH	Na^+	Mg^{2+}	K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	Формула Курлова
ОД1-ОД5 (3)	4,6-7,6 6,2	1,06-1,68 1,47	0,24-0,63 0,42	0,42-0,69 0,58	0,75-3,4 1,71	2,91-4,14 3,55	1,24-1,89 1,57	0,8-10,5 4,5	0,015 $\frac{SO_4 39 HCO_3 39 Cl22}{Na46\ Mg\ 23 Ca23}$
ОД6- ОД10 (4)	н,и	1,1-10,3 3,9	0,9-1,7 0,83	0,68-3,5 2,0	2,1-9,2 5,7	5,2-19,5 12,0	1,9-12,5 5,1	6,4-36,3 19,7	0,053 $\frac{HCO_3 45 SO_4 35 Cl20}{Ca49\ Na30\ Mg12}$
ОД11- ОД15 (2)	н,и	2,7-5,5 4,1	0,27-1,41 0,84	2-3,1 2,55	3,1-14,1 8,6	5,25-27,3 16,3	4,9-6,7 5,8	7,8-35,6 21,7	0,063 $\frac{HCO_3 41 SO_4 39 Cl19}{Ca58\ Na24}$

Примечание: приведены средние содержания; н.и - не измерялась. В числителе указаны минимальные и максимальные значения концентраций, в знаменателе – среднее значение по профилю. В формуле Курлова общая минерализация в г/л

На основании полученных данных выявлено, что минерализация конденсационной воды изменяется от 8 мг/л до 99 мг/л, в среднем 43 мг/л.

В анионном составе обычно доминирует гидрокарбонат-ион. В отдельных пробах в высоких концентрациях обнаруживается сульфат-ион.

В катионном составе чаще преобладает кальций. Формирование химического состава этих вод, в основном, связано с выветриванием вмещающих оруденение горных пород.

Микроэлементный состав вод в большинстве отобранных проб формируется за счет экзогенного разрушения горных пород (Таблица 6). В отдельных пробах концентрация некоторых элементов возрастает до значений сопоставимых с конденсатом, отобранном над отходами переработки руд. В этом случае микроэлементы поступают в аэрозоли под воздействием разложения сульфидной минерализации.

Таблица 6 – Средние содержания тяжелых металлов в конденсате, собранном над отходами добычи, мкг/л

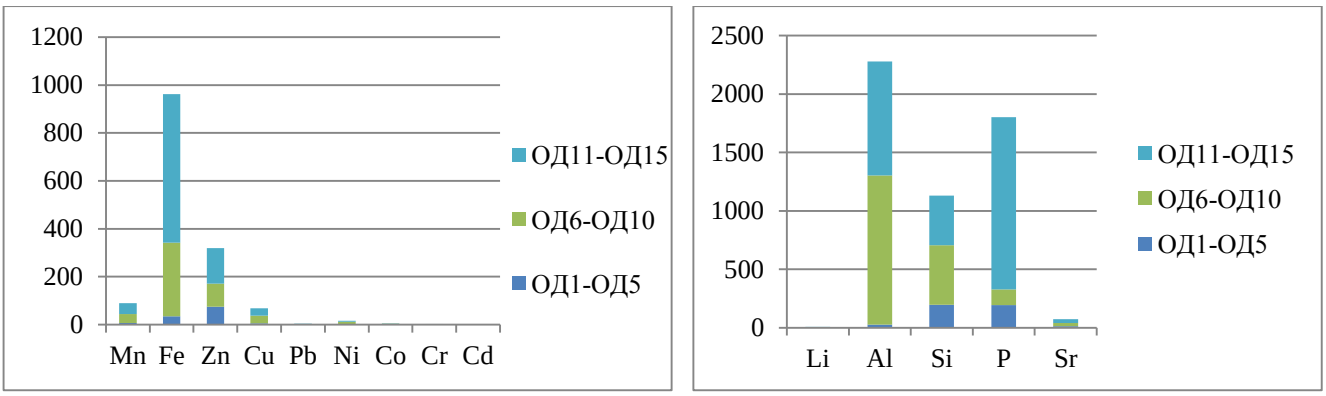
Место отбора, количество определений	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Co	Cr	Cd
ОД1– ОД5 (3)	3,2-10,5 5,9	19,0-52,0 34,6	48,0-123 74,6	4,1-7,1 5,3	0,56-2,1 1,08	0,9-1,7 1,2	0,06-0,13 0,09	0,28-0,49 0,38	0,09-0,44 0,22
ОД6– ОД10 (4)	24,0-71,0 37,5	159-620 307,5	66-144 96,0	17,1-61,0 31,5	0,76-2,5 1,67	3,9-29,0 10,6	0,74-7,3 3,08	0,44-1,05 0,75	0,23-1,29 0,66
ОД11– ОД15 (2)	18,2-73,0 45,6	520-720 620	58-240 149	28,0-35,0 31,5	1,28-1,34 1,31	2,2-6,7 4,4	1,1-4,0 2,6	0,7-1,55 1,12	0,4-1,19 0,79

Примечание: В числителе указаны минимальные и максимальные значения концентраций, в знаменателе – среднее значение по профилю

В разных частях отходов добычи содержание тяжелых металлов изменяется в значительных пределах, что характеризует неравномерность распределения в них рудной минерализации.

В целом наблюдаются высокие содержания тяжелых металлов в южной части вскрышных пород. Содержание их коррелирует с концентрацией железа и серы, на основании чего можно сделать вывод, что возрастание концентрации этих элементов связано с окислением пирита.

Одновременно с увеличением концентрации указанных микроэлементов возрастает содержание алюминия, кремния, фосфора. Их концентрация в конденсате даже превышает содержания железа (рисунок 15).



а) б)

Рисунок 15 – Гистограммы с накоплением средних содержаний халькофильных, сидерофильных (а) и литофильных (б) химических элементов в конденсационных водах над отходами добычи руд (мкг/л)

Условные обозначения: ОД1-ОД5, ОД6-ОД10, ОД11-ОД15 – наименования профилей

В конденсате установлены их максимальные концентрации, достигающие соответственно 3100, 1130, 260 мкг/л. Содержание этих элементов в конденсате увеличивается вследствие химического выветривания пород в кислой среде. Их подвижность в газовой фазе выше, чем подвижность тяжелых металлов, миграция которых связана с разложением сульфидной минерализации.

Представленные материалы показывают, что над отходами добычи формируются аэрозоли водных растворов, в основном, малой минерализации, в которых в микроэлементном составе в большинстве случаев доминируют алюминий, фосфор, кремний, железо и цинк (рисунок 15). Интенсивность поступления в атмосферу этих элементов в разных частях хранилища изменяется в значительных пределах.

Установленные закономерности поведения микроэлементов подтверждаются результатами обработки полученной информации факторным анализом. Для расчетов был использован метод главных компонент, входящий в блок программ Statistica 8.0. Результаты представлены в Таблице 7.

Таблица 7 – Ассоциации элементов и причины выделения факторов в конденсационных водах

№ фактора	Ассоциации элементов	Возможная причина выделения	Собственное значение фактора	Вес фактора, %
1	Li, Be, Al, S, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Y, Rh,Cd, REE, U	Поток аэрозолей из песков, где происходит окисление сульфидной минерализации; растворение кислыми водами карбонатов, алюмосиликатов	28,4	41
2	B, Si, P, Rb, I, Cs, Ba, Hf, Ta, Ir, Pt, Au, Ti	Воздействие выветривания силикатных пород	12,1	17

В конденсационных водах выделяется две группы элементов, находящихся в корреляционных зависимостях. Эти ассоциации формируются при протекании процессов в поровых водах, которые приводят к растворению разных химических элементов. Формирование ассоциаций элементов, связано с неоднородностью распределения рудной минерализации, карбонатных, алюмосиликатных и силикатных пород, заключенных в хранилищах отходов добычи и переработки руд. В силу этого, микрокомпонентный состав поровых вод в различных местах хранилищ формируется под воздействием разных процессов, соответственно, образуются разные ассоциации с различной концентрацией химических элементов. Сформировавшиеся группы химических элементов поровых вод наследуются аэрозольными потоками, выделяющимися в атмосферу, что фиксируется в конденсационных водах.

На диаграмме рассеяния факторов просматривается две ярко выраженные ассоциаций химических элементов (рисунок 16). В ассоциации первого фактора присутствует сера. Следовательно, образование этой ассоциации элементов произошло в результате окисления сульфидной минерализации. В поровом растворе в результате окисления сульфидов накапливаются железо, цинк, медь, кадмий, никель. При окислении пирита формируется агрессивная кислая среда и возрастает миграционная способность РЗЭ, бериллия, алюминия, урана. Поступление этих элементов в поровые воды происходит из вмещающих оруденение пород.

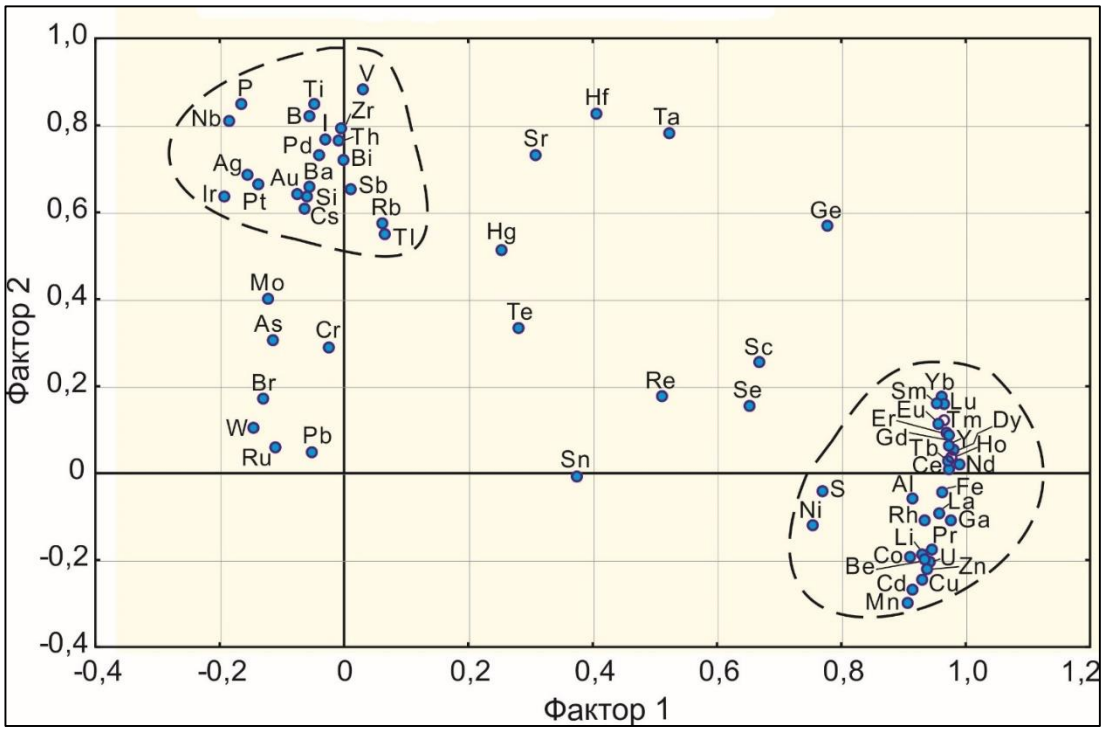


Рисунок 16 – Диаграмма рассеяния факторов 1 и 2 в конденсационных водах

Ассоциация элементов второго фактора, могла быть с сформирована при выветривании эндогенных пород на участках хранилищ без воздействия окисления сульфидной минерализации. Сформировавшаяся ассоциация отражает миграцию элементов в нейтральных и слабощелочных условиях. В этой ассоциации присутствуют кремний, фосфор, титан, цирконий, торий, бор, которые поступают в раствор при химическом выветривании пород. В щелочных условиях увеличивается миграционная способность элементов образующих анионы, поэтому к этой ассоциации примыкают молибден, мышьяк, хром, бром, вольфрам.

О протекании подобных процессов в хвостохранилище Ново-Урского золоторудного месторождения указывалось Бортниковой С.Б. [13, 14, 15]. В ходе изучения конденсационных вод Ново-Урского месторождения, расположенного в Кемеровской области, было установлено в лабораторных условиях, что ряд химических элементов имеет возможность переноситься в паро-газовой фазе при низких температурах окружающей среды. Зафиксирована высокая степень корреляции между содержанием водорастворимых форм элементов и их концентрацией в конденсате, что указывает на то, что основным источником летучих форм этих элементов являются вторичные сульфаты.

Также существует мнение [3], что аэрозольные частицы, испаряющиеся из подстилающей почвенной поверхности, пребывают в приземном слое атмосферы практически не ограниченно по времени.

3.2 Химический состав снегового покрова

Химический состав снегового покрова изучался в период с 2021 по 2023 гг. Для получения информации о протекающих процессах на изучаемой территории определялся макро- и микрокомпонетный состав талых вод, а также минеральный и химический состав взвези, полученной после отстаивания снеговых вод.

Для определения степени загрязнения снега токсичными компонентами за фоновое значение была выбрана точка СХ-14, расположенная в северо-западной части исследуемой местности (рисунок 17). Точка изолирована особенностями рельефа от техногенных объектов, а также по розе ветров находится с наветренной стороны. Расстояние от фоновой точки до техногенных отходов 7 км.

Сравнение концентраций с ПДК производилось в соответствии с Приказом Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. №552 Минсельхоза «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах объектов рыбохозяйственного значения».

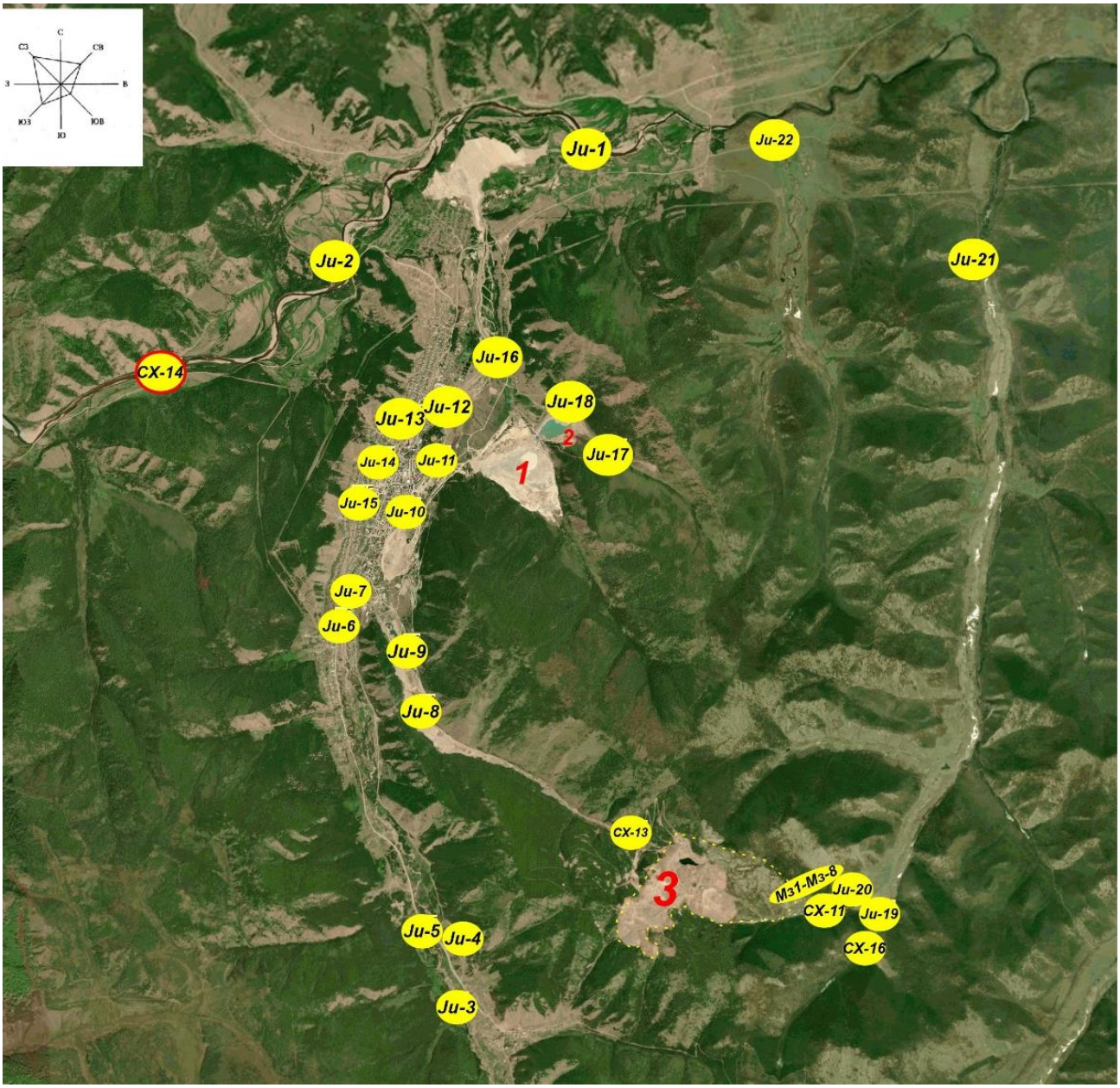


Рисунок 17 – Схема опробования снегового покрова в период с 2021-2023 гг (снимок Google Earth)

Условные обозначения: 1- Барун-Нарынское хвостохранилище; 2- Зун-Нарынское хвостохранилище; 3-отходы добычи вольфрамо-молибденовых руд

Свежевыпавший снег

Снег на отходах переработки вольфрамовых руд изучался в январе 2022 г. Снег был свежевыпавшим и не был загрязнен пылью. На Барун-Нарынском хвостохранилище отобрано 7 проб снега, на Зун-Нарынском хвостохранилище 5 проб. В Таблице 8 приведен его макрокомпонентный состав.

Общая минерализация выпавшего снега на территории хвостохранилищ варьируется в интервале 0,017 – 0,057 г/л. Снег в пределах Барун-Нарынского хвостохранилища относительно более минерализован, чем в Зун-Нарынском хранилище. Наиболее высокая минерализация снега

отмечается в пробе с наиболее высоким содержанием сульфат-иона. В Зун-Нарынском хвостохранилище отмечается относительно более высокое содержание фторид-иона. В основном, в анионном составе преобладает гидрокарбонат-ион, в катионном – кальций. В пробах снега, отобранных с поверхности песков мощностью 8-9 м, воды кислые, а в пробе, отобранной на дне хранилища, откуда пески вывезены на фабрику вторичной переработки - нейтральная (СХ-4).

Таблица 8 – Макрокомпонентный состав снега хвостохранилищ, мг/л

Хвостохранилище	Na^+	Mg^{2+}	K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	F^-	Формула Курлова
Барун-Нарын (СХ1-СХ3) (3)	0,140,33 0,24	2,19-3,28 2,63	0,28-3,28 0,32	4,0-12,02 7,6	3,78-24,86 10,98	2,84-4,25 3,5	0,21-0,34 0,26	0,043 $HCO_3$44$SO_4$39Cl17 Ca61Mg36
Барун-Нарын (СХ4) (1)	0,3	3,65	0,31	4,0	4,11	3,97	0,37	0,036 $HCO_3$56Cl21 $SO_4$16 Mg57 Ca38
Барун-Нарын (СХ5-СХ7) (3)	0,06-0,56 0,23	1,22-2,43 1,9	0,1-0,9 0,4	4,0	1,15-5,1 2,85	2,8-3,97 3,39	0,1-0,12 0,11	0,025 $HCO_3$56 Cl28 $SO_4$17 Ca53 Mg42
Зун-Нарын (СХ10-СХ12) (3)	0,11-0,15 0,13	1,22-1,34 1,3	0,07-021 0,12	3,01-4,01 3,41	2,15-3,45 3,02	2,27-3,69 3,03	0,26-0,39 0,32	0,018 $HCO_3$44 Cl33 $SO_4$22 Ca57 Mg38

Примечание: в числителе указаны минимальные и максимальные значения концентраций, в знаменателе – среднее значение по количеству проб. В формуле Курлова общая минерализация в г/л

Содержание тяжелых металлов в снеговом покрове, опробованном в разных частях хвостохранилищ, изменяется в значительном диапазоне концентраций (Таблица 9).

Таблица 9 – Содержание тяжелых металлов в снеговом покрове обследованных хвостохранилищ, мкг/л

Место отбора, количество определений	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Co	Cr	Cd
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СХ1- СХ3, (3)	47-320 148	37-2700 948	23-340 134	4,7-140 51	2,6-77 28	1,4-10,3 4,6	0,28-12,3 4,54	0,48-2,5 1,2	0,19-5,2 2,0
СХ4	46+-5%	53+-5%	30+-5%	4+-5%	1,9+-5%	1,29+-5%	0,39+-5%	0,57+-6,8%	0,3+-8,4%
СХ5- СХ7, (3)	12,4-21 17,2	18,4-46 31	9,5-30 21,5	0,74-9,9 3,9	0,64-1,79 1,1	0,65-0,72 0,68	0,13-0,37 0,27	0,54-0,66 0,6	0,04-0,12 0,08
СХ10- СХ12, (3)	27-44 36	24-54 35	8,5-27 17,6	0,84-4,7 3,2	0,53-2,9 1,94	0,92-1,21 1,03	0,096-0,38 0,22	0,57-0,88 0,8	0,05-0,34 0,19

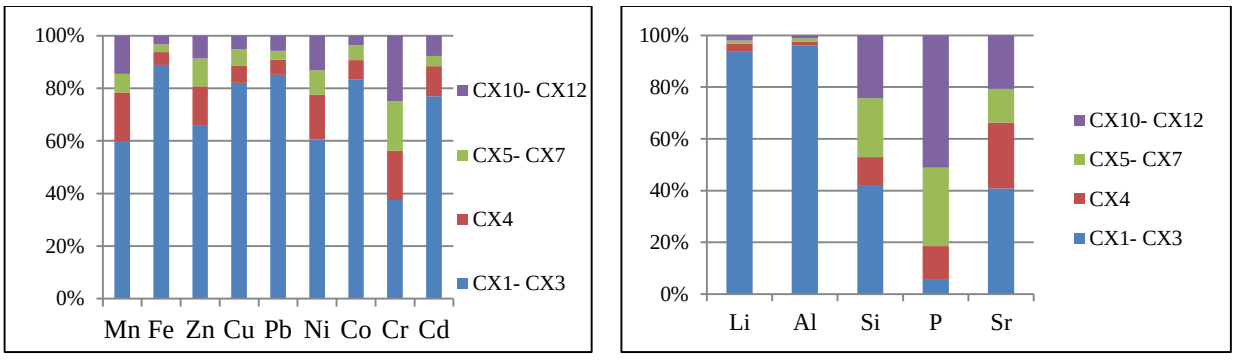
Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПДК мг/л (приказ № 552)	0,01	0,1	0,01-0,05	0,001-0,005	0,006	0,01	0,01	0,02-0,07	0,005
р. Джида	10,3	21	23	19	0,93	8,7	9,6	0,77	9,1
Фон (СХ-14)	6,7	18,3	9,3	0,58	0,45	0,57	0,068	0,73	0,044

Примечание: В числителе указаны минимальные и максимальные значения концентраций, в знаменателе – среднее значение по количеству проб. В точке наблюдения СХ4 основная масса песка вывезена на обогатительную фабрику. В этой строке представлена концентрация химических элементов и ошибка измерения определяемых параметров.

Средние содержания могут различаться более чем на порядок. В Барун-Нарынском хранилище наблюдаются наиболее высокие концентрации железа, тогда как в Зун-Нарынском хранилище преобладает концентрация марганца, здесь в снеге фиксируется комплексный ореол тяжелых металлов. При сравнении с ПДК превышения концентраций достигают несколько математических порядков. При сравнении концентраций по отношению с фоном превышения достигают от 1,6 до 87 раз.

Установленные закономерности указывают на то, что химический состав свежевыпавшего снега формируется за счет потока аэрозолей из подстилающей толщи песков. При выпадении снег взаимодействует с аэрозолями, которые находятся над поверхностью песков. В разных частях хвостохранилищ микроэлементный состав аэрозолей может существенно различаться, поэтому наблюдается значительная дисперсия в их распределении (рисунок 18).



а) б)

Рисунок 18 – Гистограмма нормированного с накоплением распределения халькофильных, сидерофильных (а) и литофильных (б) химических элементов в снеговом покрове хранилищ переработки руд, мкг/л

Наиболее интенсивный поток химических элементов в атмосфере формируется над песками, где находятся кислые поровые воды. В этом случае снег обогащается не только тяжелыми металлами, но и алюминием, литием, кремнием, фосфором. Наибольший вклад в формирование ореола загрязнения воздуха дают части хвостохранилищ, где складированы относительно свежие порции отходов переработки руд. В этих местах в снеге обнаруживаются не только высокие содержания железа и марганца, но и свинца, меди, кобальта, кадмия, цинка [102].

Для выявления корреляционных зависимостей в концентрациях химических элементов в снеговом покрове был проведен факторный анализ, результаты этого исследования приведены на рисунке 19.

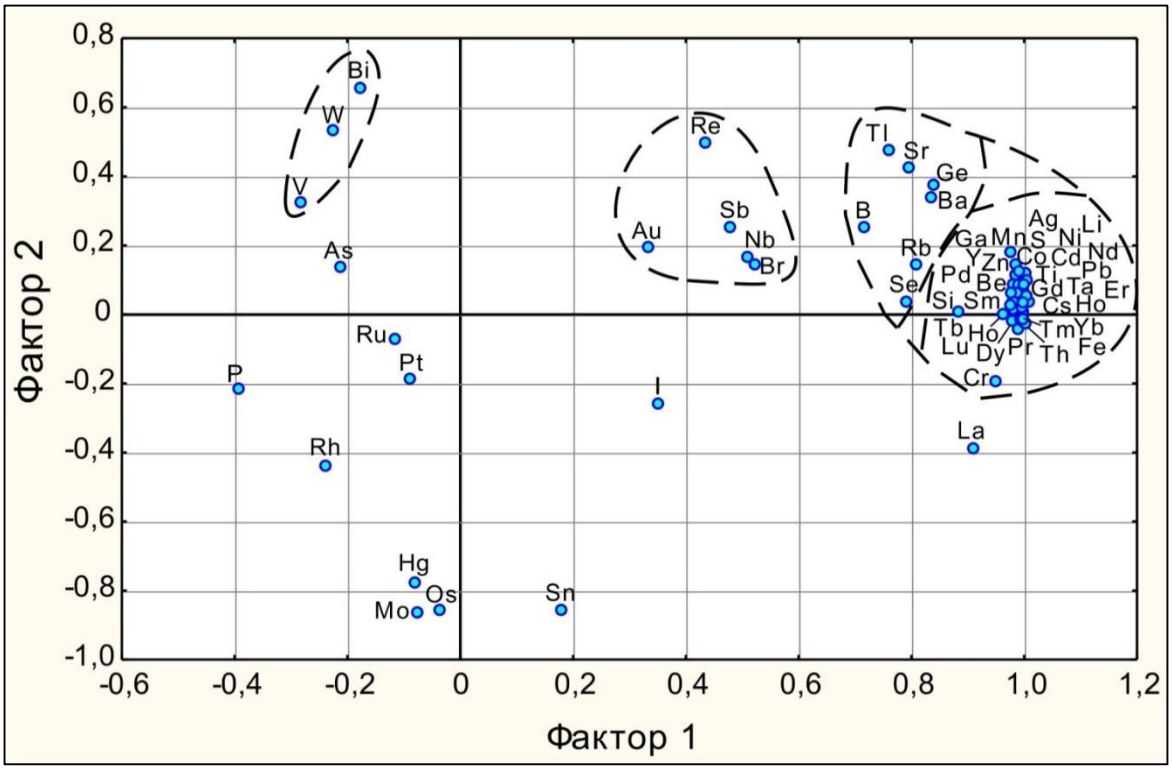


Рисунок 19 – Диаграмма рассеяния факторных нагрузок в свежевыпавшем снеге

Распределение ассоциаций элементов во многом напоминают выявленные закономерности в конденсационных водах. Здесь наблюдается ярко выраженная ассоциация химических элементов, связанная с окислением сульфидной минерализации и увеличением миграционной способности в кислой среде. В этой ассоциации, связанной корреляционной зависимостью с серой, находится большинство лантаноидов, тяжелых и благородных металлов, бериллий, торий, литий, цезий, рубидий. Некоторые из них поступают в раствор при окислении сульфидов, другие при взаимодействии кислых вод с породой. В отличие от конденсационных вод в свежевыпавшем снеге не выделяется ассоциация элементов, связанная с миграцией в щелочных условиях. На это мог повлиять тот факт, что опробование проведено на ограниченном

участке хвостохранилищ и не были затронуты участки, где не присутствовала бы сульфидная минерализация. Во втором факторе в отдельную ассоциацию выделяются висмут, вольфрам, ванадий. Эти элементы и мышьяк мигрируют в анионной форме, они поступают в снег с аэрозолями, которые образуются над участками с небольшим содержанием сульфидов или где находятся карбонатные минералы, вследствие чего поровые воды имеют нейтральную или слабощелочную реакцию среды.

Кластерный анализ выборки подтверждает сделанные выводы о условиях формирования химического состава свежевыпавшего снегового покрова (рисунок 20).

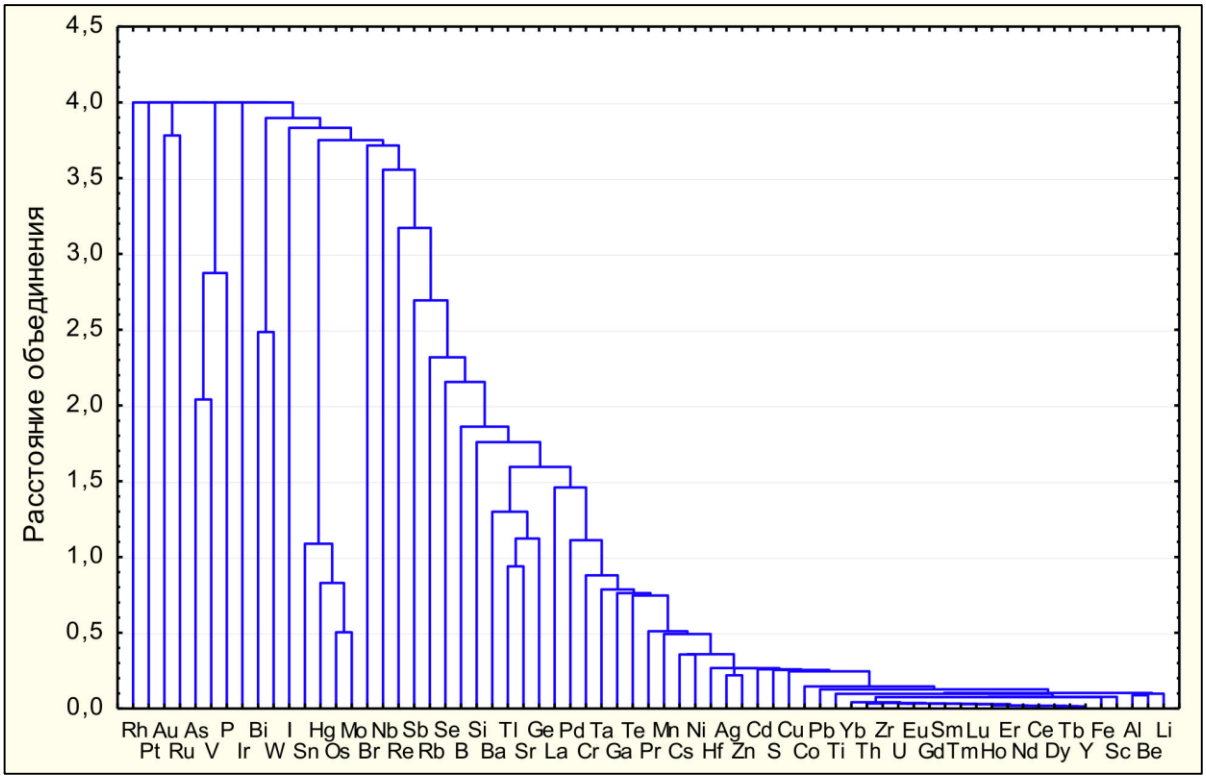


Рисунок 20 – Дендрограмма химического состава свежевыпавшего снегового покрова

В правой части дендрограммы выделяются химические элементы, находящиеся в корреляционной зависимости друг с другом. В том числе наблюдается тесная корреляционная зависимость РЗЭ с железом и свинцом, что может указывать на их поступление из пирита и галенита. Ассоциация алюминий, бериллий, литий могла быть образована при кислотном разрушении литиевых разновидностей берилла, который присутствует в вольфрамовых рудах Джидинского месторождения.

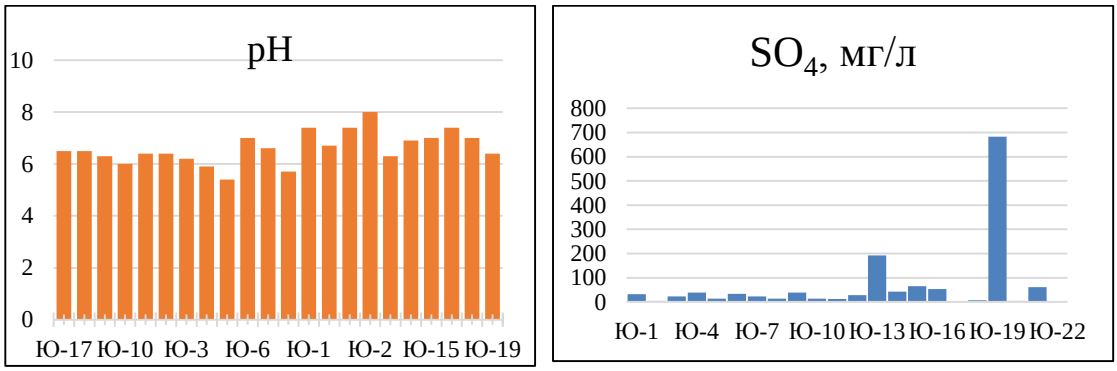
Снеговой покров за весь период снегонакопления

При исследовании территории природно-техногенной системы ДВМК было отобрано 22 пробы снегового покрова, которые включали в себя места складирования отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината, селитебную часть города Закаменск, прилегающие к

городу территории. Точки отбора располагались также на объектах бывшей инфраструктуры комбината – заброшенные штольни с рудничными водами, территория обогатительной фабрики и др. Пробы отбирались в конце сезона снегонакопления – в конце марта.

В точках отбора показатель pH характеризуется как слабо-кислый, общая минерализация составляет в среднем 148 мг/л. Наибольший показатель общей минерализации талой воды снегового покрова зафиксирован в районе Первомайского рудника в долине р. Мыргеншено (968,51 мг/л), наименьший – вблизи истока р. Зун-Нарын (19,45 мг/л). Относительно высокая минерализация характерна для снегового покрова в западной части территории города Закаменска (167,69 – 463,60 мг/л).

Согласно формуле Курлова талые воды относятся к пресным гидрокарбонатно-сульфатным натриево-кальциево-магниевым.

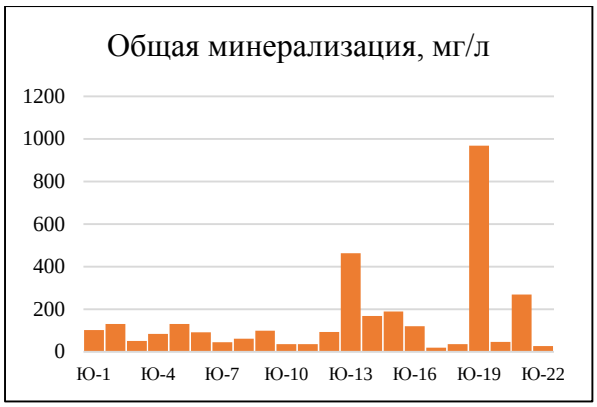


а) б)

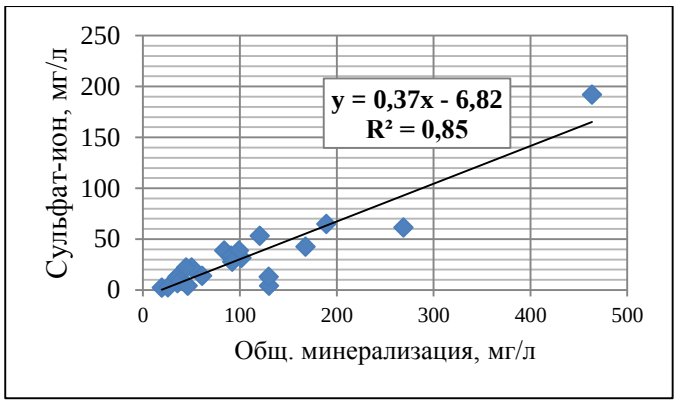
Рисунок 21 – Гистограммы распределения показателя pH (а) и сульфат-иона (б) в пробах снега

Среди анионов преобладает сульфат-ион, его концентрация в одной точке (Ю-19) достигают 682,57 мг/л, без учета этой точки концентрация изменяется в интервале 2,63 – 64,97 мг/л, аномально высокое содержание зафиксировано в пробе (Ю-13), отобранной в западной части Закаменска (192,23 мг/л) (рисунок 21 а, б). Средняя концентрация гидрокарбонат-иона 44 мг/л. Диапазон изменения его содержания меньше, чем у сульфат-иона. Значительное количество продуктов диссоциации угольной кислоты присутствует в форме свободного углекислого газа, средняя концентрация составляет 19 мг/л, максимальная достигает 119 мг/л. Возрастание доли свободного углекислого газа обусловлено кислой средой, установившейся в снеговом покрове под воздействием переноса паров серной кислоты от хранилищ воздушными потоками.

По результатам анализов установлена корреляционная зависимость между общей минерализации и содержанием сульфат-иона (рисунок 22).



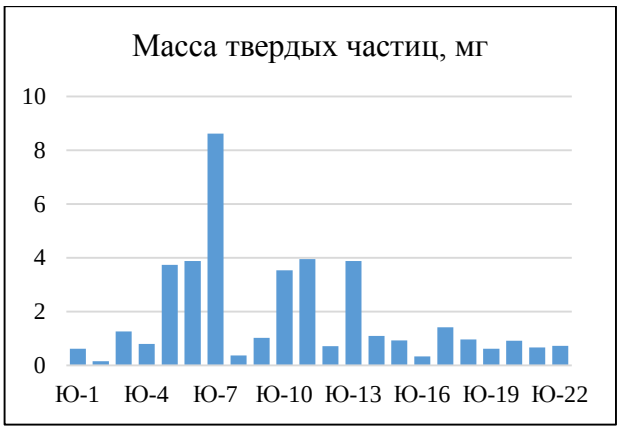
а)



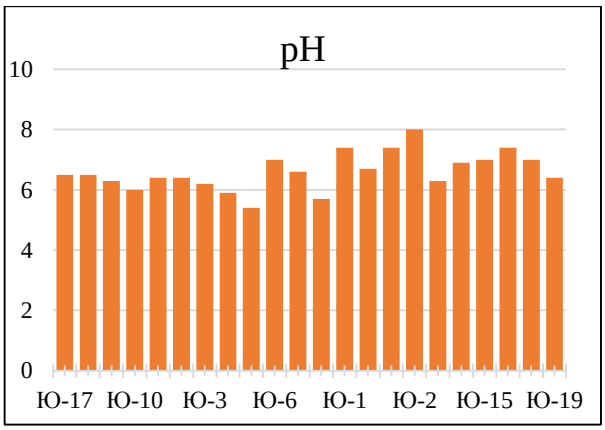
б)

Рисунок 22 – Распределения общей минерализации (а) и корреляция содержания сульфат-иона и общей минерализации (б) в пробах снега, мг/л

Снег содержит в себе пыль, количество которой в отдельных точках наблюдения достигает 10 грамм. Какой-либо зависимости между содержанием пыли, общей минерализацией и значениями pH не установлено [102] (рисунок 23, а, б).



а)



б)

Рисунок 23 – Гистограммы распределения содержания пыли, (а) и значений pH (б) в снеге

Микрокомпонентный состав снегового покрова характеризуется большим количеством растворенных химических элементов, среди которых, в первую очередь выделяются тяжелые металлы. При оценке загрязнения окружающей среды к тяжелым металлам принято причислять более 40 металлов периодической системы с атомной массой более 50 атомных единиц. Причем, отнесение их к этой группе объясняет их высокая токсичность для биоты. К таким металлам относят Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Bi, Hg и др. Токсичность перечисленных химических элементов вызывает морфологические и мутационные изменения в живых организмах, в отдельных случаях приводя к гибели. Многие металлы, находящиеся в составе рудных формаций и поступающие в биосферу в процессе техногенеза в большинстве своем, не участвуют в процессах самоочищения. В процессе миграции они изменяют уровни своего содержания или

формы нахождения в том или ином компоненте биосферы. Участвуя во всех видах миграционных потоков, они несомненно приводят к загрязнению воздуха, воды и продуктов питания. Особую опасность представляют миграционные потоки Zn, Cd, Hg, Pb, Co, Ni. В результате очень низких кларков этих элементов в природе живые организмы не способны адаптироваться к таким высоким концентрациям, поэтому токсичность элементов у живых организмов проявляется на наследственном уровне. Например, соединения меди раздражают слизистые оболочки дыхательных путей, свинец вызывает патологические изменения в нервной системе, сосудах и крови, мышьяк и сурьма приводят к расстройству нервной системы и нарушениям обмена веществ, воздействие соединений кадмия увеличивает число острых респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний.

Что касается объекта исследования и его влияния на живые организмы, то экспериментально было доказано, что пыль от техногенных отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината вызывает легочное воспаление и сосудистую дисфункцию [190]. Выявлена прямая корреляционная зависимость между концентрацией Pb и Cd во вдыхаемой фракции пыли и воспалением легких. На рисунке 24 представлен диапазон изменения содержания различных химических компонентов в талой воде, где столбиками показан диапазон изменения концентрации компонента, чертой внутри столбика указаны средние содержания.

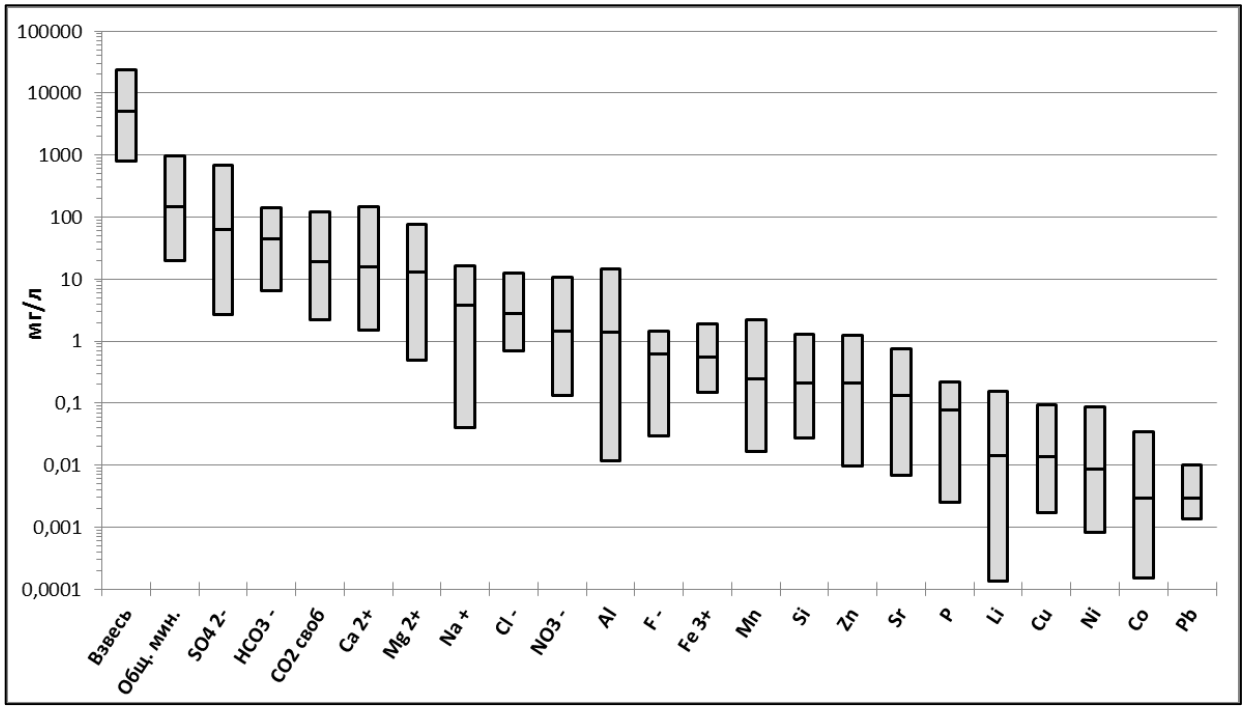


Рисунок 24 – Диапазон изменения содержания компонентов в талой воде снегового покрова территории, подверженной воздействию хранилищ отходов добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд (чертой в столбике выделены средние содержания), мг/л

Среди микроэлементов аномально высокими концентрациями выделяется алюминий - 14600 мкг/л (Таблица 10). Наблюдается значительная дисперсия в его концентрации, которая достигает трех математических порядков и превышает ПДК в сотни раз. В снеговом покрове зафиксированы высокие содержания железа (1500 мкг/л), марганца (2200 мкг/л), кремния (1280 мкг/л), цинка (1260 мкг/л), меди (95 мкг/л), никеля (87 мкг/л), фосфора (220 мкг/л). Перечисленные значения при сравнении с фоновой точкой также показывают превышение в концентрациях от 1,5 до 262 раз. Также приведены сравнения с химическим составом воды в р. Джида, являющейся главной водной артерией района исследования. В Таблице 10 представлен микрокомпонентный состав талой воды в сравнении с содержанием в р. Джида и ПДК для вод рыбохозяйственного назначения.

Таблица 10 – Микрокомпонентный состав снега на территории г. Закаменск, мкг/л

г. Закаменск	Al	Fe	Mn	Si	Zn	Cu	Ni	P
Концентрация химического элемента	11,5-14600 / 1971	13,4-76 / 31	16,6 – 2200 / 247	27-1280 / 214	9,5-1260 / 207	1,71-95 / 14	0,82-87 / 8,5	16-220 / 80
ПДК(мг/л) (приказ № 552)	0,04	0,01	0,01-0,05	-	0,01-0,05	0,001-0,005	0,01	0,1
р.Джида	13	21	10,3	-	23	19	8,7	26
Фон (СХ-14)	7,5	18,3	6,7	20	9,3	0,58	0,57	21

Примечание: в числителе указаны минимальные и максимальные значения концентраций, в знаменателе – среднее значение по 22 пробам снега

Отдельно следует выделить группу редкоземельных элементов. Согласно геохимической классификации химических элементов В.И. Вернандского, к редкоземельным элементам относятся элементы периодической системы от лантана до лютеция, иттрий и скандий, взаимосвязь которых устанавливается по признакам их тесного взаимодействия в различных условиях земной коры.

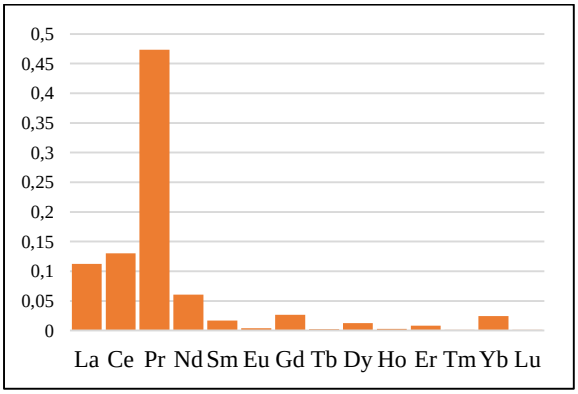


Рисунок 25 – Содержание лантаноидов в талых водах, мкг/л

В талых водах суммарные концентрации редкоземельных элементов (РЗЭ) варьируются от 0,552 до 1,396 мкг/л, среднее содержание составляет 0,876 мкг/л. Высокими концентрациями отличаются Pr, Gd и Yb. На рисунке 25 приведены средние содержания лантаноидов по 22 пробам.

В ходе исследований установлена взаимосвязь содержаний редкоземельных элементов и сульфат-иона (рисунок 26). Наблюдается как общая зависимость суммарного содержания редкоземельных элементов от концентрации сульфат-иона, так и отдельных редкоземельных элементов. Исключение составляют только две пробы с аномально высоким содержанием сульфат-иона.

В основной массе отобранных проб сульфат-ион поступает в снег из мест хранения отходов переработки руд. В хвостохранилищах активно протекают процессы окислительного разрушения не только остаточной сульфидной минерализации, но и вмещающих оруденение пород. Ранее было установлено, что в результате длительного взаимодействия кислых поровых вод с вмещающими породами в них стали преобладать тяжелые редкоземельные элементы [129, 104]. Такое распределение редкоземельных элементов наблюдается в снеговом покрове. Только в отличие от поровых вод в снеге наблюдается аномально высокое содержание празеодима, гадолиния и иттербия. Такое их поведение связано с особенностями их свойств, которые проявляются при смене фазово-агрегатного состояния.

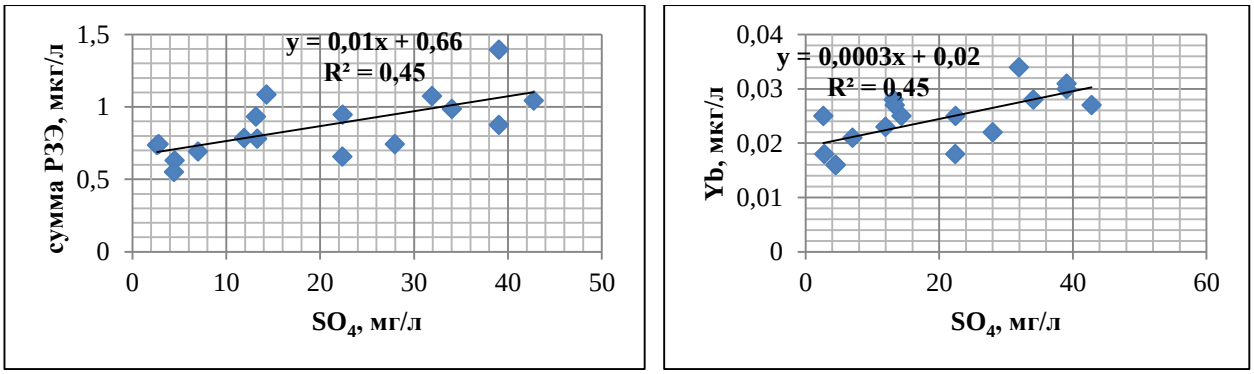


Рисунок 26 – Графики зависимостей содержания редкоземельных элементов от количества сульфат-иона в снеговой воде

Известно, что редкоземельные элементы могут мигрировать в водах в растворенном и сорбированном на взвеси состоянии. В растворенном состоянии подавляющая часть редкоземельных элементов (92-95 %) в пресных подземных водах мигрирует в виде карбонатных комплексных соединений ($РЗЭСО_3^+$). Второе место занимает безкомплексная форма ($РЗЭ^{3+}$). Третьей формой миграции для легких является сульфатная форма ($РЗЭSO_4^+$), для тяжелых РЗЭ в виде комплекса с фтором [34].

В поверхностных водах основной формой миграции редкоземельных элементов является взвешенная форма (до 80 %), в то время, как на долю растворенной формы приходится менее

20 % суммарного количества лантаноидов. Тяжелые редкоземельные элементы более устойчивы в растворенном состоянии, наблюдается некоторое обеднение взвесей рек этими элементами [161].

Взвешенная форма редкоземельных элементов играет большую роль в переносе вещества в атмосфере и в формировании аномалий в снеговом покрове. Это связано с тем, что в местах хранения РЗЭ высаживаются из поровых вод на тонкой взвеси, которая образуется при выветривании пород хранящихся в хвостохранилищах. Затем эта взвесь под воздействием ветра попадает в атмосферу и выпадает на поверхность вместе со снегом. При таянии снега РЗЭ частично десорбируются и попадают в раствор. Чем больше такой взвеси в снеге, тем выше концентрация РЗЭ в талой воде.

Основной неорганической формой миграции РЗЭ в атмосферных осадках выступает сульфатная форма $(REE)[SO_4]^{+1}$. В нейтральных и кислых водных растворах ионы празеодима могут находиться в составе аквакомплексов типа $[Pr(H_2O)_n]^{3+}$ и гидроаквакомплексов $[Pr(H_2O)_nOH]^{2+}$ где n= 5-8 [74]. Да и в целом растворенная форма миграции больше характерна для легких и меньше для тяжелых РЗЭ [34].

В отходах переработки руд до сих пор протекают химические реакции окисления оставшейся сульфидной минерализации, в результате чего в поровых водах сформирована агрессивно-кислая среда, накоплены токсичные химические элементы: Mn, Cd, Al, Cu и др. Окисление сульфидов происходит с выделением тепла. В результате создаются конвективные потоки газов и воды, направленные из толщи к поверхности. В этих потоках происходит миграция вещества, как в водной, так и в воздушной среде.

На Барун-Нарынском хвостохранилище за длительный период хранения в толще песков накопилось большое количество тонкой фракции взвеси, состоящей из продуктов выветривания пород, на которой сорбируются редкоземельные элементы. Аномальное содержание празеодима в снеге связано с тем, что этот элемент слабо сорбируется взвесью. Его сульфатные комплексные соединения хорошо мигрируют в водной и воздушной среде.

На Зун-Нарынском хвостохранилище взвеси значительно меньше, так как она удалена из песков при их промывке. Здесь мы в снеге наблюдаем высокие содержания сульфат-иона и многих микроэлементов, включая лантаноиды. Аномально высокие содержания сульфат-иона, тяжелых металлов и установленное содержание празеодима связано с активизацией окислительного разрушения сульфидной минерализации в толще песков, так как произошло вымывание гипергенных образований и сульфиды оказались доступными для агентов выветривания [34].

Факторный анализ выборки проб снега, накопленного за весь период холодного сезона, показал, что выделяется два фактора (Таблица 11). Набор химических элементов в ассоциации

первого фактора позволяет предполагать, что воздействие на химический состав снегового покрова происходит из-за испарения минерализованных поровых вод из хвостохранилищ. В этой ассоциации присутствует сера, продукты разложения сульфидов – Zn, Cd, Cu. Воздействие кислых вод на горные породы при длительном хранении проявляется в высоком содержании Be, Mn, U, Al.

Таблица 11 – Ассоциации элементов в снеговом покрове

№ фактора	Ассоциации элементов	Возможная причина выделения	Собственное значение фактора	Вес фактора
1	S, Cd, Be, Sc, Li, Cs, Zn, Ni, Co, Mn, Sr, U, Al, Cu	Воздействие испарение из хвостохранилищ, где протекают окислительные процессы и сформирована в поровых водах кислая среда	27,2	0,4
2	Nb, Ti, Ge, Zr, Mo, W, V, Fe, Sb, Th, As, P	Воздействие испарения с нарушенной горными работами территории	14,8	0,2

Второй фактор выделяется под воздействием испарения поровых вод с нарушенной горными работами территории. Природно-техногенная территория ДВМК занимает площадь около 100 км^2. Здесь производилась разработка не только коренных месторождений вольфрама и молибдена, но и россыпных месторождений вольфрама и золота. В результате горных работ нарушен растительный, почвенный покров, вследствие чего активизировались процессы выветривания пород, ускорилось взаимодействие в системе вода-порода. В грунтовых и поровых водах зоны аэрации стали накапливаться продукты гидролиза алюмосиликатных эндогенных пород. Под воздействием капиллярных сил поровые воды поступают к поверхности, испаряются в атмосферу и выносят в составе пара растворенные вещества. В основном, ассоциацию элементов второго фактора составляют продукты разложения пород, не затронутых рудным процессом – Ti, P, V, Th, Zr и др. В этой ассоциации присутствуют вольфрам и молибден. Это связано с тем, что их подвижность возрастает в щелочных условиях, которые создаются при гидролизе алюмосиликатов. Все породы исследованного района испытали воздействие рудообразующих процессов, поэтому в эндогенных породах отмечаются повышенное содержание вольфрама и молибдена. Это проявляется в росте их концентрации в испаряющейся воде.

На диаграмме рассеяния первого и второго факторов наблюдается очень сложная зависимость между химическими элементами (рисунок 27).

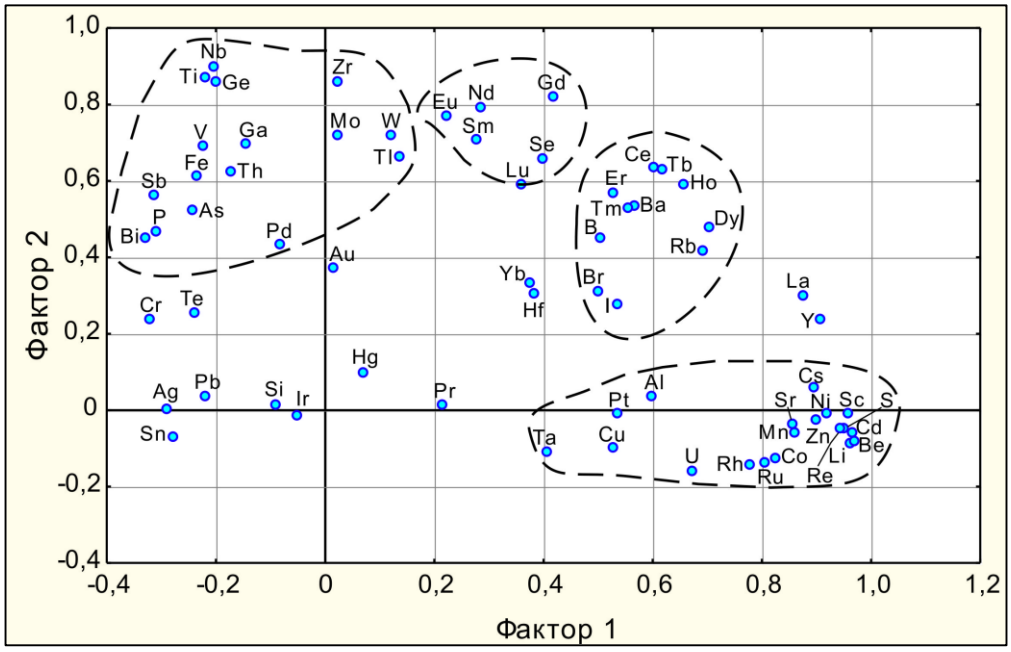


Рисунок 27 – Диаграмма рассеяния факторных нагрузок в снеговом покрове старого снега

В длительно формирующемся снеговом покрове ассоциации нарушаются, так как на его химический состав воздействует несколько факторов. В снег попадает пыль, начинают протекать процессы сорбции-десорбции с участием твердой фазы. Меняется газовый состав, добавляются химические элементы из других источников загрязнения. В результате вымораживания возрастает минерализация растворов и происходит кристаллизация труднорастворимых соединений.

Как и в конденсате, в снеговом покрове сохраняется корреляция серы (сульфат-ион) с бериллием. Также сохраняется корреляция содержаний брома и йода. В отличие от них в результате протекающих процессов в снеговом покрове нарушается единообразное поведение редкоземельных элементов. Это хорошо видно на R-дендограмме кластерного анализа (рисунок 28).

Сохраняется единообразное поведение только между диспрозием, гольмием и тулием. Поведение лантана при формировании снегового покрова коррелирует со скандием и иттрием. Поведение церия близко с поведением неодима. В какой-то мере одинаково себя ведут тербий, гадолиний, европий, самарий и эрбий. Резко от этих РЗЭ отличается поведение празеодима и иттербия. Установленное нарушение единообразного поведения РЗЭ необходимо изучать при проведении дальнейших исследований.

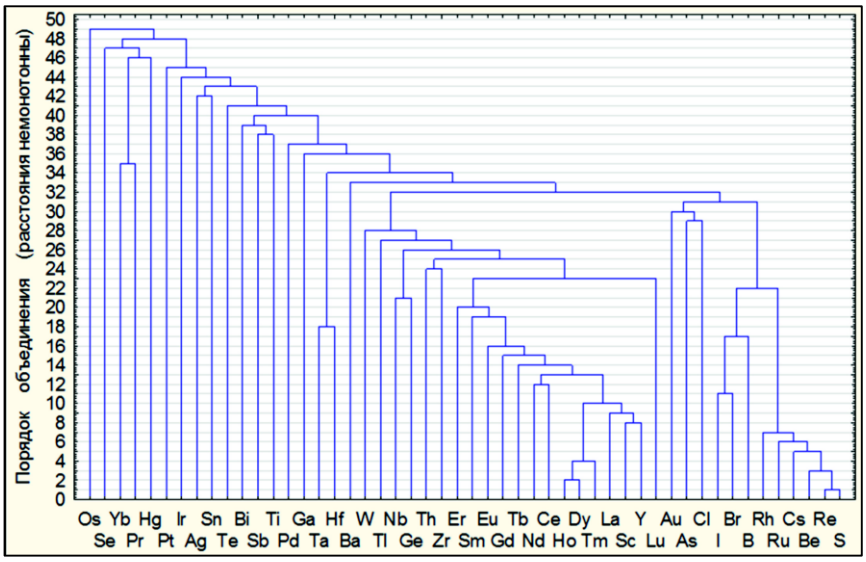


Рисунок 28 – Дендрограмма кластерного анализа химического состава снегового покрова

Считается, что процесс миграции влаги в пористых телах, которые находятся в состоянии заморозки, происходит благодаря трем основным механизмам: диффузии водяного пара, движению незамерзающих водяных пленок по поверхности частиц и перемещению незамерзающих слоев влаги между льдом и твердыми поверхностями. Неспособность этих пленок замерзать объясняется воздействием поверхностных сил, которые изменяют структуру граничных слоев воды. В отличие от обычных водяных пленок, которые просто распределяются по твердой поверхности, незамерзающие слои влаги образуют уникальную граничную фазу льда. Эта фаза подвергается такому значительному влиянию соседних поверхностей, что создаются условия для перехода из кристаллического состояния в аморфное или квазижидкое [52].

Рассмотрим распределение выявленных ассоциаций химических элементов по площади опробования с использованием Q-дендрограммы кластерного анализа (Рисунок 29).

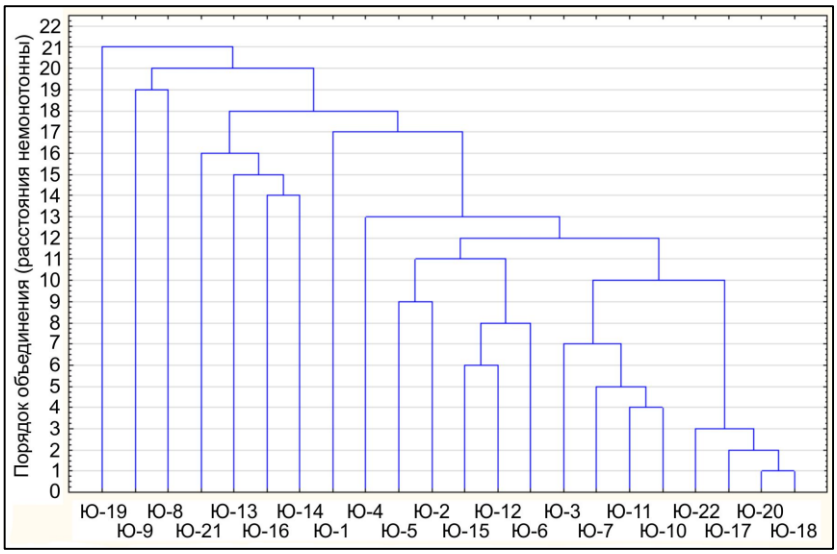


Рисунок 29 – Дендрограмма кластерного анализа места расположения проб снега

Выделяется шесть мест отбора проб, находящихся в корреляционной зависимости. В первых трех группах проб корреляционная зависимость относительно более значимая, в последующих более размытая. Наиболее значимой связью выделяются пробы снега, химический состав которого находится под воздействием незамерзающих водотоков рек и ручьев Мыргеншено, Модонкуль, Зун-Нарын (Ю-17, Ю-18, Ю-20, Ю-22). Эти водотоки испытывают воздействие разгрузки штольневых, подотвальных вод. Вторая группа состоит из проб снега отобранных в восточной части г. Закаменск и в п. Холтосон (Ю-10, Ю-11, Ю-7, Ю-3).Эти пробы испытывают воздействие за счет рассеивания пыли от мест складирования вскрышных пород и территории нарушенной горными работами. Третья группа проб отобрана в западной части г. Закаменск, снеговой покров которой подвергается воздействию выбросов автомобильного транспорта, систем центрального и частного отопления жилья. Четвертая группа проб отобрана на удалении от источников загрязнения в долине рек Джида и Модонкуль (Ю-2, Ю-5). Пятая группа проб отобрана на удалении от дамб, отвалов вскрышных пород, на рекультивированной территории (Ю-14, Ю-16, Ю-13, Ю-21). Шестая группа проб отобрана в долине руч. Инкур, в районе старой обогатительной фабрики на рекультивированной территории.

По мнению Тентюкова М.П [139], формирование накопления примесных элементов на геохимических барьерах в снеговом покрове происходит как сверху, так и снизу. Поверхностные аномалии возникают благодаря осаждению аэрозольных частиц, тогда как нижние аномалии связанны с поступлением растворимых форм загрязняющих веществ вследствие термодиффузиофореза с участием влаги из почвы. Процесс барьерообразования регулируется физическими характеристиками снегового покрова. Из-за возгонки снеговых кристаллов температура в верхнем слое снега остаётся ниже температуры воздуха под ним. Это приводит к образованию устойчивого массового движения водяных паров и соосаждению аэрозолей в условиях снеговой инверсии. Благодаря этому формируется термодиффузионный геохимический барьер на поверхности, усиленный высоким содержанием примесных элементов. Накопление этих элементов в среднем слое снега связано с механическим капиллярным барьером, который образуется в уплотнённой части снеговой массы, появившейся в периоды оттепели. В нижней части снежной толщи различие теплоёмкостей снега и сезонно промерзающих грунтов вызывает термодиффузиофорез растворимых форм в водяных парах почвы. Это явление создаёт криогенный термодиффузионный геохимический барьер, который способствует накоплению легкорастворимых примесей в кристаллах глубинного льда. При изучении вещественного состава снегового покрова наиболее высокими концентрациями алюминия, меди, марганца цинка и сульфат-иона отличались пробы в долине р. Мыргеншено. Для более подробного исследования этих аномалий снеговой покров в долине р. Мыргеншено был изучен более детально с 1 по 3 марта 2023 года. Было отобрано 8 проб по одному профилю (рисунок 30).



Рисунок 30 – Схема опробования, вынесенная на снимок Google Earth, снегового покрова в долине р. Мыргеншено (март, 2023)

Условные обозначения: 1-точка отбора снегового покрова

Общая минерализация выпавшего снега в точках отбора достигает 544,2 мг/л. Наиболее высокая минерализация снега отмечается в пробе с наиболее высоким содержанием гидрокарбонат-иона. В анионном составе преобладает сульфат-ион, в катионном – магний. По показателю pH среда характеризуется в целом как слабокислая. Талые воды характеризуются как сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные-натриево-кальциевые, ультрапресные. В Таблице 12 представлен макрокомпонентный состав изучаемых проб.

Таблица 12 – Макрокомпонентный состав снега в долине р. Мыргеншено, мг/л

Отходы добычи (снег)	pH	Na^+	Mg^{2+}	K^+	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	F^-	HCO_3^-	Формула Курлова
М31-М38	4,79-6,3 / 5,78	0,75-4,83 / 2,06	0-91,93 / 11,66	0,25-1,88 / 0,79	1,2-60,1 / 9,67	0,63-278 / 36,42	0,43-3,29 / 1,37	0,07-89,87 / 11,4	5,49-18,92 / 9,53	$\frac{0,07}{HCO_3\ 72Cl\ 13\ SO_4\ \ 12}{Ca54\ Na\ 29}$

Примечание: данные представлены по 8 пробам (в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее значение). В формуле Курлова общая минерализация в г/л

Среди тяжелых металлов в талых водах наиболее высокими концентрациями характеризуются марганец, цинк, железо, медь, никель, кобальт (Таблица 13). При сравнении с ПДК концентрации химических элементов превышают нормы в тысячи и десятки тысяч раз. Относительно фоновой точки превышения достигают десятки и сотни раз.

Таблица 13 – Содержание тяжелых металлов в снеговом покрове в долине р. Мыргеншено, мкг/л

Место отбора, количество определений	Mn	Fe	Zn	Cu	Pb	Ni	Co	Cr	Cd
МЗ-1-МЗ-8	5,4-6200 / 792	11,4-850 / 122	13,9-4000 / 526	2,7-2200 / 286	1,9-3,9 / 2,4	0,68-290 / 38	0,09-300 / 38	0,24-2 / 0,5	0,22-74 / 10
ПДК (приказ № 552)	10	100	10-50	1-5	6	10	10	20-70	5
р.Джида	10,3	21	23	19	0,93	8,7	9,6	0,77	9,1
Фон (СХ-14)	6,7	18,3	9,3	0,58	0,45	0,57	0,068	0,73	0,044

Примечание: данные представлены по 8 пробам (в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее значение)

На данной территории происходит сток подотвальных высокоминерализованных вод, которые приносят в реку токсичные вещества. Река в зимнее время во многих местах не замерзает, под воздействием испарения образуется иней. Выпадающий снег поглощает аэрозоли, в составе которых присутствуют токсичные металлы.

При таянии снегового покрова талые воды приносят в р. Джида значительные количества токсичных металлов, которые оказывают негативное воздействие на биоту.

Изучение вещественного состава хранилищ отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината показывает, что в районе исследования постоянно образуются ореолы загрязнения приземной атмосферы. Установлено, что наиболее высокими концентрациями отличаются сульфат-ион и такие токсичные микрокомпоненты как алюминий, марганец, железо, цинк. Жидкие аэрозоли и пыль переносятся разными потоками, не связанными друг с другом и не коррелируют между собой.

Загрязнение приземной атмосферы происходит при испарении высокоминерализованных поровых вод хранилищ отходов и переработки вольфрамо-молибденовых руд. При длительном хранении отходов горнодобывающего производства в загрязнении приземной атмосферы увеличивается количество химических элементов, поступающих из вмещающих горных пород.

В отходах добычи в составе аэрозолей преобладают литофильные элементы, которых значительно больше чем халькофильных элементов.

В зимнее время токсичные вещества накапливаются в снеговом покрове. При таянии снегового покрова токсичные компоненты мигрируют с водными потоками, нанося значительный ущерб водным ресурсам. Учитывая то, что рассматриваемая природно-техногенная система относится к буферной экологической зоне Байкальской природной территории, негативное воздействие отходов добычи и переработки может сказываться на экологическом состоянии озера Байкал.

ГЛАВА 4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПЫЛЬЮ

4.1 Вещественный состав твердой фазы снегового покрова на территории г. Закаменск

Техногенные эмиссии в атмосферный воздух распространяют газообразные и твердые вещества на большие расстояния. Снеговой покров является важным компонентом, осаждающим и аккумулирующим в себе химические элементы различного генезиса.

Загрязняющие вещества снегового покрова мигрируют в двух типах агрегатных состояний: водорастворимые формы загрязняющих веществ переходят в снеговую воду, нерастворимые формы являются частью твердого осадка снега [159].

Для подробного описания экологической ситуации следует учитывать все известные источники негативного воздействия. На территории г. Закаменск согласно государственному реестру объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду существуют промышленные предприятия 1 и 2 категории – это центральная котельная города, городские очистные сооружения и предприятие ООО «Литейщик».

В настоящее время теплоснабжение основной части г. Закаменск осуществляется централизованно от центральной котельной с установленной теплопроизводительностью 77 Гкал/час с использованием мазута марки М-100.

В г. Закаменск функционируют очистные сооружения биологической очистки, введенные в эксплуатацию в 1978 году. При проектной мощности 8160 м^3/сутки, фактически на сооружения поступает 2374,73 м^3/сутки, то есть фактическое использование мощности очистных сооружений составляет 29,1 %.

В состав сооружений входят:

– песколовки (2 шт.) для задержания минеральных примесей с крупностью фракций более 0,25 мм;

– первичные отстойники для задержания механических примесей из сточных вод (взвешенных и коллоидных) – 2 шт;

– осветлители- перегниватели – 2 шт;

– вторичные отстойники – 6 шт;

– биофильтры;

– иловые площадки на искусственном основании с дренажем для подсушки осадка.

Сброс сточных вод после очистки осуществляется в р. Модонкуль. Выпуск в реку один, береговой, на расстоянии 2 км от города Закаменск, выполнен в виде трубы 100 м, диаметром 400 мм.

Предприятие ООО «Литейщик» - единственное специализированное предприятие в Республике Бурятия, осуществляющее производство запасных частей для горно-шахтного и обогатительного оборудования. Работает на рынке с 1989 года.

В состав предприятия входят: участок литейного производства, механический цех, сварочный участок, кислородная станция.

Основным видом деятельности предприятия является производство деталей и запасных частей горно-шахтного, дробильно-размольного и насосного оборудования (https://admzakamensk.gosuslugi.ru/). На рисунке 31 показаны расположения перечисленных предприятий, вносящих вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Закаменск.

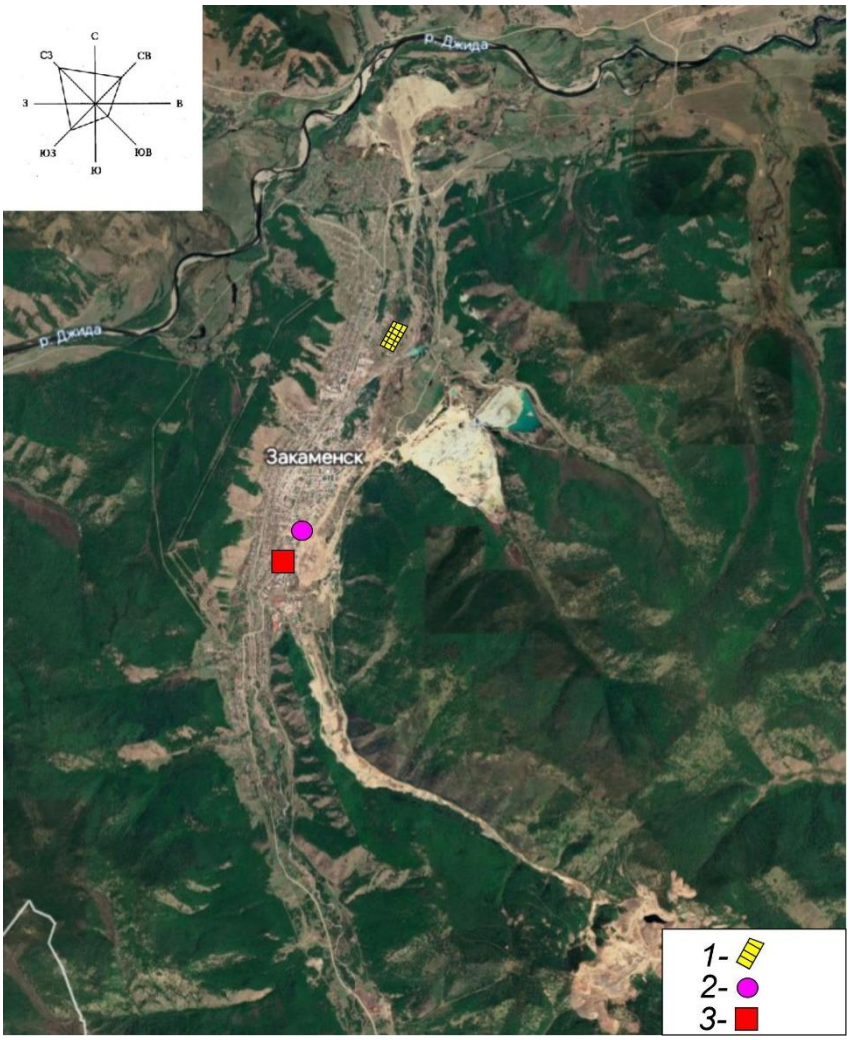


Рисунок 31 – Расположение действующих объектов 1 и 2 категории негативного воздействия на окружающую среду в г. Закаменск

Условные обозначения: 1- очистные сооружения; 2 – центральная котельная; 3 – ООО «Литейщик»

Для установления источников и характера рассеивания токсичных химических элементов в снеговом покрове г. Закаменск была изучена твердая фаза. Определялся ее химический, минеральный и гранулометрический составы.

Химический состав

Химический состав твердой фазы характеризуется высокими содержаниями марганца, алюминия, свинца, цинка, железа. При соотношении концентраций химических элементов в талой воде с их содержаниями во взвеси было выявлено, что наибольшая часть токсичных компонентов остается в виде тонкодисперсной фракции размерами от 0,1 до 500 микрон. Поэтому, можно сделать вывод, что основная часть загрязняющих веществ переносится атмосферными потоками в виде аэрозольных частиц, при этом проникая в живые организмы, накапливаясь, прежде всего в органах дыхания. Оставшаяся часть мигрирует с водными потоками.

В химическом составе твердой фазы снега произведено 456 элементоопределений и выделена группа элементов, представляющих высокую токсичность и которые характеризуются повышенными значениями в анализе. При изучении конденсационной влаги и снеготалой воды эти элементы также отличались высокими концентрациями.

Для сравнения концентраций выделенных химических элементов в твёрдой фазе снегового покрова было произведено сравнение с кларковыми содержаниями земной коры (Таблица 14). При определении кларковых содержаний химических элементов обычно учитываются все формы нахождения элементов в сумме, за исключением газовых смесей. Кларки химических элементов в континентальной коре Земли находят широкое применение в качестве стандарта для анализа геохимических систем. Они позволяют оценить уровни концентрации химических веществ, участвующих в техногенных процессах, а также помогают выявить региональные геохимические особенности естественных ландшафтов и изменения химического состава природных сред в результате техногенной деятельности. Тем не менее, соотношения между различными состояниями нахождения элементов, как правило, не выявлены [2, 71].

Таблица 14 – Средние содержания и пределы обнаружений химических элементов в твердой фазе снега и их кларковые содержания в почвах населенных пунктов, мг/кг

Элемент	Концентрация	Кларк для городов с населением менее 100 тыс. чел. (по Алексеенко, 2013)
Al	38400-86600 / 66980	4484
Zn	230-720 / 404	9,24
Pb	16-315 / 85,9	3,95
Fe	29800-52000 / 39730	2657
Mn	740-2200 / 1252	45,75
Cu	54-2200 / 417,7	2,82
Cd	1,9-10 / 4,79	0,14

Так, при сравнении с кларком, повышенными содержаниями отличаются алюминий (выше кларка в 15 раз), железо (выше кларка в 15 раз), марганец (выше кларка в 27 раз).

На основании анализа вещественного состава химических элементов твердого осадка снегового покрова были составлены карты. Для иллюстрации пространственного распределения химических элементов проведена интерполяция значений концентраций, полученных в точках отбора проб. Данная процедура осуществлена с помощью метода обычного кригинга в ГИС-пакете ArcGIS.

Алюминий

Алюминий входит в состав алюмосиликатов. Высокая миграционная способность алюминия в районе исследования связана с тем, что в кислых условиях происходит интенсификация разложения полевых шпатов, алюминий выделяется в раствор в форме трехвалентного катиона.

В присутствии сульфат-иона образуются комплексные соединения, в результате гидролиза может образоваться тонкая взвесь гиббсита.

Содержащая алюминий тонкая взвесь осаждается на почвенном покрове, аллювиальных отложениях рек, по берегам рек и может вовлекаться в миграцию воздушными потоками. Выделяются два центра загрязнения снегового покрова (рисунок 32). Наиболее сильно снег загрязнен в юго-восточной части территории.

Концентрация достигает 86600 мг/кг. Этот ореол загрязнения связан со складированными отходами добычи руд. Здесь размещены вскрышные породы двух карьеров. Породы интенсивно раздроблены при проведении горных работ. Складирование производилось путем ссыпания пород самосвалами на крутой склон распадка. Куски породы под действием гравитации перемещались вниз по склону, сформировалась осыпь. У подножия склона накопились коллювиальные и делювиальные образования мощностью несколько десятков метров. В этой толще конденсируется атмосферная влага.

Из-под отходов добычи вытекает техногенный ручей с кислой водой, который не замерзает зимой. На кустарнике в русле ручья образуется иней.

Второй ореол загрязнения выделяется в западной части территории, в долине р. Модонкуль и руч. Инкур. Эти водные объекты находятся под воздействием изливающихся высоко минерализованных вод из штолен «Западная» и «Северная».

Излив рудничных вод происходит круглый год. Здесь в твердом осадке снегового покрова установлена концентрация алюминия, достигающая 76000 мг/кг.

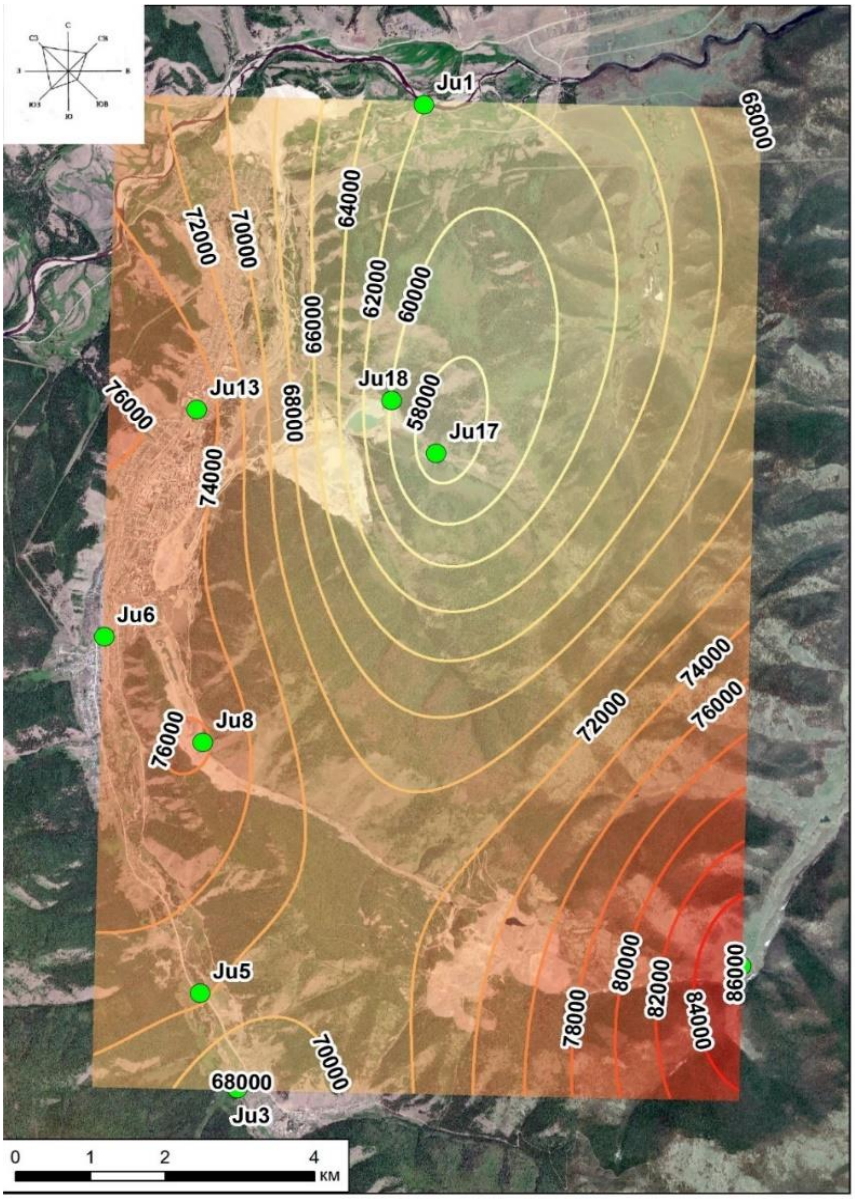


Рисунок 32 – Карта распределения Al в твердом осадке снегового покрова, мг/кг

Железо

Наиболее высокая концентрация железа сосредоточена в точках, расположенных в черте города Закаменск (Ю-13, Ю-6).

Повышенная концентрация отмечена в долине р. Модонкуль (рисунок 33). Данный факт связан с наличием промышленных предприятий, упомянутых ранее, а также с наличием большого количества продуктов рудной минерализации, в частности пирита и сидерита в песках, рассеянных на этой площади в период работы обогатительной фабрики.

На этой территории протекает реакция окисления сульфидов кислородом воздуха и разложение сидерита.

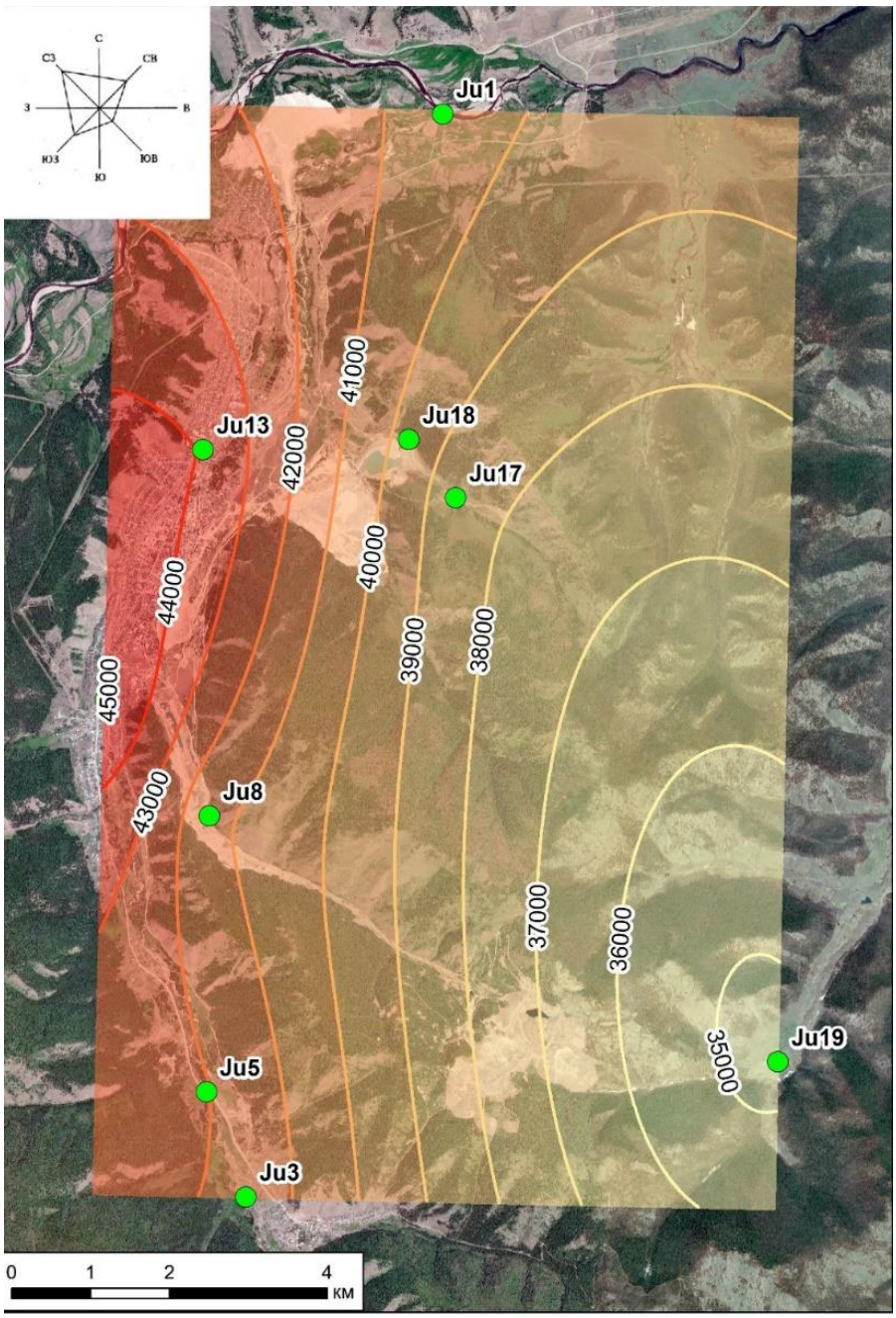


Рисунок 33 – Карта распределения Fe в твердом осадке снегового покрова, мг/кг

В загрязнение снегового покрова железом существенный вклад вносит, также изливающаяся вода из штольни «Западная», устье которой находится в долине р. Модонкуль. Содержание железа в рудничных водах достигает значений 17,67 мг/л [131]. Основная масса железа в рудничных водах находиться в степени окисления +2. При излиянии вод на поверхность происходит окисление железа до степени окисления +3. Происходит гидролиз этой формы железа, в результате чего вода еще больше закисляется. Образующиеся гидроокислы железа первоначально переносятся в коллоидном состоянии. Затем происходит их осаждение в виде тонкой взвеси. Тонкая взвесь гидроокислов железа в большом количестве обнаруживается на берегах р. Модонкуль и может ветром разноситься по долине. Кроме этого в месте разгрузки

штольневых вод наблюдается сильное испарение, особенно это заметно в зимний период. На кустарнике в долине р. Модонкуль образуется иней. Дренажные кислые воды впадают в реку Модонкуль и переносятся в сторону р. Джида загрязняя атмосферу испарениями на всем протяжении, в том числе и в пределах г. Закаменск. С паром в атмосферу могут попадать растворенные в воде токсичные металлы.

Марганец

Высокая концентрация марганца в потоках твердых аэрозолей, связана с тем, что для вольфрамовых месторождений характерно присутствие этого элемента в виде минерала родохрозит, который встречается в виде жил. В кислой среде хвостохранилищ происходит разложение этого минерала, и марганец переходит в раствор в форме двух валентного иона, в растворе он может образовывать комплексные соединения с сульфат-ионом, гидролизоваться и выпадать в виде гироксида. На рисунке 34 показаны ореолы рассеяния марганца.

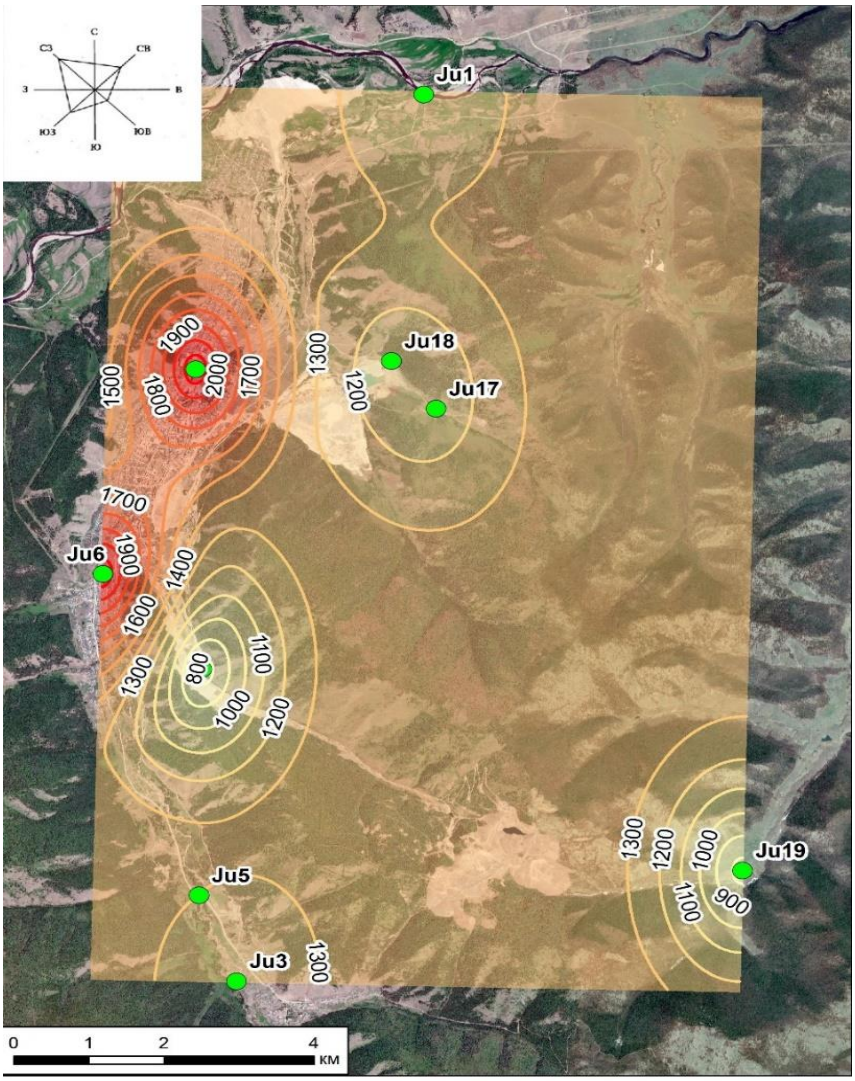


Рисунок 34 – Карта распределения Mn в твердом осадке снегового покрова, мг/кг

Наиболее высокие содержания марганца сосредоточены в местах складирования отходов горнодобывающего производства. Аномальными содержаниями выделяются верховье р. Мыргеншено, долины руч. Инкур, Зун-Нарын. Наиболее высокие концентрации установлены в западной части рассматриваемой территории, в долине р. Модонкуль, в том числе на территории г. Закаменска. Эта аномалия также, как и аномалия железа, связана с изливом рудничных вод из штольни «Западная», например, летом 2019 года вода в реке окрасилась в оранжевый цвет из-за залпового выброса штольневых вод. В составе взвешенных веществ были установлены гидроксиды железа и марганца. Отложившаяся на берегах взвесь до сих пор является источником загрязнения снега.

Цинк

Цинк является одним из наиболее подвижных элементов в системе вода – порода. Это связано с малой устойчивостью сфалерита в окислительных условиях. Цинк достаточно летуч в газовой фазе. Существуют несколько компонентов, которые ограничивают накопление цинка в природных водах. Важнейшим является карбонат-ион, при взаимодействии с которым образуется смитсонит. Цинк может высаживаться из раствора при взаимодействии с фосфат-ионом [21].

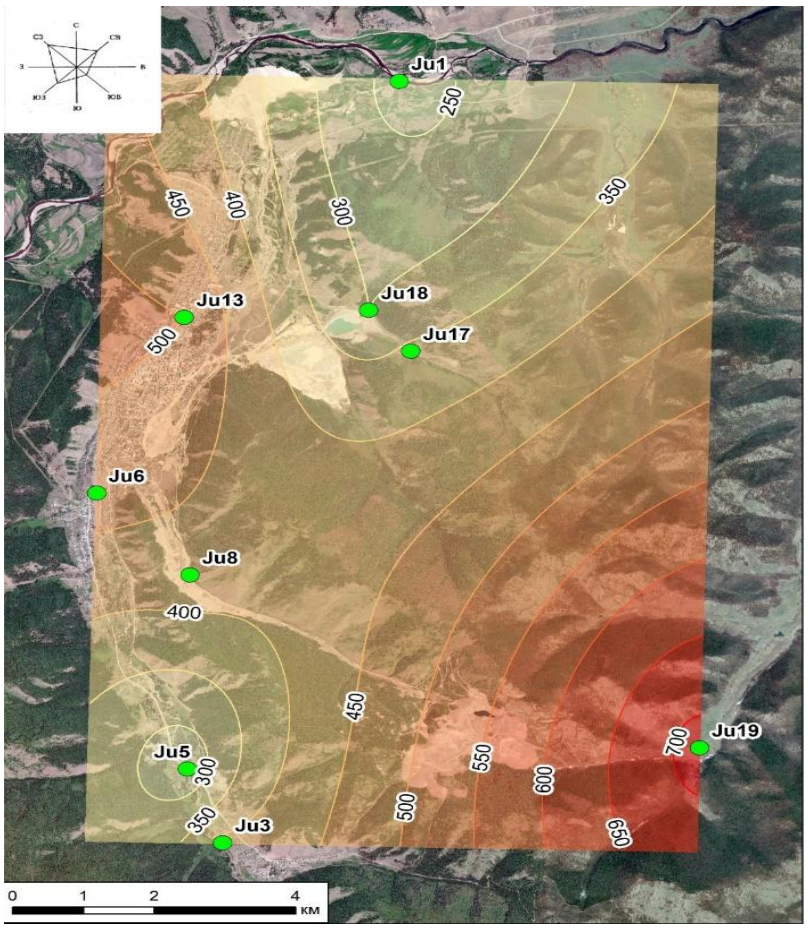


Рисунок 36 – Карта распределения Zn в твердом осадке снегового покрова, мг/кг

Максимальные концентрации цинка зафиксированы в месте складирования вскрышных пород в долине р. Мыргеншено, где, как указывалось ранее, происходит интенсивное разложение сульфидной минерализации (рисунок 36). Высокие содержания цинка в твердом остатке снегового покрова установлены в долине р. Модонкуль и руч. Инкур, находящихся под воздействием рудной минерализации. В жилой зоне г. Закаменск высокое содержание цинка обусловлено наличием промышленных объектов в жилом массиве, таких как центральная городская котельная, ООО «Литейщик».

Медь

Медь чрезвычайно подвижна в водных растворах. Считается, что медь является одним из наиболее подвижных элементов в зоне гипергенеза [21]. В месторождениях Джидинского рудного узла медь присутствует в виде халькопирита. Экспериментальное исследование окисления этого минерала показало, что при протекании этого процесса медь из раствора может высаживаться в виде гидроксида [103]. Затем происходит образование малахита, азурита.

Самые высокие концентрации меди в твердом остатке снега установлены в районе верховьев р. Мыргеншено (рисунок 37). Здесь интенсивно окисляются сульфидные минералы, присутствующие во вскрышных породах.

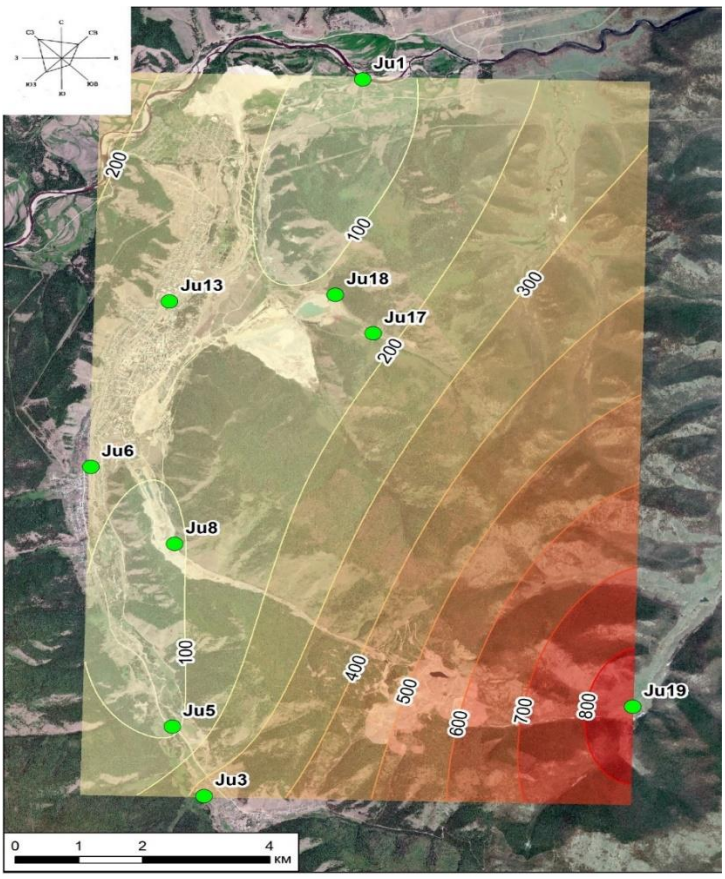


Рисунок 37 – Карта распределения Cu в твердом осадке снегового покрова, мг/кг

Свинец

Свинец довольно хорошо мигрирует в природных водах, осаждаясь на сорбционном барьере на глинах и особенно на органическом веществе [21]. При выветривании рудных месторождений образуется плохо растворимый сульфат свинца (англезит). Экспериментальные исследования показали, что свинец не накапливается в растворе. Низкие содержания свинца характерны и для подземных и для поверхностных вод. Соответственно обнаруживаются относительно низкие содержания в конденсате и в снеговом покрове.

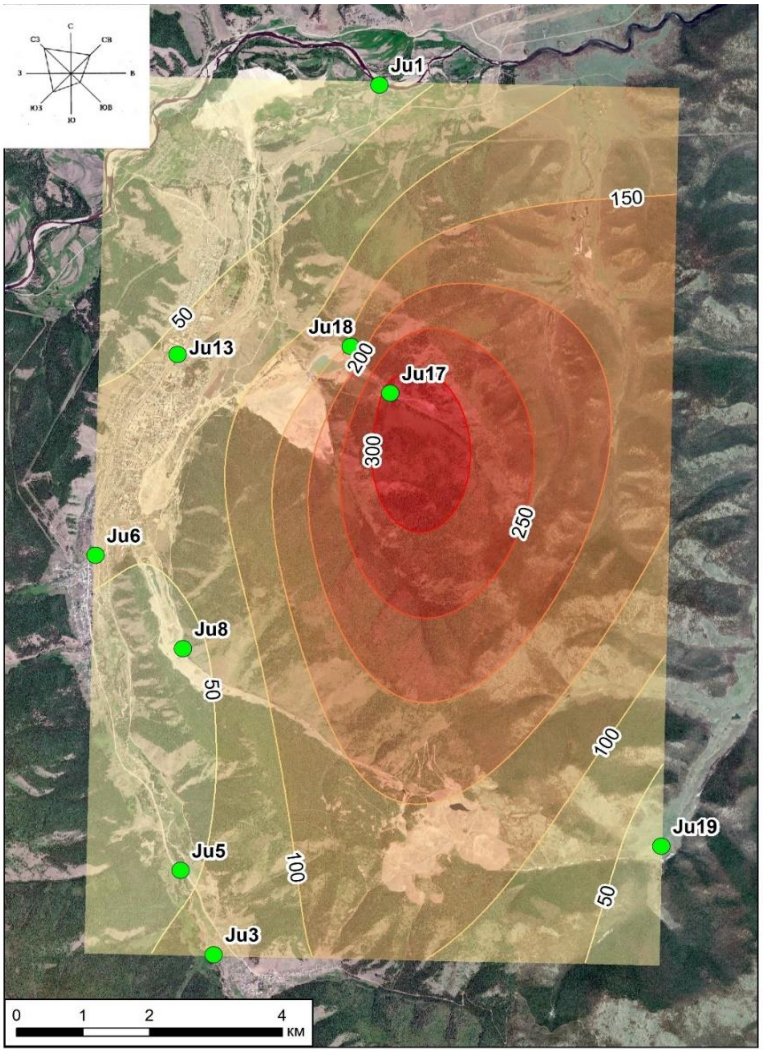


Рисунок 38 – Карта распределения Pb в твердом осадке снегового покрова, мг/кг

Рассеяние свинца по исследуемой территории отличается от рассмотренных выше элементов (рисунок 38). Наиболее высокие концентрации сосредоточены к юго-востоку от района расположения хвостохранилищ Барун-Нарын и Зун-Нарын. Это может быть связано с работой производственной техники горнодобывающего предприятия АО «Закаменск». Выбросы из двигателей экскаваторов, бульдозеров, самосвалов сносятся ветром к юго-востоку и загрязняют снеговой покров. В жилом массиве г. Закаменск концентрации на порядок ниже,

ореол от города смещается на юго-восток. В средней части долины р. Модонкуль ореол свинца в снеговом покрове можно объяснит с рассеиванием твердых осадков, накопившихся возле устья штольни «Западная».

Кадмий

Кадмий является высокотоксичным элементом, который имеет отчетливую тенденцию к накоплению в организме – период его полувыведения составляет 10-35 лет [21].

Кадмий является геохимическим аналогом цинка и их геохимические свойства сходны. В магматическом процессе кадмий так же, как и цинк, рассеивается среди темноцветных минералов: пироксены, амфиболы, слюды, магнетит содержат сотни мг/т кадмия. Это на порядок больше, чем в плагиоклазе. Кадмий, также, как и цинк. присутствуют в породах вместе с железом и магнием. В рудах Джидинских месторождений он присутствует в сфалерите и поступает в окружающую среду, в основном, при окислении этого минерала. Кадмий обладает достаточно хорошей миграционной способностью в водах, но из-за его значительно более низких содержаний в руде, концентрация в твердом осадке снега на два порядка ниже, чем цинка.

Расположение его ореолов связано с размещением отходов горнодобывающего производства, в пределах хранилищ отходов добычи руд, на объектах бывшей обогатительной фабрики и возле отвалов штольни «Западная» (рисунок 39).

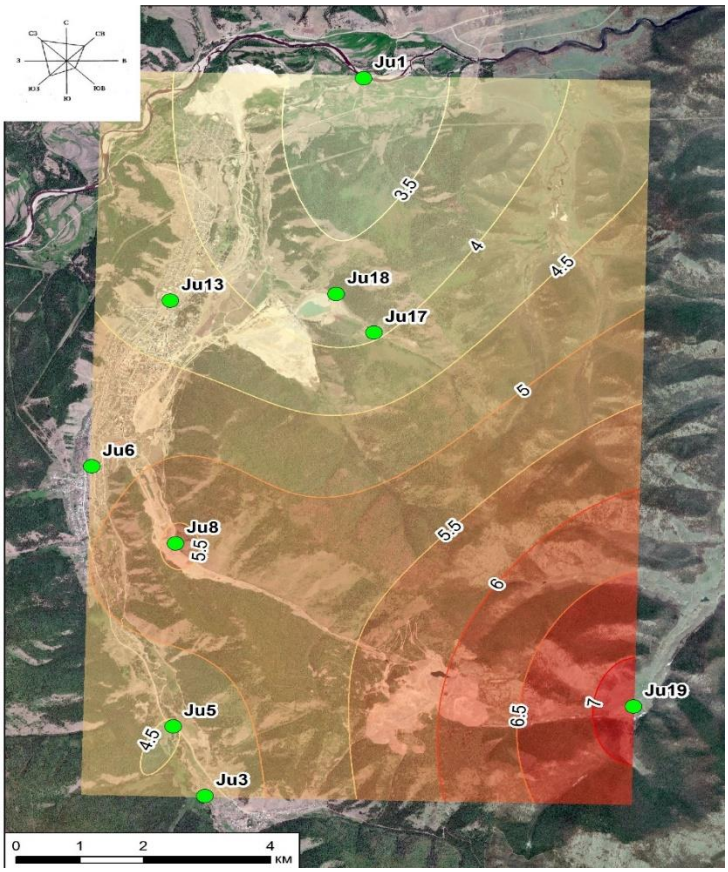


Рисунок 39 – Карта распределения Cd в твердом осадке снегового покрова, мг/кг

Содержание перечисленных химических элементов значительно превышают кларковые значения. Выявлены участки территории г. Закаменск с аномально высокими и повышенными содержаниями рассмотренных химических элементов. Существенную часть снегового покрова составляют нерастворимые и труднорастворимые соединения токсичных металлов. На составленных карт видно, что наиболее загрязнёнными местами являются районы складирования твердых отходов и места излияния рудничных вод из горных выработок.

Гранулометрический состав

Изучение гранулометрического состава показывает, что в пылевых частицах присутствуют мелкодисперсные частицы, в частности PM_{10} и $PM_{2,5}$. Доказано, что повышение концентраций PM_{10} на 0,02 мг/м^3 вызывает рост общей смертности на 1 %, от сердечно-сосудистых заболеваний – на 1,4 %, от болезней органов дыхания – на 3,4 %. Воздействие только взвешенных частиц уменьшает ожидаемую продолжительность жизни в среднем на 1 год в основном за счет возрастающего риска заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а также рака легких [120].

Размер частиц в исследовании определен в результате исследования 9 проб, с наибольшим объемом материала. Частицы присутствуют в диапазонах от 0,1 до 500 микрон. Результаты анализа гранулометрического состава представлены в Таблице 15.

Таблица 15 – Гранулометрический состав твердой фазы снегового покрова

№ пробы	Количество частиц в %, диаметром																						
	мм	**0,5-0,4**	**0,4-0,3**	**0,3-0,2**	**0,2-0,1**	**0,1-0,09**	**0,09-0,08**	**0,08-0,07**	**0,07-0,06**	**0,06-0,05**	**0,05-0,04**	**0,04-0,03**	**0,03-0,02**	**0,02-0,01**	**0,01-0,009**	**0,009-0,008**	**0,008-0,007**	**0,007-0,006**	**0,006-0,005**	**0,005-0,004**	**0,004-0,003**	**0,003-0,002**	**0,002-0,001**	**0,001-0,0001**
	μм	500-400	400-300	300-200	200-100	100-90	90-80	80-70	70-60	60-50	50-40	40-30	30-20	20-10	10-9	9-8	8-7	7-6	6-5	5-4	4-3	3-2	2-1	1-0,1
Ю1		4,07	6,97	6,51	7,82	3,10	4,31	5,41	5,39	4,36	6,03	11,47	10,24	8,90	1,33	1,34	1,40	1,51	1,54	1,43	1,37	1,75	1,96	1,45
Ю3		1,09	5,43	1,49	0,83	1,91	3,90	5,90	6,13	4,31	6,48	15,71	14,43	13,50	1,79	1,73	1,73	1,79	1,82	1,65	1,61	2,16	2,43	1,87
Ю5		0,20	2,53	0,38	2,37	2,42	3,81	5,68	5,94	5,59	5,55	16,41	15,55	14,80	1,78	1,98	1,66	1,70	1,71	1,50	1,35	1,85	2,30	1,98
Ю6		0,14	3,42	0,89	2,52	2,04	3,17	4,24	4,20	2,93	4,99	13,36	15,91	17,45	**2,36**	**2,30**	**2,34**	**2,43**	**2,49**	**2,29**	**2,17**	**2,78**	**3,04**	**2,47**
Ю8		0,13	4,39	1,97	6,67	3,25	4,84	6,50	7,06	6,46	8,41	13,77	11,82	9,58	1,42	1,39	1,42	1,49	1,55	1,45	1,39	1,78	1,83	1,38
Ю13		0,01	1,70	0,98	3,91	2,03	3,53	4,94	4,86	3,81	7,39	16,26	16,62	14,99	1,86	1,79	1,80	1,85	1,87	1,69	1,59	2,14	2,39	1,96
Ю17		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**31,21**	**10,9**	**8,57**	**5,88**	**5,04**	**6,50**	**8,18**	**8,64**	**6,94**	**8,03**	**0,05**
Ю18		8,59	5,76	18,93	18,31	2,29	2,85	3,64	3,75	2,63	2,93	6,64	7,03	6,14	0,90	0,91	0,93	1,00	1,04	0,99	0,94	1,18	1,26	0,88
Ю19		14,08	24,84	0,26	0,33	1,12	2,58	3,86	3,95	3,29	4,73	7,78	8,27	8,58	1,38	1,38	1,43	1,67	1,65	1,57	1,63	1,92	1,84	0,90

Наибольшее количество взвеси размерами от 0,1 до 10 мкм сконцентрировано в пробах Ю-17 (вблизи хвостохранилищ) и Ю-6 (юго-западная часть жилого сектора г. Закаменск).

Учитывая постоянные протекающие процессы выветривания на исследуемой территории, можно предполагать, что крупнодисперсные частицы со временем также будут интенсивно разрушаться, превращаясь в мелко- и ультрадисперсные частицы.

Минеральный состав

Методом электронной микроскопии была исследована нерастворимая часть 6 проб. В целом осадки на снимках характеризуется зернистой структурой. Отмечается небольшое количество органических включений в виде удлиненных волокон (сухие растения). Минеральный состав, представленный в Таблице 16, включает в себя частицы породообразующих минералов и продукты разрушения руды и пород (окислы железа, марганца).

Высокие концентрации химических элементов во взвеси объясняются преобладающими значениями породообразующих минералов, представленных в Таблице 16.

Таблица 16 – Минеральный состав нерастворимого осадка

Наименование пробы	Состав	Масса, г
Ю-19	Алюмосиликаты (биотит), ксенотим, флюорит	0,9171
Ю-13	Биотит, ильменит, магнетит, кварц	5,8182
Ю-18	Магнетит, каолинит, хлорит, мусковит, гюбнерит	0,4812
Ю-1	Оксид железа, кварц, магнетит, амфиболит	0,6153
Ю-4	Вольфрамит, кварц, окислы серы	0,1982
Ю-8	Апатит, амфиболит, ильменит, флюорит	0,7215

На рисунке 40 представлены фрагменты снимков минерального состава выбранных проб.

Проба Ю-8 (рисунок 40) представлена, главным образом, частицами обломочного характера с включениями в виде шарообразных фрагментов. Основную массу составляет глинообразующий минерал – каолинит. В виде шарообразных включений обнаруживаются ильменит, амфиболит, флюорит и апатит.

Каолинит представлен обломками столбчатой, кубической, округлой, треугольной, угловатой, нитевидной, линзовидной и неправильной формы, чаще всего со сглаженными углами. Размер зёрен, в среднем, составляет 70-110 мкм.

Ильменит прослеживается в виде пластинчатых включений тетраэдной формы, относительно общей массы отличается белым и светло-серым цветом. Размер частиц около 100 мкм.

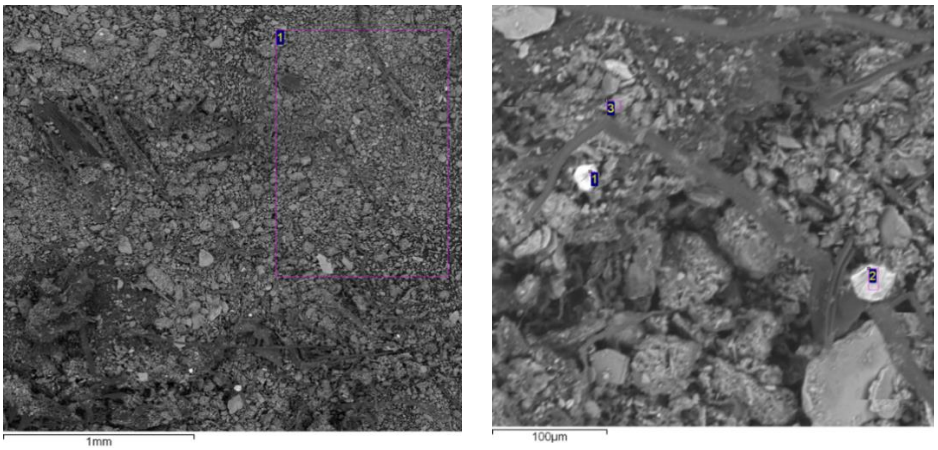


Рисунок 40 – Снимок состава пробы Ю-8 (1-ильменит, 2-амфиболит)

Нерудная часть пробы представлена минералами, полевые шпаты (плагиоклаз, калиевый полевой шпат), амфиболы, слюды (биотит), эпидот, кварц. Железо находится преимущественно в форме магнетита.

Основную часть пробы Ю-13 составляют группы слюд (рисунок 41).

Биотит представлен пластинчатыми выделениями, которые имеют ободранные, обохренные края. Большая часть биотита, измельченная в виде тончайшего илистого материала размерами от 50 до 100 мкм.

Магнетит в пробе Ю-13 представлен октаэдрическими вкраплениями размерами от 80 до 500 мкм.

Кварц прослеживается в виде мелких пирамидообразных полупрозрачных кристаллов размерами от 100 – 500 мкм.

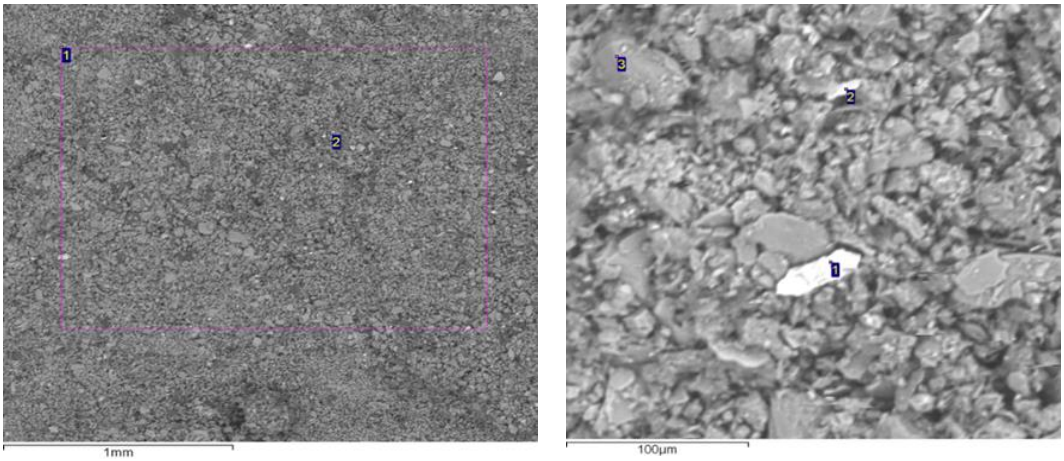


Рисунок 41 – Снимок минерального состава пробы Ю-13 (1-ильменит)

Проба Ю-18 содержит в себе типичные минералы для вольфрамового месторождения – гюбнерит и шеелит (рисунок 42).

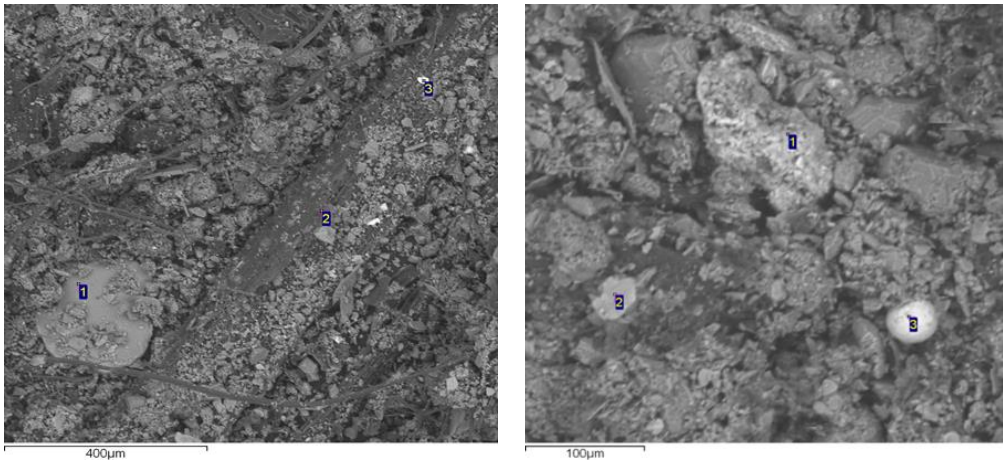


Рисунок 42 – Снимок минерального состава пробы Ю-18
(1-гюбнерит; 2-мусковит; 3-магнетит)

Гюбнерит в пробе имеет толстотаблитчатый утолщенный облик в виде крупнозернистого агрегата, размеры встречаются более 500 мкм.

Шеелит встречается в форме псевдооктаэдрических с неровными изломами частицами размерами от 100 до 300 мкм.

Также в данной пробе присутствует магнетит и мусковит в небольших количествах.

Минеральный состав района исследования типичен для вольфрамовых месторождений. Процессы выветривания горных пород, повышение кислотности среды и взаимодействие с атмосферными осадками и иными внешними факторами способствуют процессам разрушения минералов.

Наличие в пробах высокого содержания оксидов железа свидетельствует о протекании окислительных процессов на рассматриваемой территории, образующиеся токсичные элементы в составе взвеси мигрируют на дальние расстояния [33].

Изучение пылевого загрязнения г. Закаменск и прилегающих территорий показывает, что основными очагами пыления являются территории складирования техногенных отходов. Наиболее загрязнен пылью на изучаемой территории снеговой покров в верхней части долины р. Мыргеншено, где расположено хранилище отходов добычи; долины р. Модонкуль, ручья Инкур и пади Барун-Нарын и Зун-Нарын, где размещены хвостохранилища ДВМК и горнодобывающее предприятие АО «Закаменск».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техногенно-измененные территории горнопромышленных районов представляют высокую опасность для окружающей среды, оказывая влияние на атмосферный воздух, водные ресурсы, негативно воздействуя на их химический состав, препятствуя устойчивому развитию регионов. На протяжении многих лет на территории, где разрабатываются месторождения, протекают процессы изменения ландшафтов, загрязнения водных, почвенных ресурсов и атмосферного воздуха. В результате выполнения диссертационной работы доказано, что приземная атмосфера на обширной территория размещения объектов горнодобывающего производства загрязняется жидкими и твердыми токсичными аэрозолями.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлено, что негативное влияние на приземную атмосферу при разработке вольфрамово-молибденовых месторождений оказывают как отходы добычи, так и переработки руд.

2. Впервые определен качественный и количественный состав химических элементов в конденсационных водах на территории хвостохранилищ и в местах хранения вскрышных пород.

3. Экспериментально доказано, что миграция аэрозольных потоков из толщи песков происходит как в зимний, так и в летний периоды. Определяющее значение в миграции токсичных компонентов в приземную атмосферу имеет близкое залегание грунтовых вод. Окисление остаточной сульфидной минерализации приводит к формированию повышенной температуры в толще песков и увеличению миграционной способности токсичных веществ к поверхности.

4. Установлено, что снеговой покров на исследуемой территории отличается повышенной минерализацией, кислым показателем pH среды (в пределах 4,1-5,4), аномально высокими концентрациями токсичных компонентов (Al, Mn, Fe, Zn, Ni, Co, Pb, Cd).

5. Установлены ореолы распространения токсичных компонентов в составе пыли. Определены основные очаги пылевого загрязнения территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов Р.Ф. Влияние техногенеза на поверхностные и подземные воды башкирского Зауралья и их охрана от загрязнения и истощения / Р.Ф. Абдрахманов, Р.М. Ахметов // Геологический сборник. – 2007. – № 6. – С. 266-269.

2. Алексеенко В.А. Геоэкология: экологическая геохимия : учебник / В.А. Алексеенко. – Изд. 2-е, перераб. – Ростов н/Д : Феникс, 2017. – 685 с.: ил.

3. Алехин Ю.В. Природа высокой летучести компонентов конденсированных фаз и геохимические следствия / Ю.В. Алехин, М.А. Фроликова // Вестник Отделения наук о Земле РАН. – 2008. – № 1 (26). – С. 22-25

4. Андреев К.А. Экологические проблемы современности в аспекте глобальных проблем / К.А. Андреев // Материалы Молодежного Экологического Форума, Кемерово, 08–10 октября 2013 года / под ред. Т.В. Галаниной, М.И. Баумгартэна. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2013. – С. 13-16.

5. Артемова О.С. Разработка технологии извлечения вольфрама из лежалых хвостов Джидинского ВМК : автореф. дис. … канд. тех. наук : 25.00.13 / Артемова Олеся Станиславовна. – Иркутск, 2004. – 17 с.

6. Аршинов М.Ю. Исследование атмосферных наночастиц и их роли в формировании дисперсного состава аэрозоля : автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук : 25.00.29 / Аршинов Михаил Юрьевич. – Томск, 2006. – 23 с.

7. Батурина Е.Е. Молибденовые и вольфрамовые месторождения Западного Забайкалья (Основные черты металлогении и геохимии) / Е.Е. Батурина, Г.С. Рипп : отв. ред. В.В. Поликарпочкин. – Москва : Наука, 1984. – 152 с. : ил.

8. Белан Б.Д. Оценка влияния метеорологических и орографических условий на аэрозольное загрязнение снегового покрова на юге Томского региона / Б.Д. Белан, В.С. Бучельников, В.Ф. Лысова [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2018. – Т. 31, № 6. – С. 492-500.

9. Беленко О.А. Влияние размеров и формы частиц на свойства атмосферных аэрозолей / О.А. Беленко // Гео-Сибирь. – 2006. – Т.3, № 1. – С. 163–167.

10. Беляев С.П. Оптико-электронные методы изучения аэрозолей / С.П. Беляев, Н.К. Никифорова. – М. : Энергоиздат, 1981. – 232 с.

11. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е Берлянд. – Л. : Гидрометеоиздат, 1975. – 448 с.

12. Беспалова А.И. Оценка уровня пылевого загрязнения снегового покрова на территории горно-обогатительного комбината (Республика Хакасия) / А.И. Беспалова, А.В. Таловская, Е.Г.

Язиков // Экологические проблемы. Взгляд в будущее : сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 22–23 октября 2020 года / под ред. Ю.А. Федорова ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону – Таганрог, 2020. – С. 61-65.

13. Бортникова С.Б. Гидрохимические и газовые аномалии на сульфидном хвостохранилище (Салаир, Кемеровская область) / С.Б. Бортникова, Н.В. Юркевич, А.В. Еделев, О.П. Саева, С.П. Грахова, С.С. Волынкин, Ю.Г. Карин // Известия ТПУ. – 2021. – №2. – С. 26-35.

14. Бортникова С.Б. Состав газовых потоков над хранилищами отходов сульфидсодержащих руд / С.Б. Бортникова, Н.В. Юркевич, А.Ю. Девятова [и др.] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : Материалы третьей Всероссийской научной конференции с международным участием, Чита, 20-25 августа 2018 года / отв. ред. Л.В. Замана, С.Л. Шварцев. – Чита : Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2018. – С. 336-340.

15. Бортникова С.Б. Паро-газовый перенос химических элементов в низкотемпературных условиях (натурные и лабораторные эксперименты) / С.Б. Бортникова, Н.В. Юркевич, А.Ю. Девятова, С.С. Волынкин // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : Сборник материалов четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, Улан-Удэ, 17-20 августа 2020 года / Геологический институт СО РАН. – Улан-Удэ : Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2020. – С. 22-25.

16. Брейдак. А. А. Аэрозольное загрязнение атмосферы / А. А. Брейдак, А. А. Тарахович // Современные технологии обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте : Сборник статей III международной студенческой конференции, Воронеж, 19 марта 2021 года. – Воронеж: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ростовский государственный университет путей сообщения" в г. Воронеж, 2021. – С. 115-118.

17. Будаева Ю.С. Эколого-геохимическая оценка территории г. Юрга по данным изучения снегового покрова (Кемеровская область) / Ю.С. Будаева, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, Е.С. Торосян // Инженерная экология – 2021 : Доклады международного симпозиума, Москва, 01-03 декабря 2021 года. – Москва : Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2021. – С. 123-127.

18. Будыкина Т.А. Экологические проблемы горнодобывающей промышленности Курской области / Т.А. Будыкина, А.И. Соболев // Актуальные вопросы охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности промышленных регионов : Материалы Международной научно-практической конференции, Кемерово, 03–04 октября 2017 года / под ред. Т.А. Красновой ; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет). – Кемерово, 2017. – С. 271-273.

19. Бурмистров А.А. Эколого-экономические аспекты разработки природных и связанных с ними техногенных рудных месторождений на примере джидинского вольфрам-молибденового комбината, Республика Бурятия / А. А. Бурмистров, А. А. Самсонов, А. Е. Тельнов // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2024. – Т. 63, № 2. – С. 54-64

20. Бушмелева Е.П. Формы переноса элементов в газовых потоках от техногенного вещества и водных растворов / Е.П. Бушмелева, С.С. Волынкин, А.С. Козлов [и др.] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : сборник материалов четвертой Всероссийской научной конференции с международным участием, Улан-Удэ, 17–20 августа 2020 года / Геологический институт СО РАН. – Улан-Удэ : Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2020. – С. 286-289.

21. Бычков А.Ю. Геохимия. Часть 2: конспект лекций. [Электронный ресурс] / А.Ю. Бычков. – Москва : МГУ, 2015. –186 с. – Режим доступа : https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1698502602&tld=ru&lang=ru&name=geochemistry-of-individual-elements-M.pdf

22. Васенин И.М. Газовая динамика двухфазных течений в соплах / И.М. Васенин, В.А. Архипов, А.А. Глазунов, В.Ф. Трофимов. – Томск : Изд-во Томского университета, 1986. – 264 с.

23. Василевич М.И. Химический состав снегового покрова на территории таежной зоны Республики Коми / М.И. Василевич, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенок // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38, № 4. – С. 494-506.

24. Василенко В.Н. Мониторинг загрязнения снегового покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров. – Л. : Гидрометиоиздат, 1995. – 185 с.

25. Вахрушева В.В. Техногенез колчеданных месторождений Урала : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук : 04.00.14 / Вахрушева Валентина Владимировна, Свердловск, 1988. – 30 с.

26. Воронина Ю.С. Исследование снежного покрова в г. Закаменск, Республика Бурятия / Ю.С. Воронина, А.М. Плюснин, А.В. Украинцев // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике : Материалы VI Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной памяти академика Н.Л. Добрецова. Улан-Удэ – Горячинск, 23–27 августа 2021 года. – Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2021. – С. 20-22.

27. Воронина Ю.С. Определение фитотоксичности снежного покрова в районе отходов Джидинского ГОКа. / Ю.С. Воронина, А.М. Плюснин, А.В. Украинцев // Эволюция и современное состояние ландшафтов и биоты внутренней Азии : материалы II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного эколога РФ, доктора географических наук, профессора А.Б. Иметхенова (1941-2016), Улан-Удэ, 15 октября 2021 года / Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2021. – С. 27-31.

28. Воронина Ю.С. Оценка воздействия горно-добывающего производства на здоровье населения Г. Закаменск / Ю.С. Воронина // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 05–09 апреля 2021 года. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. – Том I. – С. 351-352

29. Воронина Ю.С. Использование социологического опроса как инструмента при анализе накопленного экологического ущерба на территории Закаменского района Республики Бурятия / Ю.С. Воронина // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире : материалы Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов, Казань, 18-19 марта 2021 года. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2021. – С. 1246-1252.

30. Воронина Ю.С. Загрязнение снежного покрова на территории Джидинского вольфрам-молибденового комбината / Ю.С. Воронина // Проблемы геологии и освоения недр : Труды XXVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященный 90-летию со дня рождения Н.М. Рассказова, 120-летию со дня рождения Л.Л. Халфина, 50-летию научных молодежных конференций имени академика М.А. Усова, Томск, 04–08 апреля 2022 года. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – Том 1. – С. 271-273.

31. Воронина Ю.С. Особенности распределения редкоземельных элементов в снежном покрове на территориях складирования отходов Джидинского вольфрам-молибденового комбината / Ю.С. Воронина, А.М. Плюснин // Эволюция биосферы и техногенез : Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Чита, 30 августа – 01 сентября 2021 года. – Чита : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 347-349.

32. Воронина Ю.С, Плюснин А.М. «Аэрозольное загрязнение атмосферного воздуха в местах складирования промышленных отходов Джидинского ГОКа» // VI Международная научная конференция Геодинамика и минерагения Северной Евразии, посвященная 50-летию Геологического института им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 300-летию Российской академии наук, 100-летию Республики Бурятия и 10-летию науки и технологий, 2023. – С. 137-140.

33. Воронина Ю.С. Оценка аэрозольного загрязнения в местах складирования отходов ДВМК / Ю.С. Воронина, А.М. Плюснин // Современные направления развития геохимии : материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвящённой 65-

летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона, Иркутск, 21-25 ноября 2022 года. – Иркутск : Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 116-118.

34. Воронина Ю.С. Содержание редкоземельных элементов в снеговом покрове на территории Джидинского ГОКа / Ю.С. Воронина, А.М. Плюснин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : География. Геоэкология. – 2023. – № 2. – С. 122-132.

35. Гареев. А. М. Характеристики ухудшения экологических условий и заболеваемости населения в районах горнодобывающей отрасли (на примере Южного Зауралья) / А. М. Гареев, Е. А. Богдан, Э. А. Гареев // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2023. – Т. 46, № 1(109). – С. 47-57.

36. Гинзбург И.П. Аэрогазодинамика : учебное пособие / И.П. Гинзбург. – М. : Высшая школа, 1966. – 404 с.

37. Глинянова И.Ю. Мониторинг аэрозолей в атмосферном воздухе населенных пунктов / И.Ю. Глинянова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 2(86). – С. 371-380.

38. Голицын Г.С. Состав атмосферы и климат / Г.С. Голицын // Вестник РАН. – 1997. – Т. 67. – № 2. – С. 105-116.

39. Гололобова Е.С. Загрязнение гидросферы и рациональное использование поверхностных и подземных вод / Е.С. Гололобова, И.К. Супрун // Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки : Материалы XIII молодёжной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Санкт-Петербург, 25–26 апреля 2017 года. – Санкт-Петербург : CreateSpace, 2017. – С. 41-45.

40. Голобокова Л.П. Современная оценка сухих осаждений химических веществ на подстилающую поверхность в разных районах азиатской территории России / Л.П. Голобокова, Т.А. Ходжер, Т.В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20, № 6. – С. 512-516.

41. Гоппен Т.С. Анализ проблем, возникающих при использовании отходов горнодобывающих и перерабатывающих производств / Т.С. Гоппен // Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 17-19 ноября 2020 года. – Воронеж : Истоки, 2020. – С. 205-209.

42. Горбатенко Ю.А. Аэрозоли и их основные физико-химические свойства : методические указания к лабораторному практикуму по дисциплинам «Технология рекуперации газовых выбросов» для студентов очной и заочной форм обучения направления 280700 «Техносферная безопасность» и 241000 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» / Ю.А. Горбатенко. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2014. – 35 с. : ил.

43. Гордиенко И.В. Джидинский рудный район: строение, металлогения, геодинамика, перспективы развития / И.В. Гордиенко, Д.В. Гороховский, В.С. Ланцева, Р.А. Бадмацыренова // Известия СО РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – 2017. – №1 (58). – С. 9-31.

44. Горлов В.А. Экологические Проблемы регионов с горнодобывающей промышленностью / В.А. Горлов // Актуальные вопросы современной науки и образования : сборник статей XXV Международной научно-практической конференции : в 3 ч., Пенза, 20 декабря 2022 года. – Пенза : Наука и Просвещение, 2022. – Часть 1. – С. 235-237.

45. ГОСТ Р 8.777-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Дисперсный состав аэрозолей и взвесей. Определение размеров частиц по дифракции лазерного излучения. – М. : Стандартинформ, 2012. – 8 с.

46. Гостева С.С. Государственная политика в области экологии и охраны окружающей среды / С.С. Гостева, С.Р. Гостева, С.А. Лопатина. – М. : Еврошкола, 2004. – С. 246-254.

47. Грин Х. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы / Х. Грин, В. Лейн. Пер. с англ. – Л. : Химия, 1969. – 427 с.

48. Дабаева В.В. Перспективы использования земель на территории размещения отходов Джидинского гока / В. В. Дабаева, А.М. Плюснин, Д.И. Жамбалова // Землеустройство, кадастр недвижимости и мониторинг земельных ресурсов : Материалы всероссийской научно-практической конференции, Улан-Удэ, 13-15 мая 2019 года / под общей редакцией Л.О. Григорьевой, В.Н. Хертуева. – Улан-Удэ : Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, 2019. – С. 122-125.

49. Дабаева В.В. Экспериментальное исследование взаимодействия кислых поровых вод Джидинского хвостохранилища с известняком / В.В. Дабаева, А.М. Плюснин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : География. Геоэкология. – 2017. – № 4. – С. 65-75.

50. Джевага Н. В. Промышленные отходы в горнодобывающей отрасли: современное состояние и пути решения проблем / Н. В. Джевага, Т. И. Чухланцева // Наука, технологии, общество: экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий : сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции с международным участием, Красноярск, 16-18 ноября 2022 года. – Красноярск: Общественное учреждение «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского союза научных и инженерных общественных объединений», 2022. – С. 210-216

51. Джидинский рудный район: (Пробл. развития и освоения минер. ресурсов). [Сб. ст.] / АН СССР, Сиб. отд-ние, Бурят. фил. Ин-т естеств. наук ; отв. ред. М.В. Мохосоев. – Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1984. – 197 с. : ил.

52. Дерягин Б.В. Течение незамерзающей воды в пористых телах. Вода в дисперсных системах. / Б.В. Дерягин, О.А. Киселева, В.Д Соболев, Н.В. Чураев. – М. : Химия, 1989. – С. 101-116.

53. Дорошкевич С.Г. Минеральный и химический состав почв геотехногенных ландшафтов сульфидно-вольфрамовых месторождений Забайкалья / С.Г. Дорошкевич, О.К. Смирнова, Р.А. Филенко // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование : Труды VII Всероссийского симпозиума с международным участием и XIV Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана, Чита, 22-25 августа 2018 года ; отв. ред. Г.А. Юргенсон. – Чита : Забайкальский государственный университет, 2018. – С. 140-143.

54. Дорошкевич С.Г. Состояние окружающей среды в районах размещения отходов обогащения руд Джидинского месторождения (Байкальский регион) / С.Г. Дорошкевич, О.К. Смирнова, Б.В. Дампилова, А.В. Украинцев // Снеговой покров, атмосферные осадки, аэрозоли: климат и экология северных территорий и Байкальского региона : Материалы 1-й международной научно-практической конференции, Иркутск, 26-29 июня 2017 года / Иркутский национальный исследовательский технический университет. – Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2017. – С. 223-226.

55. Дорошкевич С.Г. Химический состав биоматов поверхностных вод Джидинского рудного узла / С.Г. Дорошкевич, О.К. Смирнова // Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии : Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием, посвященной году науки и технологий в Российской Федерации и 40-летию Института общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, 15-18 июня 2021 года. – Улан-Удэ : Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2021. – С. 138-140.

56. Дэн Вэй. Оценка и прогноз геоэкологического состояния территории вольфрамового месторождения Яоган (Южный Китай) : автореф. дис. ... канд. геогр. н. : 25.00.36 / Вэй Дэн. — Санкт-Петербург, 2016. – 21 с.

57. Журбас В.М. Пути переноса взвешенных частиц в придонном слое южной Балтики в зависимости от ветровых условий (численные эксперименты) / В.М. Журбас, Ю. Элькен, Г. Вяли [и др.] // Океанология. – 2010. – Т. 50, № 6. – С. 890-903.

58. Загороднов С.Ю. Мелкодисперсные частицы ($PM_{2,5}$ и PM_{10}) в атмосферном воздухе крупного промышленного региона: проблемы мониторинга и нормирования в составе производственных выбросов / С.Ю. Загороднов, И.В. Май, А.А. Кокоулина // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 142-147.

59. Загорская А.И. Влияние аэрозолей на здоровье человека / А.И. Загорская // Россия молодая : Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции молодых

ученых с международным участием, Кемерово, 21-24 апреля 2015 года. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2015. – С. 289.

60. Замана Л.В. Гидрогеохимия техногенеза рудных месторождений Забайкалья / Л.В. Замана, Л.П. Чечель, В.А. Абрамова, Л.В. Таскина // Эволюция биосферы и техногенез: Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Чита, 30 августа - 01 сентября 2021 года. – Чита : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 18-20.

61. Зенкова П.Н. Развитие эмпирической модели оптических характеристик аэрозоля Западной Сибири / П.Н. Зенкова, С.А. Терпугова, В.В. Полькин [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2021. – Т. 34, № 3(386). – С. 192-198.

62. Ивлев Л.С. Аэрозольное воздействие на климатические процессы / Л.С. Ивлев // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24, № 5. – С. 392-410.

63. Ивлев Л.С. Механизмы образования и распада атмосферных аэрозолей и облачности и их экологическое значение / Л.С. Ивлев // Биосфера. – 2013 – Т. 5, № 2. – С. 182-210.

64. Иметхенов А.Б. Влияние техногенных песков Джидинского вольфрамомолибденового комбината (Джидакомбината) на окружающую среду (Республика Бурятия) / А.Б. Иметхенов, О.А. Иметхенов, О.В. Иметхенова // Вестник ВСГУТУ. – 2016. – т № 6 (63). – С. 47-53.

65. Иметхенов А.Б. Воздействие техногенных загрязнений Джидинского вольфрамово-молибденового комбината на здоровье детей г. Закаменска (Республика Бурятия) / А.Б. Иметхенов, Ц.З. Доржиев, Д.Д. Максарова, А.А. Манкетова // Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География. – 2015. – № 4. – С. 229-236.

66. Кабашников В.П. Выявление источников аэрозольного загрязнения атмосферы на основе данных дистанционного зондирования и статистики обратных траекторий / В.П. Кабашников, В.Н. Кузьмин, А.В. Петрук, П.А. Соболевский, А.П. Чайковский // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, № 01. – С. 48-52.

67. Калаева С.З. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека / С.З. Калаева, Я.В. Чистяков, К.М. Муратова, П.В. Чеботарев // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2016. – №3. – С.40-63.

68. Калачева О.А. Классификация опасностей загрязняющих веществ / О.А. Калачева // Транспорт: наука, образование, производство. Воронеж : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 175-179.

69. Калачева О. А. Охрана труда: причины производственного травматизма / О. А. Калачева // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России («ТрансПромЭк – 2019») : Труды международной Научно-практической

конференции, Воронеж, 24 октября 2019 года. – Воронеж: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» в г. Воронеж, 2019. – С. 57-62.

70. Калачева О.А. Экологическое распределение Tettigoniidae Волгоградской области / О.А. Калачева // Естественные и технические науки. – 2014. – № 11-12 (78). – С. 87-89.

71. Касимов Н.С. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н.С. Касимов, Д.В. Власов // Вестник Московского университета. Серия 5 : География. – 2015. – № 2. – С. 7-17.

72. Каширина Е. С. Оценка состояния приземного атмосферного воздуха в юго-западном Крыму по данным лихеноиндикации / Е. С. Каширина, А. А. Медведков, А. А. Новиков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 8. – С. 126-138

73. Кныш В.А. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий / В.А. Кныш, Ф.Д. Ларичкин, М.А. Невская [и др.]. – Апатиты : Кольский научный центр Российской академии наук, 2019. – 252 с.

74. Кожевникова Н.М. Распределение валового содержания и подвижных форм лантана, церия, неодима и самария в профиле борового песка Забайкалья / Н.М. Кожевникова, С.А. Вамбуева // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2014. – № 1. – С. 117-119.

75. Контрерас Л.А. Комплексные исследования аэрозолей г. Мехико / Л.А. Контрерас, Л.С. Ивлев, А.В. Васильев, С.Л. Васильев // Естественные и антропогенные аэрозоли : Материалы 3-й международной конференции, Санкт-Петербург, 24-27 сентября 2001 года. – Санкт-Петербург : Изд-во ВВМ, 2001. – С. 72-74.

76. Королева Г.П. Оценка экологического состояния городов Приангарья по атмосферным осадкам в зимний и летний периоды / Г.П. Королева, М.С. Холодова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 7 (66). – С. 60-66.

77. Колотов Б.А. К вопросу о вторичном рассеянии рудных месторождений / Б.А. Колотов, Е.А. Киселева, В.З. Рубейкин // Геохимия. – 1965. – № 7. – С. 878-880.

78. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузлов. М. : Химия, 1987 – 264 с.

79. Кузнецов В.И., Питулько В.М. Критерии установления криогенного происхождения вторичных ореолов рассеяния рудных месторождений// Изв. Вузов. Геология и разведка. – 1974. – №4. – С. 70-73.

80. Кучменко Е.В. Идентификация источников аэрозолей по соотношению индивидуальных концентраций антропогенных загрязнителей. / Е.В. Кучменко, Е.В.

Моложникова, И.И. Маринайте, М.С. Загороднюк // Оптика атмосферы и океана. – 2005. – Т. 18, № 05-06. – С. 497-501.

81. Куценогий К.П. Комплексный мониторинг атмосферных аэрозолей Сибири / К.П. Куценогий, Л.К. Трубина // Гео-Сибирь. – 2005. – Т. 5. – С. 9-18.

82. Ладыгин К.В. Утилизация нефтесодержащих отходов / К.В. Ладыгин, С.И. Стомпель, Ю.Л. Спектор // Экология производства. – 2018. – № 4. – С. 70-73.

83. Лузгина В.А. Экологические проблемы - важнейшие проблемы современности / В.А. Лузгина, Т.И. Шишелова // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2019. – № 5-2. – С. 103-107.

84. Матвеева В. А. Оценка и снижение техногенного воздействия ОАО «Ковдорский ГОК» на поверхностные воды : автореф. дис. … канд. тех. наук : 25.00.36 / Матвеева Вера Анатольевна. – Санкт-Петербург, 2015. – 22 с.

85. Месторождение «Лежалые хвосты ДВМК»: Краткая информационная записка по результатам исследования пробы хвостов ДВМК. – Институт ТОМС, 2011.

86. Месяц С.П. Методический подход к оценке аэрозольного техногенного загрязнения по данным спутниковых наблюдений на примере горнопромышленного комплекса Мурманской области / С.П. Месяц, С.П. Остапенко, А.В. Зорин // Горная промышленность. – 2016. – № 6 (130). – С. 69.

87. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снеговом покрове и почве (утв. Минздравом СССР от 15.05.1990 N 5174-90)

88. Михеев В.С. Ландшафты юга Восточной Сибири (карта м-ба 1:1 500 000) / В.С. Михеев, В.А. Ряшин. – М. : ГУГК, 1977. – 4 л.

89. Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека // Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. – 2001. – № 85. – С. 34 – 37, 249 -257, 285.

90. Мосейкин В.В. Анализ ситуации с горнопромышленными отходами (геоэкологические аспекты) / В.В. Мосейкин, А.М. Гальперин, В.А. Ермолов // ГИАБ. – 2013. – №1. – С. 7-23.

91. Окуджава А.М. Теплопроводность влажного снега. Снег и талые воды. / А.М. Окуджава. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – С. 22-30.

92. Онищук Н.А. Особенности современного режима снегового покрова и химический состав атмосферных осадков в южной части Иркутской области : автореф. дис. … канд. географ. наук : 25.00.30 / Онищук Наталья Анатольевна. Казань, 2010. – 23 с.

93. Опекунов А.Ю. Минералого-геохимическая характеристика снегового покрова в районах горнорудного производства / А.Ю. Опекунов, М.Г. Опекунова, С.Ю. Кукушкин [и др.] // Геохимия. – 2021. – Т.66, № 7. – С. 659-672.

94. Опекунов А.Ю. Научные принципы организации геоэкологического мониторинга на территории вольфрамового месторождения Яоган (Южный Китай) / А.Ю. Опекунов, В. Дэн // Биосфера. – 2015. – Т. 7, № 1. – С. 31-38.

95. Осипова Н.А. Содержание токсичных элементов в уличной пыли и оценка риска для здоровья человека (Междуреченск, Южный Кузбасс) / Н.А. Осипова, К.Ю. Осипов, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, Е.А. Филимоненко, С.А. Новиков // Известия ТПУ. – 2023. – №3. – С 229-244.

96. Отчет об инженерных изысканиях в районе Барун-Нарынского техногенного месторождения лежалых хвостов, г. Улан-Удэ, 2007. – 125 с.

97. Отчет по научно-исследовательской работе : Переработка пробы хвостов Джидинского ВМК с целью наработки вольфрамсодержащего концентрата. – НИиПИ ТОМС, 2008 . – 111 с.

98. Оценка экологического состояния и разработка неотложных мер по социально-экологической реабилитации г. Закаменска 1999-2000 гг. – Улан-Удэ : Ордена Ленина СО РАН Байкальский институт природопользования. – 2000. – 143 с.

99. Пененко В.В. Вариационные принципы в концепции природоохранного прогнозирования / В.В. Пененко // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики : Труды международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика Г.И. Марчука, Новосибирск, 19–23 октября 2015 года. – Новосибирск : Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 2015. – С. 548 – 554.

100. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза). – М.: Недра, 1968. – 331 с.

101. Плюснин А. М. Воздействие горно-добывающего производства на состояние подземных вод г. Закаменск и окружающей его территории / А.М. Плюснин // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии : Материалы Всероссийской конференции с международным участием с элементами научной школы, Томск, 23–27 ноября 2015 года. – Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. – С. 202-207.

102. Плюснин А.М. Загрязнение атмосферы от хранилищ отходов добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд / А.М. Плюснин, Ю.С. Воронина, А.В. Украинцев, М.К. Чернявский, Е.Г. Перязева, Е.П. Чебыкин // Геохимия. – 2023. – Т. 68, № 11. – С.1-17.

103. Плюснин А.М. Природные гидрогеологические системы, формирование химического состава и реакция на техногенное воздействие (на примере Забайкалья) / А.М. Плюснин, В.И. Гунин. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2001. – 137 с.

104. Плюснин А.М. Редкие земли в поверхностных и подземных водах на территории размещения вольфрамдобывающего производства Забайкалья / А. М. Плюснин, В. В. Дабаева, Д. И. Жамбалова [и др.] // Геохимия. – 2020. – Т. 65, № 7. – С. 711 – 728.

105. Плюснин А.М. Химический состав аэрозолей над хвостохранилищами ДВМК и ООО «Закаменск» / А.М. Плюснин, А.В. Украинцев, М.К. Чернявский [и др.] // Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование : Материалы XVII Международной научно-практической конференции, Улан-Удэ, 11–13 декабря 2021 года. – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2022. – С. 93-99.

106. Плюснин А.М. Экспериментальное исследование загрязнения воздуха отходами добычи и переработки руд / А.М. Плюснин, Ю.С. Воронина, А.В. Украинцев [и др.] // Современные направления развития геохимии: материалы Всероссийской конференции (с участием зарубежных ученых), посвящённой 65-летию Института геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рождения академика Л.В. Таусона, Иркутск, 21–25 ноября 2022 года. – Иркутск : Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 91-94.

107. Плюснин А.М., Гарипова Е.Р., Украинцев А.В., Чернявский М.К., Жамбалова Д.И. Исследование загрязнения атмосферного воздуха отходами разработки Ермаковского флюори́т-бери́ллиевого месторождения. «Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов». – 2024. – Т. 335. – №11 (ноябрь).

108. Попов С.М. Методолгия эколого-экономического обоснования использования углепромышленных отходов : автореф. дис. … д-ра эконом. наук : 08.00.05 / Попов Сергей Михайлович. – Москва, 2008. – 40 с.

109. Прицепова С.А. Системный подход к проблеме безопасности труда / С.А. Прицеповп, О.А. Калачева // Естественные и технические науки. – 2012. – № 6 (62). – С. 608 – 612.

110. Прусаков. В.М. Оценка риска здоровью детского населения от воздействия техногенных песков вольфрамо-молибденового ГОКа / В. М. Прусаков, А. В. Прусакова, И. Н. Басараба [и др.] // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2005. – № 8(46). – С. 55-60.

111. Птицын А.Б. Геохимические основы геотехнологии металлов в условиях мерзлоты / А. Б. Птицын; Отв. ред. Г. Р. Колонин. – Новосибирск: Наука: Сиб. отделение, 1992. – 118 [1] с.: ил.; 22 см. – (Труды Института геологии и геофизики им. 60-летия СССР / АН СССР, Сиб. отделение; Вып. 797)

112. Птицын, А. Б. Особые свойства пленочных растворов и их роль в геохимических процессах / А. Б. Птицын // Геохимия. – 1998. – Т. 36, № 12. – С. 1291 – 1297.

113. Пузанов А.В. Формирование техногенных ландшафтов и загрязнение окружающей среды под влиянием горнодобывающих и горно-перерабатывающих предприятий Алтая / А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, Ю.В. Робертус [и др.] // Мир науки, культуры, образования. – 2007. – №1(4). – С. 5-10.

114. Разработка предложений по повышению экономической эффективности работы Джидинского комбината на основе оптимизации использования его сырьевой базы, совершенствования технологии обогащения, комплексного использования минерального сырья. Книга 1 : Сырьевая база вольфрама в России. Положение и потенциал Джидинского ВМК в производстве вольфрамовой продукции. – Москва : ЦНИГРИ, 1997. – 88 с.

115. Разработка предложений по повышению экономической эффективности работы Джидинского комбината на основе оптимизации использования его сырьевой базы, совершенствования технологии обогащения, комплексного использования минерального сырья. Книга 2 : Результаты исследования обогатимости руд и техногенных продуктов Джидинского ВМК. – Москва : ЦНИГРИ, 1997. – 144 с.

116. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. / Райст П./ Пер. с англ./Огородников Б.И.,Садовский А.Б., Будыка А.К./ – М.: Мир, 1987. – 280 с.

117. Рапута В.Ф. Экспериментальные и численные исследования загрязнения снегового покрова г. Новосибирска в окрестностях тепловых электростанций / В.Ф. Рапута, А.А. Леженин, Т.В. Ярославцева, А.Ю. Девятова // Известия Иркутского государственного университета. Серия : Науки о Земле. – 2015. – Т. 12. – С. 77-93.

118. Ревич Б.А. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.И. Сает, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. – Москва : ИМГРЭ, 1982. – 111с.

119. Резвухин К.Е. К вопросу об аэрозольном загрязнении окружающей среды при переработке золотосеребряных руд / К.Е. Резвухин // Естественные и технические науки. – 2010. – № 5(48). – С. 368-369.

120. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. Глобальные обновленные данные за 2005 год. Краткое изложение оценки риска. – Женева : ВОЗ, 2005.

121. Рихтер Г.Д. Роль снегового покрова в физико-географическом процессе / Г.Д. Рихтер // Труды Института географии АН СССР. – М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1948. – Вып. 40. – 171 с.

122. Рубцов Д.Е. Аэрозольное загрязнение атмосферы / Д.Е. Рубцов // Успехи современного естествознания. – 2010. – № 7. – С. 14.

123. Рыбникова Л.С. Влияние экологического ущерба, накопленного от горнодобывающей деятельности, на состояние гидросферы Среднего Урала / Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2013. – № 6. – С. 110-118.

124. Рыбникова Л. С. Гидрогеохимия горнопромышленных ландшафтов Среднего Урала на постэксплуатационном этапе / Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование : труды VII Всероссийского симпозиума с международным участием и XIV Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана, Чита, 22–25 августа 2018 года / отв. ред. Г.А. Юргенсон. – Чита : Забайкальский государственный университет, 2018. – С. 167-172.

125. Рыбникова Л.С. Процессы формирования подземных вод в горнодобывающих районах Среднего Урала на постэксплуатационном этапе : автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук : 25.00.07 / Рыбникова Людмила Сергеевна. – Москва, 2019. – 45 с.

126. Сает Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, В.А. Ревич, Е.П. Янин. – М. : Недра, 1990. – 335 с.

127. Сакладов А.С. Характер и масштабы влияния на окружающую среду отходов горнодобывающих предприятий Республики Алтай : автореф. дис. … канд. геол.-мин. наук : 25.00.36 / Сакладов Амаду Сергеевич. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2008. – 22 с.

128. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (вместе с «СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы...») (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 N 62296)

129. Семенова И.Н. Загрязнение объектов окружающей среды в зоне влияния Бурибаевского горно-обогатительного комбината и показатели заболеваемости населения / И.Н. Семенова, Л.А. Абдуллина, Ю.С. Рафикова // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 10-3. – С. 558-560.

130. Сихынбаева Ж.С. Защита окружающей среды от антропогенных компонентов аэрозоля / Ж.С. Сихынбаева, Б.С. Шакиров, К.А. Жолдасбекова // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 5. – С. 129-130.

131. Смирнова О.К. Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды) / О.К. Смирнова, А.М. Плюснин. – Улан-Удэ : Бурятский научный центр Сибирского отделения РАН, 2013. – 181 с.

132. Смирнова О.К. Особенности нахождения тяжелых металлов в геотехногенных ландшафтах Джидинского вольфрамо-молибденового комбината / О.К. Смирнова, А.Е. Сарапулова, А.А. Цыренова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2010. – № 4. – С. 319-327.

133. Смирнова О.К. Экологические проблемы города, расположенного на территории законсервированного горнорудного предприятия / О. К. Смирнова // Экологические проблемы промышленных городов : сборник научных трудов 5-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 12–14 апреля 2011 года / под ред. Е.И. Тихомировой. – Саратов : Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.. – 2011. – Часть 1. – С. 295-298.

134. Стась Г.В. Аэрогазодинамические процессы в горных выработках и обеспечение аэрологической безопасности при подземной добыче полезных ископаемых / Г.В. Стась, А.Н Качурин, В.И Голик, В.П Стась // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2018. – №4. – С. 338-352.

135. Тагаева Т.О. Проблема накопления отходов в отраслях добывающей промышленности РФ / Т.О. Тагаева, В.М. Гильмундинов, Л.К. Казанцева // ЭКО. – 2019. – № 9(543). – С. 117 -131.

136. Тайсаев Т.Т. Экогеохимическое состояние ландшафтов Джидинского ВМК / Т.Т. Тайсаев, П.Ю. Ходанович, А.В. Лбов и др // Вестник Бурятского государственного университета. Сер. 3 : География, геология. – 1998. – Вып. 2 – С. 145-153.

137. Таловская А.В. Динамика загрязнения снегового покрова микроэлементами в окрестностях теплоэлектростанции (на примере Томской ГРЭС-2) / А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, Е.А. Филимоненко // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 44-53.

138. Таловская А.В. Оценка эколого-геохимического состояния районов г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей : дис. … канд. геол.-мин. наук : 25.00.36 / Таловская Анна Валерьевна. – Томск, 2008. – 185 с.

139. Тентюков М.П. Физические свойства снежного покрова и механизм формирования геохимических барьеров в снежной толще / М. П. Тентюков, Г. В. Игнатьев, И. С. Соболев, Р. Ю. Гаврилов // Вестник геонаук. – 2022. – № 5(329). – С. 26-37.

140. Технико-экономическая оценка техногенных отложений обогатительных фабрик Джидинского вольфрамомолибденового комбината. ООО «Закаменск». – М. : ЗАО «Геотехнологии», 2001 г. – С. 12-26.

141. Технологический регламент для проектирования обогатительной фабрики по переработке лежалых хвостов Джидинского вольфрам-молибденового комбината. – Иргиредмет, 2014. – 170 с.

142. Тимофеев И.В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах и древесных растениях зоны влияния Джидинского W-Mo (Россия) и Эрдэнэтского Cu-Mo (Монголия) комбинатов : автореф. дис. … канд. геогр. наук : 25.00.23 / Тимофеев Иван Вячеславович. – Москва, 2016. – 22 с.

143. Тимофеев И. В. Геохимия почвенного покрова горнопромышленных ландшафтов на юго-западе Забайкалья (город Закаменск) / И. В. Тимофеев, Н. С. Касимов, Н. Е. Кошелева // География и природные ресурсы. – 2016. – № 3. – С. 49-61.

144. Трусова В.В. Оценка состояния качества атмосферного воздуха города Усть-Кут Иркутской области на основании снегохимической съемки / В. В. Трусова, О. Л. Качор, А. В. Паршин [и др.] // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 30 ноября 2022 года. – Киров : Вятский государственный университет, 2022. – С. 218 -221.

145. Украинцев А.В. Особенности миграции химических элементов в снеговом покрове и поверхностных водах в районах лесных пожарищ центральной Бурятии : автореф. дис. … канд геол.-мин. наук : 25.00.09 / Украинцев Александр Викторович. – Томск, 2017. – 22 с.

146. Украинцев А. В. Химический состав снегового покрова в районе хвостохранилищ Джидинского гока / А. В. Украинцев, А. М. Плюснин, Ю. С. Воронина // Эволюция и современное состояние ландшафтов и биоты внутренней Азии : материалы II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного эколога РФ, доктора географических наук, профессора А.Б. Иметхенова (1941-2016), Улан-Удэ, 15 октября 2021 года / Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2021. – С. 123 - 127.

147. Федосеев С.В. Проблемы образования горнопромышленных отходов минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации / С.В. Федосеев, А.Е. Череповицын, М.А. Невская [и др.] // Арктическое пространство России в XXI веке: факторы развития, организация управления: Монография ; под ред. В.В. Ивантера. – Санкт-Петербург : ООО Издательский дом "Наука", 2016. – С. 538 - 553.

148. Филимоненко Е.А. Минералогия пылевых аэрозолей в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томска / Е.А. Филимоненко, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8-3. – С. 760-765.

149. Филимонова Л.М. Исследование геоэкологических особенностей снегового покрова в зоне влияния алюминиевого завода с использованием метода физико-химического моделирования : автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук : 25.00.36 / Филимонова Людмила Михайловна. – Иркутск, 2017. – 20 с.

150. Филиппова У.Г. Химический состав аэрозолей разных размерных фракций в атмосфере на Байкальской природной территории: дис. … канд. геогр. наук : 25.00.30 / Филиппова Ульяна Геннадьевна. – Санкт-Петербург, 2011. – 131 с.

151. Хажеева З.И. Химический состав воды реки Модонкуль в современных условиях / З.И. Хажеева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 6. – С. 183-187.

152. Хамнаева Г.Г. О современном экологическом состоянии окружающей среды города Закаменска и сопредельной территории / Г. Г. Хамнаева, А. И. Куликов, Б. З. Цыдыпов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2013. – № 3(32). – С. 79-85.

153. Цыдыпов В. В. Особенности распределения общей счетной концентрации по данным измерений на юго-Восточном побережье оз. Байкал (ст. «Боярский») в 2021 г / В. В. Цыдыпов, Г. С. Жамсуева, А. С. Заяханов [и др.] // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы : XXVIII Международный симпозиум, Томск, 04–08 июля 2022 года. – Томск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. D299-D301.

154. Чебыкин Е.П. Современное состояние вод р. Селенги на территории России по главным компонентам и следовым элементам / Е.П. Чебыкин, Л.М. Сороковикова, И.В. Томберг [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – Т. 20, № 5. – С. 613 -631.

155. Чебыкин Е.П. Источники поступления химических элементов в снеговом покрове береговой зоны поселка Листвянка (озеро Байкал) / Чебыкин Е.П., Дамбинов Ю.А., Хахураев О.А., Сутурин А.Н.// География и природные ресурсы. – 2018. - №3. – с. 74 – 85.

156. Челноков Г.А. Геохимия редкоземельных элементов в водах и вторичных минеральных отложениях термальных источников Камчатки / Г.А. Челноков, Н.А. Харитонова, И.В. Брагин, А.В. Асеева, К.Ю. Пушкарева, Л.А. Лямина // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2020. – № 1. – С. 88-96.

157. Чередова Т.В. Гранулометрический и минеральный состав твердого осадка снегового покрова на территориях г. Улан-Удэ, подверженных техногенному изменению / Т.В. Чередова, С.Г. Дорошкевич // Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование : Материалы XVII Международной научно-практической конференции, Улан-Удэ, 11–13 декабря 2021 года. – Улан-Удэ : Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2022. – С. 100-105.

158. Чередова Т.В. Химическое загрязнение почвы в районах несанкционированных свалок г. Улан-Удэ / Т.В. Чередова, О.Н. Чудинова, С.Ж. Гулгенов, Ю.С. Воронина //

Современная наука : актуальные проблемы теории и практики. Серия : Естественные и технические науки. – 2021. – № 7. – С. 46-49.

159. Чередова Т.В., Дорошкевич С.Г., Бартанова С.В. Поведение тяжелых металлов в системе «почва-конденсат-растения» на объектах размещения отходов г. Улан-Удэ. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2023. №1. С. 50-58.

160. Чечель Л.П. Основные формы водной миграции металлов в зоне гипергенеза вольфрамовых месторождений Агинского рудного узла (Восточное Забайкалье) / Л.П. Чечель // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия : Науки о Земле, 2009. – № 2 (14). – С. 153-158.

161. Чудаева В.А. Особенности накопления и фракционирования редкоземельных элементов в поверхностных водах Дальнего Востока в условиях природных и антропогенных аномалий / В.А. Чудаева, О.В. Чудаев // Геохимия. – 2011. – № 5. – С. 523-549.

162. Шварцев С.Л. Механизмы образования и усложнения минеральных и органических соединений в зоне гипергенеза / С.Л. Шварцев // Отражение био-, гео- антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов VI всероссийской конференции с международным участием, посвященной 125-летию со дня рождения Ростислава Сергеевича Ильина, Томск, 11–14 сентября 2016 года. – Томск : Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2016. – С. 113-119.

163. Шульга Ф.И. Гидрогеологические условия центральной части Джидинского рудного района / Ф.И. Шульга. – Улан-Удэ, 1970. – 153 с.

164. Язиков Е.Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири : автореф. дис. … д-ра геол.-мин. наук : 25.00.36 / Язиков Егор Григорьевич. – Томск, 2006. – 47 с.

165. Blois, L. Environmental impacts from atmospheric emission of heavy metals: A case study of a cement plant / L. Blois, A. Lay-Ekuakille // Measurement: Sensors. – 2021. – V. 18. – Pp. 100313.

166. Dai J.W. Exposure to concentrated ambient fine particulate matter disrupts vascular endothelial cell barrier function via the IL-6/HIF-1 alpha signaling pathway / J.W. Dai, C.X. Sun, Z. Yao, W.S. Chen, L. H. Yu, M.H. Long // Febs Open Bio. – 2016. – Vol. 6, № 7. – P.720-728.

167. Du. Y. Different exposure profile of heavy metal and health risk between residents near a Pb-Zn mine and Mn mine in Huayuan county, South China / Y. Du, L. Chen, P. Ding, B. Chen, Y. Duan // Chemosphere. – 2019. – V. 216. – P. 352-364.

168. Ettala M., Kukkamaki E., Tamminen A. The use of vertical snow sampling as an indicator of some emissions from point sources // Aqua Fennica. 1986. V. 16. P. 91-108

169. Hinkle M.E., Lovell J.S. Sulphur gases. Handbook of Exploration Geochemistry. Vol. 7. Amsterdam, Elsevier Science BV, 2000. pp. 249-289

170. Hudson-Edwards K.A., Jamieson H.E., Lottermoser B.G. Mine wastes: past, present, future. Elements, 2011, vol. 7, no. 6, pp. 375-380.

171. Johannesen M., Dale I., Gjessing E.T., Henriksen A., Wridht R.F. Acid precipitation in Norway the regional distribution of contaminants in snow and the chemical concentration processes during snowmelt // IAHS AISH Publ. – 1977. – №118. – P. 116-120.

172. Koz£owski, R. Analysis of snow pollutants in an industrial urban zone near the city of Ostrowiec Swietokrzyski / R. Koz£owski, M. Szwed, K. Jarzyna // Ecological Chemistry and Engineering. – 2018. – V. 25 (1). – Pp. 7-18.

173. Kumai Motoi. The effect of aerosols on pH of snow // Atmos. Res. 1990. – V.25, №1-3. – P. 17-30

174. Lawrence A.J. Measurement, analysis and remediation of Environmental pollutants / A.J. Lawrense, T. Khan. – Springer Nature Singapure, 2020. – 474 p.

175. Lee E.-H., Sohn B.-J. Recent increasing trend in dust frequency over Mongolia and Inner Mongolia regions and its association with climate and surface condition change // Atmos. Environ. 2011. V. 45, N 27. P. 4611– 4616. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.065

176. Lewis W.M., Grant M.C. Relationships between snow cover and winter losses of dissolved substances from a mountain watershed // Arct. and Alp. Res. – 1980. – V.12, №1. – P. 11-17.

177. Liu, H. Field measurements on particle size distributions and emission characteristics of PM10 in a cement plant of China / H. Liu, F. Yang, Yo. Du, R. Ruan, H. Tan, J. Xiao, S. Zhang // Atmospheric Pollution Research. – 2019. – V. 10. – Pp. 1464-1472

178. Meyera T., Wania F. Organic contaminant amplification during snowmelt // Water Res. 2008. V. 42, N 8–9. P. 1847-1865.

179. Minnaar A. Water pollution and contamination from gold mines: acid mine drainage in Gauteng Province, South Africa. Water, Governance, and Crime Issues. Cham, Springer, 2020. pp. 193-219

180. Rahn K.A. Relative importances of North America and Eurasia as sources of Arctic aerosol // Atmos. Environ. 1981. V. 15. N 8. P. 1447-1455

181. Robinson A.B., Robinson N.E., Soon W. Environmental effects of increased atmospheric Carbon Dioxide // J. Am. Phys. Surg. 2007. V. 12, N 3. P. 79-90

182. Sakai H., Sasaki T., Saito K. Heavy metal concentrations in urban snow as an indicator of air pollution // Sci. of Total Environ. 1988. V. 77. № 2–3. P. 163-174.

183. Salomons W. Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention. Journal of Geochemical exploration, 1995, vol. 52, no. 1–2, pp. 5-23.

184. Seinfeld J.H., Pandis S. N. Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change. New York: John Wiley & Sons, 1998. 1327.

185. Suturin A.N. Preparation and assessment of a candidate reference sample of lake Baikal deep water Spectrochimica Acta Part B / A.N. Suturin, L.F. Paradina, V.N. Epov, A.R. Semenov, I.V. Lozhkin, L.L. Petrov. // Atomic Spectroscopy. – 2003. – Vol. 58, № 2. – p. 277-288.

186. Taylor C.H., Kesler S.E., Cloke P.L. Sulfur gases produced by the decomposition of sulfide minerals: Application to geochemical exploration. Journal of Geochemical Exploration, 1982, vol. 17, pp. 165-185.

187. Twomey, S. Atmospheric aerosols / S. Twomey. – New York : New York, 1977. – 302 p.

188. Ukraintsev, A.V. Morphology and chemical composition of dispersed particles in the snow cover of burnt forest areas in Western Transbaikalia (Russia) / A.V. Ukraintsev, A.M. Plyusnin, V.I. Zaikovskii // Applied Geochemistry. – 2020. – Vol. 122. – P. 104723.

189. Zinger J., Delisle C.E. Quality of used snow discharged in the st. Laurence river, in the region of the Montreal harbor // Water, Air, and Soil Pollut. – 1988. – V.39, №1. – P. 47-57.

190. Zychowski K. E. Wheeler A., Sanchez B., Harmon M., Steadman Tyler C. R., Herbert G., Lucas S. N., Ali A.-M., Avasarala S., Kunda N., Robinson P., Muttil P., Cerrato J. M., Bleske B., Smirnova O., Campen M. J. Toxic effects of particulate matter derived from dust samples near the Dzhidinski Ore Processing Mill, Eastern Siberia, Russia / K.E Zychowski, A. Wheeler, B. Sanchez, M. Harmon , C.R. Steadman Tyler, G. Herbert ,S.N. Lucas, A-M. Ali, S. Avasarala, N. Kunda, P. Robinson , P. Muttil , J.M. Cerrato, B. Bleske, O. Smirnova, M.J. Campen // Cardiovascular Toxicology, 2019. – Oct. 19 (5). – p.401 – 411.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Химический состав проб конденсационных вод отобранных на фоновой территории (Z-1, Z-2), в хвостохранилищах отходов переработки (ДХ-1 – ДХ-20) и отходов добычи (ОД-2 – ОД-13) руд Джидинского вольфрамо-молибденового комбината, мкг/л)

	ДХ-1	ДХ-2	ДХ-3	ДХ-4	ДХ-5	ДХ-6	ДХ-7	ДХ-8	ДХ-9	ДХ-10	ДХ-16	ДХ-17	ДХ-18	ДХ-19	ДХ-20	ОД-2	ОД-3	ОД-5	ОД-6	ОД-8	ОД-9	ОД-10	ОД-12	ОД-13	Z-1	Z-2
Li	0,077	1,79	0,93	1,64	0,58	0,32	0,25	0,32	0,63	0,46	20	14	10.1	20	32	0.38	0.29	0.65	2	2	5.8	1.5	0,8	4,8	0,068	0,034
Be	0,0016	0,003	0,007	0,037	0,0026	0,004	0,0026	0,007	0,011	0,01	4,1	2,9	2	4,5	7,3	0,013	0,006	0,012	0,55	0,11	1,06	0,24	0,068	0,65	0,0024	0,0019
B	2,1	2	1,55	3,4	1,76	1,72	1,44	2	1,4	1,46	2,2	1,25	2,1	1,26	1,14	3,8	1,68	5,2	8,6	16,4	5,9	3,1	4,4	10	2,7	1,49
Na	210	240	300	2300	178	940	800	1090	620	700	1190	810	1320	1390	1170	1680	1060	1660	2700	10300	1550	1070	2700	5500	510	54
Mg	33	290	300	400	300	320	490	550	600	620	2400	1770	1430	2400	3700	380	240	630	900	1700	530	210	270	1410	54	18.6
Al	10.2	25	55	102	38	17.8	20	37	56	52	4600	2900	2100	4600	7400	25	22	29	1060	220	3100	730	210	1740	6,5	6,9
Si	100	148	161	820	162	133	65	59	65	57	190	111	250	116	71	370	114	106	350	1130	370	187	300	550	580	161
P	24	35	23	38	31	38	53	69	81	77	43	24	21	19	5.9	75	87	150	161	260	42	71	128	220	36	7,6
S	1580	1890	2600	21000	3100	1690	3600	2200	2700	3400	14700	10200	8100	14300	24000	1200	970	1380	4600	3200	6500	1730	1750	9100	<600	<600
Cl	240	480	380	1710	280	1470	1320	1740	1130	1280	1160	910	1610	1510	910	1890	1240	1580	3300	12500	2900	1900	4900	6700	1350	470
K	89	184	200	550	96	740	2100	3000	2400	2700	810	760	1280	1160	810	620	420	690	2900	3500	950	680	2000	3100	710	84

Ca	2500	25000	23000	44000	23000	21000	24000	23000	27000	27000	9200	8900	8600	9600	14200	980	750	3400	6200	9200	5500	2100	3100	14100	500	124
Sc	0,028	0,048	0,051	0,092	0,061	0,06	0,061	0,053	0,045	0,057	0,63	0,48	0,33	0,85	1,35	0,054	0,022	0,026	0,21	0,146	1,76	0,45	0,39	0,75	0,045	0,018
Ti	0,71	0,63	1,07	1,2	0,66	0,99	1,4	1,9	1,8	1,5	0,33	0,23	0,67	0,23	0,25	0,56	0,51	0,97	2,1	1,7	3,8	1,8	5,7	8,5	0,13	0,12
V	0,04	0,05	0,21	0,049	0,033	0,084	0,072	0,109	0,13	0,119	0,095	0,05	0,057	0,059	0,077	0,084	0,051	0,116	0,153	0,37	0,098	0,068	0,31	0,53	0,03	0,017
Cr	0,79	0,87	0,75	0,91	0,83	1,16	1,02	1,27	1,09	1,2	1,01	0,78	0,79	0,76	0,63	0,28	0,37	0,49	0,69	0,81	1,05	0,44	0,7	1,55	0,5	0,41
Mn	1,33	3,3	5	6,9	2,7	6	6,4	9,5	10,6	9,9	2100	1510	1050	2100	3500	4,1	3,2	10,5	30	24	71	25	18,2	73	10,8	14,3
Fe	36	40	350	71	47	55	100	114	107	123	1900	1230	880	2200	3500	19	33	52	620	280	159	171	520	720	<1	<1
Co	0,049	0,154	0,24	0,57	0,151	0,133	0,22	0,32	0,49	0,46	18,7	13,3	10,6	18,7	30	0,065	0,073	0,133	1,9	0,74	7,3	2,4	1,16	4	0,051	0,031
Ni	0,55	0,74	0,57	0,97	0,56	1,52	1,08	1,84	1,37	1,35	18,9	13,7	10,2	19	30	0,98	0,91	1,72	3,9	4,3	5,2	29	2,2	6,7	0,73	0,31
Cu	0,51	1,15	1,7	1,71	0,6	6	3	47	11,5	11,6	460	340	240	520	820	4,8	4,1	7,1	23	17,1	61	25	28	35	1,9	0,48
Zn	4,9	6	6	8,4	3,7	23	6,9	31	28	28	1310	930	690	1430	2400	48	53	123	144	66	115	59	58	240	38	14,9
Ga	0,005	0,0024	0,007	0,0029	0,006	0,004	0,0039	0,006	0,008	0,01	0,062	0,072	0,06	0,105	0,15	0,004	0,005	0,006	0,011	0,019	0,007	0,005	0,013	0,04	0,0031	0,0015
Ge	0,0005	0,0021	0,0027	0,007	0,003	0,003	0,003	0,003	0,005	0,005	0,003	0,008	0,006	0,016	0,027	0,0005	0,004	0,004	0,013	0,012	0,005	0,006	0,009	0,027	<0,001	0,0027
As	0,043	0,1	0,07	0,06	0,07	0,67	0,14	0,16	0,24	0,24	0,051	0,048	0,1	0,07	0,12	0,09	0,09	0,22	0,14	0,21	0,1	0,06	0,1	0,4	0,07	0,042

Se	0,08	0,14	0,07	0,15	0,12	0,11	0,16	0,17	0,07	0,15	0,1	0,2	0,13	0,29	0,26	0,025	0,14	0,09	0,09	0,21	0,025	0,09	0,025	0,23	0,13	0,14
Br	4,9	2,2	5,9	60	5	4,1	7,7	7,2	5	5,2	2,4	2,6	3,3	3,1	2,4	5,1	3,5	4,9	6,5	11,6	4,5	3,2	6,3	10,4	2,5	1,8
Rb	0,52	0,73	2,5	7,2	1,15	1,01	3,8	3,5	2,4	2,6	2,8	2,3	3,1	3,6	3,8	0,58	0,57	0,71	11,6	5,8	21	8,8	7,6	9,1	1,04	0,12
Sr	1,51	8,1	8,1	12,3	6,4	7,8	9,6	10,3	10,1	10,4	20	14,6	22	17,7	23	9,3	6,3	22	30	66	5,8	3,4	10,3	55	1,81	0,65
Y	0,009	0,47	0,016	0,04	0,01	0,017	0,037	0,094	0,062	0,103	0,38	2,8	1,73	4,6	7,8	0,037	0,022	0,038	0,26	0,56	0,2	0,153	0,26	3	0,0068	0,0042
Zr	0,037	0,029	0,024	0,018	0,015	0,053	0,027	0,2	0,057	0,05	0,022	0,013	0,014	0,006	0,017	0,029	0,129	0,028	0,16	0,102	0,15	0,053	0,52	0,64	0,017	0,011
Nb	0,0007	0,0012	0,0019	0,0015	0,0016	0,0014	0,0022	0,0021	0,0024	0,0039	0,0007	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0004	0,001	0,0015	0,0014	0,003	0,0026	0,0021	0,002	0,0028	0,007	0,0006	0,0011
Mo	0,12	0,21	0,18	1,28	0,34	0,27	0,21	0,25	0,51	0,26	0,18	0,18	0,2	0,25	0,16	0,33	0,22	0,37	0,24	2	0,24	0,18	0,19	0,46	0,053	0,03
Ru	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0005	0,0006	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0016	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	0,0002 5	<0,000 2	<0,000 2
Rh	0,0001	0,0001	0,0006	0,0005	0,0006	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0001	0,0055	0,0037	0,0038	0,007	0,009	0,0001	0,0005	0,0015	0,001	0,0014	0,0007	0,0003	0,0005	0,0023	<0,000 5	<0,000 5
Pd	0,0007	0,0017	0,0002	0,0008	0,0002	0,0002	0,0002	0,0015	0,004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002 5	0,002	0,0002 5	0,0002 5	0,004	0,0028	0,0002 5	0,01	0,009	0,0007	<0,000 7
Ag	0,029	0,027	0,13	0,063	0,039	0,039	0,064	0,069	0,059	0,091	0,043	0,032	0,016	0,034	0,045	0,068	0,098	0,17	0,101	0,097	0,18	0,065	0,072	0,17	0,013	0,052
Cd	0,033	0,051	0,07	0,14	0,056	0,23	0,1	0,28	0,34	0,43	24	17,8	13,3	26	45	0,14	0,09	0,44	0,64	0,23	1,29	0,49	0,4	1,19	0,12	0,044

Sn	0,078	0,16	0,099	0,099	0,069	0,65	0,19	0,4	0,27	0,25	0,108	0,066	0,2	0,17	0,57	0,12	0,12	0,18	0,12	0,17	0,107	0,066	0,12	0,26	0,14	0,057
Sb	0,069	0,092	0,082	0,46	0,09	0,4	0,66	0,68	0,7	0,71	0,18	0,13	0,32	0,24	0,37	0,35	0,27	1,56	0,42	0,57	0,55	0,2	0,19	2,5	0,099	0,015
Te	0,005	0,005	0,012	0,014	0,005	0,005	0,005	0,018	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,035	0,0015	0,0015	0,0015	0,018	0,009	0,013	0,0015	0,013	0,028	<0,003	0,009
I	0,52	0,45	0,38	0,66	0,37	0,47	0,49	0,42	0,4	0,38	0,34	0,28	0,56	0,45	0,44	0,84	0,49	1,07	1,13	3,6	0,92	0,64	0,87	1,89	1,07	0,52
Cs	0,37	0,48	0,84	5	1,14	0,27	1,72	0,95	0,64	0,66	0,27	0,21	0,3	0,39	0,4	0,074	0,081	0,053	6,4	2,8	16	7,3	5,5	7,9	0,009	0,008
Ba	2,8	1,39	1,21	0,48	0,42	0,64	0,51	0,58	2,1	0,56	1,12	1,06	1,22	0,86	1,32	2	2,1	5,8	7,7	3,5	3,9	1,32	2,2	6,1	7,6	3,6
La	0,012	0,016	0,035	0,031	0,021	0,013	0,023	0,037	0,025	0,21	0,139	0,94	0,58	1,48	2,6	0,023	0,02	0,034	0,089	0,185	0,035	0,098	0,062	0,33	0,018	0,013
Ce	0,011	0,021	0,075	0,048	0,027	0,012	0,045	0,091	0,056	0,39	0,073	1,9	1,23	3,2	5,8	0,035	0,034	0,055	0,173	0,53	0,042	0,17	0,144	1,05	0,025	0,017
Pr	0,078	0,087	0,078	0,097	0,088	0,088	0,097	0,098	0,107	0,146	0,108	0,33	0,22	0,46	0,78	0,0048	0,0051	0,0071	0,022	0,075	0,006	0,008	0,02	0,164	0,037	0,04
Nd	0,008	0,013	0,032	0,027	0,014	0,007	0,036	0,088	0,055	0,2	0,049	0,96	0,68	1,76	3,3	0,016	0,012	0,027	0,1	0,37	0,022	0,045	0,084	0,85	0,007	0,006
Sm	0,006	0,013	0,007	0,008	0,005	0,014	0,012	0,025	0,012	0,035	0,018	0,2	0,15	0,41	0,81	0,048	0,007	0,017	0,035	0,1	0,047	0,014	0,029	0,3	0,0023	0,0006
Eu	0,0013	0,0022	0,0021	0,0019	0,0012	0,0009	0,0027	0,009	0,0052	0,007	0,0041	0,07	0,054	0,142	0,29	0,0017	0,0021	0,0025	0,009	0,029	0,0023	0,0044	0,012	0,107	0,001	0,0003
Gd	0,0031	0,015	0,005	0,008	0,0037	0,005	0,01	0,026	0,017	0,036	0,022	0,37	0,26	0,66	1,18	0,004	0,005	0,007	0,033	0,104	0,012	0,018	0,037	0,37	0,0012	0,0026

Tb	0,0001 7	0,002	0,0009	0,001	0,0006	0,0004	0,0012	0,0039	0,0021	0,0038	0,0033	0,063	0,045	0,112	0,22	0,0007	0,0007	0,0013	0,0049	0,014	0,0025	0,0035	0,0065	0,066	0,0001 8	0,0004
Dy	0,0006	0,018	0,0028	0,004	0,003	0,002	0,007	0,023	0,013	0,022	0,02	0,39	0,26	0,7	1,32	0,004	0,004	0,006	0,034	0,084	0,02	0,018	0,042	0,43	0,0006	<0,000 3
Ho	0,0002	0,0048	0,0007	0,001	0,0000 35	0,0005	0,0019	0,0048	0,002	0,0052	0,0047	0,079	0,058	0,152	0,28	0,0012	0,0006	0,0014	0,0066	0,02	0,0028	0,0046	0,008	0,084	0,0003	0,0001 9
Er	0,002	0,013	0,0011	0,003	0,0006	0,0017	0,0031	0,013	0,008	0,01	0,014	0,22	0,16	0,41	0,77	0,0021	0,0021	0,0039	0,021	0,058	0,009	0,01	0,026	0,27	0,0004	0,0006
Tm	0,0002 5	0,0013	0,0003	0,0004	0,0003	0,0001	0,001	0,0022	0,0008	0,0021	0,0028	0,031	0,02	0,056	0,102	0,0006	0,0008	0,0008	0,0035	0,009	0,0011	0,0015	0,0043	0,041	0,0001	0,0004
Yb	0,0029	0,011	0,006	0,006	0,0036	0,0044	0,007	0,017	0,016	0,017	0,019	0,18	0,131	0,34	0,59	0,0026	0,0018	0,0021	0,025	0,054	0,007	0,008	0,026	0,3	0,0013	0,0019
Lu	0,0002	0,0011	0,0003	0,0005	0,0002	0,0001	0,0006	0,0023	0,0025	0,0024	0,003	0,027	0,02	0,05	0,091	0,0007	0,0007	0,0008	0,0032	0,01	0,0014	0,0018	0,0044	0,043	0,0001 3	<0,000 08
Hf	0,0012	0,0039	0,0006	0,0018	0,0013	0,0006	0,0005	0,0043	0,0015	0,0015	0,0016	0,0031	0,003	0,006	0,008	0,0008	0,0027	0,0013	0,009	0,007	0,007	0,0015	0,01	0,02	<0,000 3	<0,000 3
Ta	0,0000 7	0,0005	0,0001 2	0,0001 3	0,0001 6	0,0001 6	0,0001 6	0,0002 4	0,0003	0,0002 1	0,0005	0,0014	0,0005	0,0008	0,0021	0,0005	0,0002 5	0,0005	0,0016	0,002	0,0011	0,0006	0,001	0,0039	0,0004	0,0006
W	0,102	0,28	0,32	0,63	0,33	0,22	0,72	0,49	0,76	4,3	0,12	0,117	0,119	0,114	0,13	0,036	0,031	0,049	0,28	0,4	0,17	0,21	0,42	0,81	0,03	0,028
Re	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0003	0,0001 5	0,0001 5	0,0004	0,0008	0,0001 5	0,0011	0,0012	0,0001 8	0,0003	0,0005	0,0008	0,0006	0,0008	0,0001 9	0,0000 5	0,002	0,0002	<0,000 2
Os	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	<0,000 3	<0,000 3
Ir	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	<0,000 3	<0,000 3

Pt	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0012	0,0006	0,0001 5	0,0004	0,0003	0,0006	0,0001 5	0,0004	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0001 5	0,0002	0,0002	0,0006	0,0005	0,0011	0,0006	0,0002	0,0002	0,0006	<0,000 3	<0,000 3
Au	0,0032	0,0016	0,002	0,012	0,0026	0,0019	0,0021	0,0013	0,0013	0,0015	0,0018	0,0016	0,015	0,0019	0,0028	0,017	0,009	0,012	0,01	0,017	0,008	0,006	0,008	0,017	0,0009	0,0009
Hg	0,08	0,08	0,09	0,05	0,07	0,05	0,08	0,07	0,06	0,07	0,11	0,16	0,08	0,05	0,14	0,13	0,11	0,1	0,13	0,15	0,11	0,07	0,12	0,17	0,11	0,1
Tl	0,0029	0,0024	0,016	0,026	0,0046	0,0032	0,012	0,009	0,006	0,006	0,012	0,008	0,012	0,016	0,021	0,0023	0,0018	0,0041	0,066	0,029	0,109	0,052	0,039	0,041	0,038	0,017
Pb	0,7	0,73	2,8	1,07	0,85	2,9	4,4	4,7	5,5	23	1,59	1,9	1,53	2,6	2,9	0,58	0,56	2,1	2,5	1,42	0,76	2	1,28	3,4	2,3	10,3
Bi	0,024	0,018	0,033	0,045	0,026	0,072	0,116	0,143	0,124	0,159	0,014	0,007	0,023	0,009	0,015	0,01	0,013	0,019	0,052	0,065	0,031	0,068	0,154	0,54	0,0017	0,0015
Th	0,0021	0,0021	0,0037	0,004	0,0023	0,0019	0,007	0,02	0,038	0,031	0,0027	0,0016	0,0027	0,0018	0,0027	0,0058	0,0031	0,0049	0,019	0,022	0,043	0,025	0,043	0,126	0,0006	0,0008
U	0,0014	0,01	0,014	0,017	0,0073	0,011	0,02	0,027	0,14	0,068	2,6	2,4	1,59	4,2	6,8	0,024	0,014	0,042	0,133	0,097	0,6	0,19	0,185	0,38	0,002	0,002

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1 – Химический состав проб свежевыпавшего снегового покрова, отобранного в пределах хвостохранилищ отходов переработки руд Джидинского вольфрамо-молибденового комбината, мкг/л

	СХ-1	**СХ-2**	**СХ-3**	**СХ-4**	**СХ-5**	**СХ-6**	**СХ-7**	**СХ-8**	**СХ-9**	**СХ-10**	**СХ-11**	**СХ-12**	**СХ-13**	**СХ-14**	**СХ-15**	**СХ-16**	**СХ-17**
Li	26	1,23	0,27	0,27	0,118	0,178	0,16	0,114	1	0,44	0,138	0,101	0,049	0,049	0,073	0,044	0,031
Be	1,47	0,098	0,02	0,029	0,017	0,005	0,015	0,009	0,051	0,019	0,016	0,006	0,0035	0,0025	0,019	0,01	0,004
B	3,7	2,4	1,81	1,83	0,84	2,4	1,1	1,38	2,3	1,62	1,36	2,1	0,76	0,64	0,55	1,52	0,68
Na	530	144	66	65	63	230	90	89	149	170	74	121	151	144	161	119	92
Mg	1460	270	158	159	61	70	72	90	200	161	137	105	51	42	35	52	38
Al	3900	210	26	21	24	8	26	11,8	66	20	19	12,3	6	7,5	10,1	9,2	8,5
Si	180	26	16,9	20	15,3	87	19	20	43	34	26	70	24	20	20	30	20
P	2,5	6,2	9,2	12,9	17,5	43	32	40	37	57	34	64	19	21	20	51	39
S	18900	2200	640	570	250	250	250	250	2000	510	250	570	250	250	250	250	250
Cl	1860	850	830	830	770	2100	850	790	760	800	740	1660	810	910	680	630	580
K	530	280	190	190	84	180	130	140	290	330	177	177	190	110	133	115	350
Ca	12700	2900	1890	1530	930	960	920	1130	3400	1660	1880	820	770	700	610	600	430
Sc	1,13	0,031	0,01	0,01	0,01	0,027	0,01	0,01	0,022	0,018	0,018	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ti	13,7	0,52	0,24	0,27	0,15	0,13	0,15	0,32	0,43	0,38	0,31	0,17	0,1	0,15	0,06	0,15	0,16
V	0,036	0,137	0,38	0,67	0,39	0,7	0,68	1,01	0,2	0,83	1,1	1,51	0,31	0,101	0,095	0,134	0,098
Cr	2,5	0,57	0,48	0,57	0,54	0,66	0,61	0,54	0,87	0,88	0,57	0,85	0,73	0,73	0,72	1,03	0,7
Mn	320	79	47	46	18,1	12,4	21	20	67	44	38	27	12,2	6,7	5,6	6,5	6,3
Fe	2700	107	37	53	46	18,4	29	23	47	54	24	27	18,4	18,3	15,9	23	17
Co	12,3	1,04	0,28	0,39	0,32	0,13	0,37	0,162	0,75	0,38	0,2	0,096	0,072	0,068	0,065	0,054	0,05
Ni	10,3	2,1	1,41	1,29	0,72	0,65	0,69	0,7	1,48	1,21	0,96	0,92	0,68	0,57	0,51	0,54	0,5
Cu	140	10,1	4,7	4	9,9	1,07	0,74	2,7	4	4,7	4,2	0,84	1,16	0,58	0,64	5,2	0,68
Zn	340	40	23	30	25	9,5	30	14	39	27	17,4	8,5	9,4	9,3	9,3	7,7	6,9
Ga	0,117	0,01	0,013	0,013	0,005	0,012	0,009	0,019	0,018	0,012	0,023	0,012	0,009	0,0039	0,0036	0,007	0,0031

Ge	0,049	0,023	0,021	0,02	0,006	0,012	0,011	0,016	0,019	0,018	0,014	0,015	0,004	0,005	0,0018	0,006	0,005
As	0,07	0,037	0,07	0,09	0,07	0,13	0,13	0,11	0,08	0,14	0,15	0,18	0,064	0,09	0,08	0,08	0,08
Se	0,32	0,03	0,03	0,08	0,03	0,09	0,03	0,03	0,15	0,17	0,11	0,1	0,09	0,07	0,15	0,07	0,03
Br	2,2	1,4	1,2	1	0,87	1,3	1	1	1,2	1,2	1	1,1	1	2,6	0,91	0,72	0,69
Rb	5	1,39	0,62	0,77	0,29	0,28	0,34	0,27	1,82	0,99	0,61	0,22	0,24	0,141	0,156	0,175	3,1
Sr	17,9	10,4	7,8	7,5	3,5	3,8	4,1	4,6	10,8	7,1	6,3	5	2,7	2,1	1,77	2,7	1,67
Y	4,8	0,086	0,053	0,018	0,01	0,019	0,01	0,012	0,016	0,016	0,017	0,012	0,009	0,007	0,012	0,017	0,016
Zr	1,82	0,027	0,008	0,009	0,012	0,016	0,012	0,014	0,013	0,011	0,008	0,019	0,008	0,01	0,005	0,007	0,0053
Nb	0,0015	0,0005	0,0006	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0009	0,0013	0,0003	0,0013	0,0014	0,0006	0,00018	0,0006	0,0006	0,0004
Mo	0,037	0,096	0,18	0,19	0,23	0,14	0,15	0,14	0,36	0,26	0,13	0,61	0,61	0,089	0,36	5,6	0,22
Ru	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004	0,0002	0,0008	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Rh	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0007	0,0004	0,0004	0,0008	0,0008	0,0005	0,00021
Pd	0,006	0,0017	0,00015	0,00015	0,0012	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,0005	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,0004
Ag	0,35	0,056	0,026	0,038	0,036	0,015	0,044	0,018	0,045	0,04	0,028	0,01	0,015	0,011	0,012	0,013	0,01
Cd	5,2	0,58	0,19	0,3	0,12	0,037	0,1	0,1	0,7	0,34	0,17	0,051	0,063	0,044	0,04	0,059	0,027
Sn	0,096	0,035	0,037	0,046	0,016	0,033	0,02	0,022	0,033	0,041	0,024	0,039	0,065	0,047	0,028	0,32	0,024
Sb	0,14	0,11	0,068	0,071	0,05	0,087	0,072	0,033	0,18	0,096	0,042	0,033	0,023	0,01	0,02	0,087	0,017
Te	0,11	0,008	0,011	0,012	0,011	0,019	0,003	0,003	0,015	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
I	0,63	0,52	0,5	0,54	0,51	0,53	0,44	0,49	0,32	0,64	0,51	0,54	0,51	0,36	0,33	0,69	0,29
Cs	2,9	0,46	0,154	0,111	0,049	0,017	0,047	0,021	0,119	0,079	0,044	0,012	0,016	0,0054	0,0053	0,0045	0,06
Ba	20	10,4	8,5	9	4,8	3,7	5,1	4,9	4,6	5,4	7	7,4	3,7	1,73	1,61	2,1	1,24
La	1,55	0,037	0,026	0,016	0,011	0,015	0,014	0,021	0,018	0,018	0,019	0,014	0,015	0,013	0,014	0,74	0,022
Ce	3,9	0,077	0,054	0,022	0,014	0,019	0,015	0,029	0,022	0,024	0,026	0,012	0,015	0,018	0,015	0,028	0,028
Pr	0,57	0,076	0,07	0,066	0,073	0,086	0,077	0,069	0,12	0,113	0,072	0,095	0,092	0,09	0,089	0,101	0,089
Nd	2,2	0,036	0,03	0,014	0,006	0,011	0,009	0,013	0,01	0,009	0,015	0,006	0,007	0,007	0,006	0,01	0,013
Sm	0,65	0,012	0,007	0,004	0,0017	0,004	0,0031	0,004	0,0032	0,005	0,0022	0,004	0,0015	0,0021	0,0014	0,005	0,007
Eu	0,192	0,005	0,0033	0,0011	0,0014	0,0008	0,0008	0,0014	0,0016	0,0014	0,001	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0012	0,0007

Gd	0,74	0,011	0,012	0,005	0,0039	0,005	0,0036	0,006	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,0027	0,005	0,009	0,005
Tb	0,12	0,0021	0,0015	0,0006	0,0004	0,0006	0,00028	0,0005	0,0008	0,0007	0,0006	0,0007	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006	0,0006
Dy	0,71	0,013	0,009	0,0035	0,0013	0,0022	0,0014	0,0019	0,0019	0,003	0,0037	0,0018	0,0016	0,0006	0,0013	0,0033	0,0008
Ho	0,146	0,0027	0,0017	0,0008	0,0007	0,0006	0,0007	0,0003	0,0005	0,001	0,001	0,0004	0,00019	0,0005	0,0005	0,0009	0,0004
Er	0,42	0,007	0,006	0,0021	0,0013	0,0012	0,0011	0,0014	0,0016	0,0015	0,0019	0,0016	0,0002	0,0012	0,0013	0,0013	0,0013
Tm	0,064	0,0013	0,0008	0,00027	0,00005	0,0004	0,00015	0,0004	0,00022	0,00019	0,0004	0,0005	0,00025	0,0004	0,00028	0,00028	0,00028
Yb	0,41	0,009	0,0053	0,005	0,0041	0,006	0,0038	0,0042	0,0051	0,0052	0,0041	0,0044	0,0041	0,003	0,0039	0,008	0,0042
Lu	0,059	0,0013	0,0011	0,00028	0,00026	0,00019	0,0004	0,0004	0,00029	0,0005	0,0004	0,0004	0,00009	0,00019	0,0004	0,0003	0,00022
Hf	0,012	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0005	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	0,0006	0,0004	0,0007	0,0001	0,0001	0,0004
Ta	0,0035	0,0006	0,000035	0,00019	0,000035	0,00009	0,00016	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0003	0,00012	0,00016	0,0005	0,0003	0,00026
W	0,042	0,108	0,15	0,19	0,31	0,135	0,136	0,19	0,53	0,35	0,19	0,18	0,093	0,067	0,066	0,078	0,072
Re	0,0005	0,0005	0,00018	0,0003	0,0004	0,0002	0,0001	0,0001	0,0004	0,0004	0,0005	0,0002	0,0001	0,0003	0,00018	0,0001	0,0001
Os	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,0004	0,00015
Ir	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Pt	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,00035	0,0013	0,00035	0,00035
Au	0,0015	0,0003	0,0009	0,0013	0,0009	0,0005	0,0004	0,0009	0,0016	0,00015	0,001	0,00015	0,0021	0,0005	0,0004	0,0004	0,00015
Hg	0,017	0,04	0,033	0,05	0,08	0,05	0,027	0,017	0,22	0,11	0,05	0,08	0,08	0,032	0,06	0,87	0,04
Tl	0,049	0,033	0,018	0,024	0,01	0,0056	0,011	0,011	0,023	0,018	0,014	0,016	0,0051	0,0026	0,0025	0,002	0,0017
Pb	77	4,5	2,6	1,9	1,79	0,64	0,86	1,26	3,8	2,9	2,4	0,53	0,59	0,45	0,43	0,93	0,56
Bi	0,0044	0,035	0,029	0,044	0,02	0,011	0,025	0,025	0,064	0,063	0,043	0,012	0,0062	0,0034	0,0032	0,0038	0,0038
Th	1	0,014	0,003	0,0018	0,0034	0,0024	0,0032	0,0023	0,0035	0,0027	0,0029	0,0031	0,0016	0,0034	0,0015	0,0035	0,0025
U	1,89	0,054	0,026	0,014	0,0085	0,0061	0,009	0,009	0,012	0,014	0,015	0,0056	0,0077	0,0044	0,01	0,0072	0,011

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 – Химический состав проб снегового покрова г, Закаменск и его окрестностей, испытывающих воздействие отходов добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд, мкг/л

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Li	1,68	0,51	0,24	13,5	1,07	1,87	1,68	44	52	1,1	1,07	2,6	6,5	3,7	2,1	8,9	0,172	0,2	157	0,42	7,7	0,133
Be	0,013	0,0023	0,004	6,7	0,016	0,031	0,048	16,9	20	0,24	0,063	0,012	0,027	0,025	0,028	0,039	0,009	0,006	30	0,34	0,23	0,07
B	5,7	8,2	3,4	2,2	3,3	6,9	9,7	5,1	4,3	4,7	4,8	6	20	10,1	10,5	5,9	2,2	2,3	22	2,1	7,6	2,3
Na	7900	2600	980	750	2000	1730	1750	4100	5500	1180	550	3600	5900	3800	3100	3100	510	420	13100	560	4900	370
Mg	3100	2300	990	1300	3500	2100	790	10700	10000	540	510	1790	9700	4900	2600	8100	186	210	50000	280	9200	157
Al	31	11,5	14	5000	51	46	71	7600	14600	230	120	55	78	44	48	75	24	15,9	2100	117	370	38
Si	151	1280	100	31	1000	140	68	71	35	50	70	184	350	290	220	87	28	27	190	57	250	30
P	181	132	172	19	53	47	44	2,5	16,1	32	31	48	220	152	210	56	86	47	19	34	50	37
S	12500	2800	1650	12100	4000	8800	5700	91000	72000	4100	3600	10300	25000	16400	8900	22000	1040	1230	250000	980	15700	550
Cl	8800	2100	1060	580	910	1310	1210	1460	2200	1550	820	1800	3300	2300	2400	1660	950	650	2500	740	1220	400
K	5500	1560	970	460	690	830	1080	1580	1780	950	620	910	4500	2100	2100	900	750	400	2300	400	950	330
Ca	12700	12100	4700	10000	10800	9300	5500	88000	62000	4600	5100	11700	25000	19000	11300	15100	1590	2500	210000	2100	30000	1320
Sc	0,028	0,029	0,013	0,09	0,046	0,009	0,027	0,055	0,113	0,018	0,015	0,01	0,023	0,024	0,012	0,016	0,003	0,01	0,132	0,003	0,027	0,003
Ti	1,02	0,39	0,46	0,31	0,75	0,99	1,17	0,44	0,51	0,86	1,26	1,28	1,4	1,11	1,29	0,62	0,42	0,34	0,51	0,45	0,47	0,32
V	0,58	0,32	1,35	0,41	1,55	7,5	15,5	0,52	1,39	3,7	2,7	2,3	5	7,4	5,9	1,01	1,32	2,4	0,26	0,2	0,7	0,8
Cr	0,88	0,76	0,7	0,58	0,86	0,65	1,06	0,64	0,64	0,84	0,85	0,58	0,85	0,93	0,54	0,67	0,7	0,67	0,66	0,9	0,7	0,71
Mn	58	16,6	35	630	39	210	210	210	320	126	126	107	240	122	150	500	30	42	2200	24	18,5	21
Fe	30	14,5	22	34	30	41	76	13,4	34	51	63	48	42	36	27	23	20	17,4	14,4	21	17,6	14,6

Co	0,54	0,25	0,35	11,6	0,64	2,3	2,1	1,75	1,08	1,02	1,3	0,58	1,75	0,79	0,92	2,1	0,23	0,24	35	0,26	0,29	0,148
Ni	4,6	1,38	1,7	7,2	1,53	6,4	14,3	13,4	19	4,4	3,7	1,78	3,3	3,9	3	3,8	1,14	1,28	87	1,27	1,4	0,82
Cu	25	4	9,6	95	4,8	8,7	8,1	5,2	23	10,5	5,6	4,5	11,4	6,8	7,9	2,9	4	2,8	49	5,2	3,9	1,71
Zn	156	45	44	410	47	46	85	880	1130	92	46	34	23	22	28	45	46	43	1260	36	9,5	17,1
Ga	0,012	0,007	0,012	0,014	0,033	0,052	0,03	0,007	0,011	0,017	0,03	0,073	0,18	0,076	0,093	0,033	0,01	0,02	0,015	0,009	0,012	0,008
Ge	0,008	0,004	0,015	0,005	0,011	0,061	0,079	0,007	0,013	0,027	0,037	0,035	0,061	0,066	0,075	0,01	0,008	0,011	0,011	0,006	0,009	0,009
As	2,5	1,7	0,58	0,45	0,51	0,77	0,79	0,22	0,23	0,49	0,6	0,76	1,61	1,03	1,8	0,44	0,24	0,42	0,24	0,28	0,54	0,35
Se	0,11	0,025	0,07	0,08	0,08	0,06	0,19	0,22	0,15	0,15	0,08	0,14	0,21	0,23	0,22	0,07	0,025	0,025	0,19	0,07	0,14	0,09
Br	12,9	7,4	5,2	2,3	5,6	5,1	3,1	7,9	5,7	3,4	2,4	5,8	14,5	8,8	8,5	6,4	3,5	2,4	15,3	2,2	10,7	2,1
Rb	5,1	1,14	0,89	0,85	0,82	1,23	2,3	1,67	3,6	1,53	1,52	1,3	3,3	2,2	1,88	0,71	0,79	0,4	5,9	0,46	1,02	0,39
Sr	83	63	29	40	94	71	37	390	270	23	24	69	200	150	80	78	6,7	10,7	760	8,7	440	7,3
Y	0,084	0,049	0,048	0,18	0,09	0,084	0,088	0,105	0,23	0,054	0,048	0,079	0,074	0,093	0,141	0,081	0,049	0,028	0,29	0,042	0,035	0,032
Zr	0,085	0,034	0,039	0,065	0,041	0,061	0,142	0,097	0,103	0,06	0,057	0,084	0,102	0,087	0,15	0,062	0,031	0,031	0,024	0,032	0,051	0,025
Nb	0,0025	0,001	0,0021	0,0013	0,0022	0,0033	0,007	0,0007	0,0024	0,0024	0,0053	0,0026	0,007	0,006	0,01	0,0011	0,0011	0,0011	0,0007	0,0014	0,0011	0,00015
Mo	1,51	0,4	0,31	0,17	1,01	1,24	1,26	0,18	0,27	0,58	0,77	1,09	3,2	1,7	1,23	0,6	0,2	0,32	1,28	0,23	0,37	0,4
Ru	0,00015	0,0004	0,00015	0,00015	0,00015	0,0004	0,00015	0,00015	0,0004	0,00015	0,00015	0,00015	0,0004	0,00015	0,00015	0,0005	0,0004	0,00015	0,0024	0,00015	0,0004	0,00015
Rh	0,0011	0,001	0,0016	0,0015	0,0011	0,0014	0,0003	0,0036	0,0014	0,001	0,0028	0,0001	0,0038	0,0014	0,0011	0,0021	0,0009	0,0012	0,013	0,0004	0,0059	0,0006
Pd	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0012	0,002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Ag	0,049	0,031	0,03	0,032	0,059	0,02	0,017	0,014	0,014	0,042	0,033	0,023	0,036	0,022	0,02	0,02	0,015	0,02	0,017	0,055	0,015	0,012
Cd	0,12	0,04	0,049	9,1	0,061	0,23	0,31	14,8	25	0,58	0,34	0,12	0,19	0,12	0,12	0,37	0,09	0,08	31	0,15	0,16	0,062
Sn	0,16	0,05	0,13	0,034	0,058	0,062	0,041	0,029	0,041	0,042	0,066	0,038	0,068	0,07	0,056	0,049	0,047	0,063	0,046	0,15	0,062	0,043
Sb	0,18	0,052	0,076	0,032	0,079	0,16	0,25	0,085	0,06	0,43	0,62	0,38	0,48	0,38	0,64	0,26	0,2	0,25	0,15	0,26	0,21	0,14

Te	0,003	0,003	0,007	0,003	0,003	0,007	0,003	0,003	0,003	0,007	0,012	0,003	0,003	0,003	0,008	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
I	1,71	1,56	1,01	0,68	1,1	1,07	0,97	1,38	1,06	0,92	1,02	1,46	2,5	1,71	2	1,68	0,78	0,71	3,2	0,86	2,2	0,84
Cs	0,008	0,0026	0,008	0,101	0,023	0,041	0,061	0,04	0,16	0,059	0,081	0,031	0,045	0,035	0,03	0,009	0,012	0,008	0,31	0,039	0,023	0,016
Ba	14,1	6,7	6	9,5	9,1	15,6	20	43	27	10,1	8,5	14,8	33	24	19	11,8	3,4	4,8	26	2,8	13,5	2,5
La	0,103	0,063	0,071	0,163	0,098	0,107	0,126	0,21	0,26	0,072	0,075	0,094	0,095	0,122	0,16	0,072	0,07	0,063	0,25	0,064	0,055	0,074
Ce	0,116	0,082	0,087	0,085	0,129	0,155	0,158	0,22	0,3	0,081	0,089	0,153	0,124	0,167	0,3	0,087	0,067	0,062	0,23	0,066	0,036	0,074
Pr	0,65	0,37	0,39	0,5	0,5	0,53	0,48	0,49	0,55	0,5	0,5	0,32	0,54	0,54	0,25	0,5	0,49	0,48	0,49	0,33	0,51	0,5
Nd	0,059	0,044	0,04	0,03	0,077	0,08	0,075	0,068	0,12	0,043	0,041	0,074	0,061	0,096	0,16	0,042	0,033	0,025	0,07	0,037	0,018	0,037
Sm	0,038	0,013	0,013	0,01	0,024	0,019	0,018	0,021	0,023	0,012	0,011	0,02	0,02	0,021	0,034	0,02	0,01	0,007	0,021	0,005	0,004	0,007
Eu	0,0038	0,0029	0,002	0,0027	0,007	0,0052	0,0055	0,0021	0,0057	0,003	0,0024	0,0046	0,0046	0,0053	0,006	0,0029	0,0023	0,0027	0,0045	0,0021	0,0008	0,0013
Gd	0,03	0,022	0,019	0,021	0,033	0,031	0,03	0,025	0,039	0,022	0,022	0,028	0,033	0,035	0,039	0,026	0,021	0,02	0,033	0,017	0,017	0,02
Tb	0,0029	0,0018	0,0017	0,0023	0,0038	0,0036	0,0031	0,0026	0,0049	0,0022	0,0021	0,0021	0,0024	0,0029	0,0043	0,0017	0,0016	0,0013	0,0044	0,0012	0,001	0,0014
Dy	0,013	0,008	0,008	0,014	0,018	0,014	0,011	0,011	0,032	0,008	0,01	0,013	0,01	0,013	0,025	0,012	0,008	0,005	0,026	0,007	0,005	0,006
Ho	0,0028	0,0019	0,0016	0,0032	0,0035	0,0028	0,0037	0,0024	0,0073	0,0024	0,0021	0,003	0,0028	0,0036	0,005	0,0027	0,002	0,0011	0,0051	0,0013	0,0014	0,0012
Er	0,019	0,0042	0,0042	0,011	0,01	0,009	0,009	0,007	0,018	0,006	0,005	0,008	0,008	0,008	0,015	0,008	0,0042	0,0025	0,013	0,0039	0,0032	0,003
Tm	0,0015	0,0007	0,0008	0,0017	0,0017	0,0012	0,0019	0,0014	0,0028	0,0014	0,0013	0,0014	0,001	0,0012	0,0017	0,0013	0,001	0,0008	0,0017	0,0006	0,0006	0,0007
Yb	0,034	0,016	0,018	0,03	0,028	0,028	0,025	0,025	0,031	0,027	0,023	0,022	0,026	0,027	0,018	0,026	0,025	0,021	0,026	0,016	0,021	0,018
Lu	0,0013	0,0006	0,0007	0,0021	0,0015	0,0019	0,0014	0,0014	0,0026	0,0012	0,0017	0,0013	0,001	0,0015	0,0022	0,0012	0,0011	0,0006	0,0012	0,0006	0,0009	0,0005
Hf	0,0019	0,0002	0,0007	0,0023	0,0012	0,0016	0,0025	0,009	0,006	0,0027	0,0035	0,002	0,0028	0,0022	0,0033	0,0021	0,0014	0,0003	0,0015	0,0016	0,0022	0,0007
Ta	0,0001	0,0003	0,0005	0,0007	0,0001	0,0001	0,0003	0,0018	0,0014	0,0004	0,0007	0,0003	0,00027	0,0005	0,00022	0,0001	0,0006	0,0006	0,0004	0,0003	0,0004	0,0003
W	0,091	0,064	0,15	0,081	0,49	1,05	1,38	0,63	1,54	0,35	0,61	0,45	1,76	0,58	0,55	0,13	0,125	0,16	0,15	0,077	0,123	0,073
Re	0,0019	0,0006	0,001	0,0029	0,002	0,0025	0,0018	0,039	0,037	0,0016	0,0025	0,0039	0,014	0,008	0,0035	0,0039	0,0008	0,0009	0,095	0,0004	0,0049	0,0005

Os	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Ir	0,0003	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,0004	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015	0,00015
Pt	0,0016	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0014	0,0005	0,0005	0,0011	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0015	0,0005	0,0005	0,0005
Au	0,0037	0,0015	0,0022	0,0007	0,0016	0,0021	0,0006	0,0009	0,0003	0,0003	0,0014	0,001	0,0022	0,0019	0,0022	0,0024	0,0003	0,0003	0,0018	0,0008	0,0012	0,0003
Hg	0,027	0,05	0,05	0,029	0,04	0,024	0,05	0,06	0,024	0,05	0,04	0,05	0,04	0,07	0,027	0,05	0,01	0,05	0,05	0,03	0,037	0,026
Tl	0,008	0,0028	0,006	0,011	0,0054	0,031	0,059	0,015	0,029	0,035	0,037	0,018	0,025	0,022	0,024	0,008	0,009	0,01	0,024	0,0026	0,0048	0,0054
Pb	10,1	7,2	2,8	3,4	1,9	1,53	1,6	1,37	1,46	3,7	4,5	2,6	3,4	2	2,8	2,5	1,87	2,2	1,55	2,2	2	2,1
Bi	0,007	0,005	0,007	0,004	0,016	0,024	0,037	0,0029	0,0053	0,044	0,072	0,039	0,02	0,064	0,012	0,014	0,022	0,013	0,004	0,0053	0,0044	0,0042
Th	0,008	0,0052	0,008	0,0068	0,0057	0,0073	0,016	0,013	0,013	0,01	0,011	0,012	0,008	0,012	0,02	0,01	0,009	0,008	0,0034	0,008	0,009	0,009
U	0,52	0,24	0,21	1,16	1,1	0,104	0,096	0,34	0,95	0,048	0,046	0,2	2	0,78	0,163	0,182	0,023	0,014	7,3	0,104	5,9	0,027