

*На правах рукописи*



Воронина Юлия Сергеевна

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ ОТ ХРАНИЛИЩ  
ОТХОДОВ ДЖИДИНСКОГО ВОЛЬФРАМО-МОЛИБДЕНОВОГО  
КОМБИНАТА**

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Улан-Удэ – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН), г. Улан-Удэ

**Научный руководитель****Плюснин Алексей Максимович**

доктор геолого-минералогических наук,  
заведующий лабораторией гидрогеологии и  
геоэкологии ФГБУН Геологического  
института им. Н.Л. Добрецова Сибирского  
отделения Российской академии наук,  
г. Улан-Удэ

**Официальные оппоненты****Кошелева Наталья Евгеньевна,**

доктор географических наук,  
профессор кафедры геохимии ландшафтов и  
географии почв  
географического факультета  
ФГБОУ ВО Московского государственного  
университета им. М.В. Ломоносова,  
г. Москва

**Савичев Олег Геннадьевич,**

доктор географических наук,  
профессор отделения геологии Инженерной  
школы природных ресурсов  
ФГАОУ ВО Национального  
исследовательского Томского  
политехнического университета,  
г. Томск

**Ведущая организация**

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт природных  
ресурсов, экологии и криологии Сибирского  
отделения Российской академии наук (ИПРЭК  
СО РАН), г. Чита

Защита состоится «19» февраля 2025 г. в 14-00 ч. на заседании диссертационного совета 24.1.506.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Байкальского института природопользования Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН) по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6. E-mail: dissovnet@binm.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке БИП СО РАН и на сайте [www.binm.ru](http://www.binm.ru).

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024г.

Ученый секретарь

диссертационного совета, к.г.н.



Жарникова Маргарита Андреевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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 (Джевага, 2022). 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, оксиды серы, азота, сероуглерод (Чечель, 2009; Бортникова и др., 2021). Вместе с газообразными продуктами в атмосферу выделяются минерализованные растворы, формируя аэрозольный ореол загрязнения приземной атмосферы над природно-техногенными системами (Бортникова и др., 2013; Плюснин, 2021). Тонкодисперсные частицы от нарушенных горными работами территорий переносятся ветром на значительные расстояния, формируя геохимические особенности территорий, загрязняя почву, снег (Язиков, 2006; Будыкина, 2017; Горлов, 2022).

**Степень разработанности темы.** Ранее оценку воздействия отходов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината на окружающую среду и ее отдельные компоненты проводили многие ученые (Иметхенов, 2015, 2016; Дорошкевич, Смирнова, 2010, 2011, 2017, 2018, 2021; Тимофеев, 2016; Плюснин, Дабаева 2015, 2017, 2019; Хажеева, 2017 и др). Проводились измерения концентрации частиц аэрозоля, в которых был определен основной набор загрязняющих элементов: хром, никель, медь и свинец (Цыдыпов, 2022); производилась приближенно-качественная оценка экологического ущерба компонентам природной среды и населению г. Закаменск (Бурмистров, 2024), детально изучались наиболее экологически опасные зоны г. Закаменск (Хамнаева, 2013). 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 (Прусаков и др., 2005).

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 вольфрамомолибденовых руд.

**Задачи работы:**

- анализ теоретических и методических подходов исследования аэрозольного загрязнения окружающей среды;
- выявление особенностей вещественного состава влаги, испаряющейся из отходов добычи и переработки вольфрамомолибденовых руд;
- исследование пылевого загрязнения вблизи отходов добычи и переработки вольфрамомолибденовых руд;
- определение факторов изменения химического состава снегового покрова вблизи хранилищ отходов горнодобывающего производства;
- геоэкологическая оценка загрязнения природно-техногенной системы Джидинского вольфрам-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 вольфрам-молибденовых руд в зимний и летний период с 2021-2023 гг.

Для оценки суммарного загрязнения исследуемой территории использован анализ снегового покрова, который включал определение содержания 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 элементноопределения. 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 спектроскопии 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 РНОЕNIX 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.

### **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 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» (Улан-Удэ, 2021 г.); XXV Международный симпозиум студентов и молодых ученых имени М. А. Усова (Томск, 2021 г.); XXVI Международный научный симпозиум молодых ученых и студентов имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2022 г.); Всероссийская научная конференция с международным участием молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире» (Казань, 2021 г.); Всероссийская конференция с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез» (Чита, 2021 г.); Всероссийская конференция (с участием зарубежных ученых) «Современные направления развития геохимии» (Иркутск, 2022 г.); VI Международная научная конференция «Геодинамика и минерагения Северной Евразии» (Улан-Удэ, 2023 г.).

**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, 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 41 рисунок. Список литературы насчитывает 190 источников. В приложениях приведен химический состав конденсационных и талых вод снежного покрова, проанализированных по 72 параметрам.

**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 ГИН СО РАН. Также благодарю за ценные советы и конструктивные замечания к.т.н Аюржанаева Александр Андреевича.

Структура автореферата оформлена по защищаемым положениям.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В 1 главе** проведен литературный обзор проведенных исследований в области аэрозольного загрязнения окружающей среды; рассмотрено определение аэрозолей, их классификация и миграционные особенности. Описан район исследования, проанализирована экологическая обстановка.

**Во 2 главе** подробно описана и обоснована методология проведенных исследований хранилищ отходов добычи и переработки вольфрамо-молибденовых руд. Рассмотрены методы эколого-географических (полевых, лабораторных и аналитических) исследований и обработки полученных результатов современными методами анализа данных.

**В 3 главе** приведены результаты изучения техногенно-измененной территории района исследований за период с 2021 по 2023 гг. Рассмотрены процессы формирования токсичных аэрозольных эмиссий, мигрирующих в газовоздушной и водной средах. Установлена взаимосвязь групп химических элементов, переносимых в атмосфере.

**В 4 главе** показаны результаты изучения твердой фазы талых вод. Выявлены основные загрязняющие вещества и очаги их распространения, на основании чего составлены карты, показывающие ореолы рассеяния токсичных компонентов с пылью в районе исследования.

***Первое защищаемое положение.** 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.*

Район исследования располагается в юго-западной части Республики Бурятия на границе с Монголией. С 1937 по 1997 г. на этой территории функционировал ДВМК – первое предприятие горнодобывающей

промышленности в Республике Бурятия, которое давало стране в разные годы от 50 до 100 % добываемого вольфрама (рисунок 1).



Условные обозначения:

1– Барун-Нарынское хвостохранилище; 2– Зун-Нарынское хвостохранилище;

3– отходы добычи руд

Рисунок 1 – Топографическая карта района исследования с местами размещения отходов переработки и добычи руд ДВМК

За время работы предприятия было сформировано более 40 млн. тонн отходов переработки руд, которые в настоящее время представляют наибольшую опасность для населения и окружающей среды г. Закаменск, а также для бассейна озера Байкал, поскольку район исследования относится к буферной экологической зоне Байкальской природной территории (Федеральный закон «Об охране озера Байкал» от 01.05.1999 № 94-ФЗ).

Наибольшую опасность на изучаемой территории представляют отходы переработки, складированные в виде песков в хвостохранилищах, и отходы добычи в виде крупноглыбового материала вскрышных пород, расположенные возле двух карьеров. Хвостохранилище, расположенное в долине ручья Барун-Нарын, заполнялось с 1958 г. по 1997 г.

Оно сформировано в результате складирования хвостов обогащения молибденовой (до 1972 г.) и вольфрамовой фабрик. Зун-Нарынское хвостохранилище формируется в настоящее время предприятием АО «Закаменск», которое занимается вторичной переработкой песков ДВМК. Это хвостохранилище постоянно пополняется промытыми песками, поступающими с фабрики. На рисунке 2 приведен спутниковый снимок



хвостохранилищ с местами отбора проб конденсата. В зимнее время на этих же участках отбирались пробы снега.

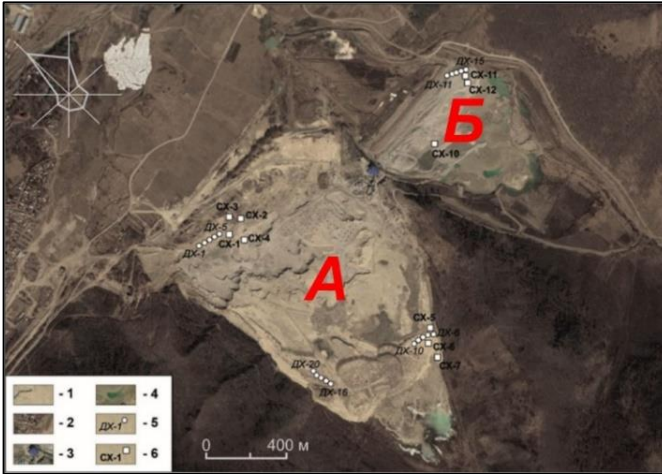


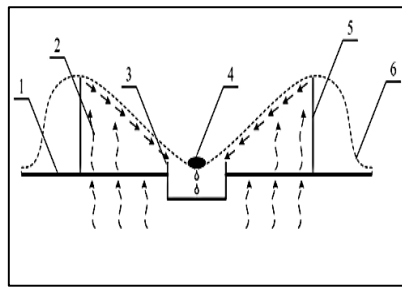
Рисунок 2 – Спутниковый снимок Барун-Нарынского (А) и Зун-Нарынского (Б) хвостохранилищ

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

Для отбора проб конденсата была использована установка, позволяющая собрать конденсационную влагу с поверхности песков площадью  $1\text{ м}^2$  (рисунок 3).



а



б

Условные обозначения: 1 – поверхность почвы, грунта; 2 – потоки испаряющейся влаги и конденсата; 3 – емкость для сбора конденсата; 4 – груз; 5 – стенки цилиндра; 6 – полиэтиленовая пленка.

Рисунок 3 – Общий вид (а) и схема работы установки (б) для сбора конденсированной влаги

Первоначально исследовались концентрации микроэлементов в конденсационной влаге на незатронутой горнодобывающим производством территории, были отобраны пробы конденсата в долине р. Джиды. В пробах

конденсата установлены концентрации 72 химических элементов, которые далее использовались в качестве регионального фона. Наиболее высокие содержания установлены для цинка и марганца, которые изменяются в интервале 10,8-14,9; 10,8-14,3 мкг/л соответственно. Максимальное содержание свинца составляет 10,3 мкг/л, меди 1,9 мкг/л. Железо не превышает 1 мкг/л, все другие микроэлементы меньше 1 мкг/л.

Анализ проб, отобранных в пределах техногенных объектов, показал, что конденсат имеет повышенную минерализацию, 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 на Зун-Нарынском хвостохранилище в среднем составляет 97,0 мг/л.

В конденсате, собранном на Барун и Зун-Нарынском хвостохранилищах, наблюдаются существенные различия в качественном и количественном составе проанализированных микроэлементов. На Зун-Нарынском хвостохранилище присутствуют в значительно большей концентрации марганец, железо, цинк и медь. Содержание марганца, железа и цинка достигает значений более 1000 мкг/л. Здесь обнаружена высокая концентрация таких тяжелых металлов, как никель, кобальт, свинец, кадмий. В очень высоких концентрациях обнаруживаются алюминий, кремний, фосфор, стронций и литий. Наиболее высокая концентрация алюминия установлена в конденсационной влаге, собранной над Зун-Нарынским хвостохранилищем, его содержание в среднем составляет 4320 мкг/л, изменяясь в интервале 2100–7400 мкг/л.

Повышенные содержания кремния и фосфора установлены в конденсационной влаге, собранной над Барун-Нарынским хвостохранилищем. 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.

Установленные различия в концентрациях связаны с длительностью хранения отходов переработки руд. В Барун-Нарынском хвостохранилище накопились продукты выветривания горных пород, на которых адсорбируются металлы из раствора, а в Зун-Нарынском хвостохранилище адсорбентов с активной поверхностью нет, поэтому концентрация металлов в поровых водах выше и, соответственно, их больше в конденсационных водах.

Отходы добычи вольфрамовых руд представляют собой крупноглыбовый материал, коренные породы в карьере раздроблены многочисленными трещинами. Грунтовые воды находятся на большой глубине. выпадающие атмосферные осадки подземным стоком удаляются за пределы мест складирования отходов. Потоки аэрозолей из недр формируются только там,

где накопились мелкие продукты выветривания пород, поэтому над отходами добычи пробы конденсата удалось собрать только в 9 случаях из 15 предпринятых попыток.

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 отмечаются высокие концентрации сульфат-иона. 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. 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.

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

Одновременно с увеличением концентрации указанных микроэлементов возрастает содержание алюминия, кремния, фосфора. Максимальные концентрации этих элементов достигают, соответственно, 3100, 1130, 260 мкг/л. Содержание этих элементов в конденсате увеличивается вследствие химического выветривания пород в кислой среде. Их подвижность в аэрозолях выше, чем подвижность тяжелых металлов, миграция которых связана с разложением сульфидной минерализации.

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.

На диаграмме рассеяния факторов просматривается две ярко выраженные ассоциации химических элементов (рисунок 4). В ассоциации первого фактора присутствует сера. На основании чего можно предполагать, что образование этой ассоциации элементов происходит 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. Эти элементы поступают в поровые воды из вмещающих оруденение пород.

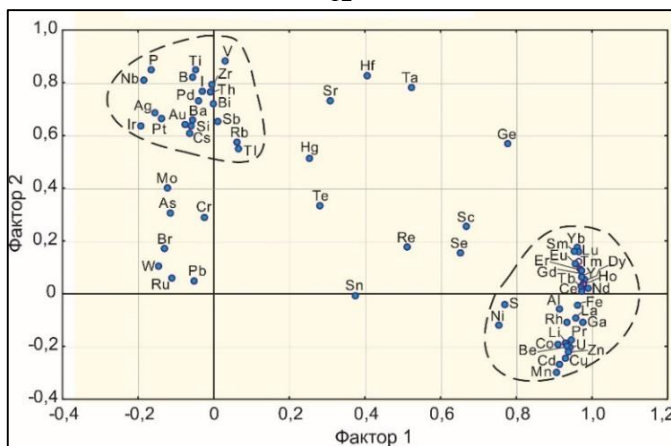


Рисунок 4 – Диаграмма рассеяния факторов 1 и 2 в конденсационных водах

Ассоциация элементов второго фактора сформировалась 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.

**Второе защищаемое положение.** На загрязнение снегового покрова территории природно-техногенной системы горнодобывающего производства оказывает влияние испарение высокоминерализованных поровых вод, находящихся в толще отходов производства, и сточных вод, изливаемых из горных выработок.

При исследовании загрязнения снегового покрова на техногенно-нарушенной территории было отобрано 22 пробы, которые включали в себя места складирования отходов Джидинского вольфрам-молибденового комбината, селитебную часть города, прилегающие территории, включая объекты инфраструктуры комбината.

За фоновое значение была выбрана точка СХ-14, расположенная в северо-западной части исследуемой местности с подветренной стороны. Пробы отбирались в конце сезона снегонакопления, который наступает в конце марта. В снеге установлена слабокислая среда, общая минерализация составляет в среднем 148 мг/л. Наибольшее значение общей минерализации талой воды зафиксировано в долине р. Мыргеншено (969 мг/л), наименьшее в верховье долины р. Зун-Нарын (19 мг/л). Высокие показатели минерализации характерны для снегового покрова западной части территории города

Закаменск (168–464 мг/л). Среди анионов преобладает сульфат-ион, его концентрация в одной точке (Ю-19) достигает 682 мг/л, в основной массе проб минерализация изменяется в интервале 3–65 мг/л. Средняя концентрация гидрокарбонат-иона 44 мг/л. Диапазон изменения его содержания меньше, чем у сульфат-иона. Значительное количество 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.

Установлена корреляционная зависимость общей минерализации и сульфат-иона (рисунок 5).

Снег содержит значительное количество пыли, которая в отдельных точках отбора превышает 10 г/м<sup>2</sup>. Какой-либо зависимости между содержанием пыли, общей минерализацией и значениями pH не установлено (Плюсин, Воронина, 2023). Химический состав снегового покрова и количество пыли в снеге формируются под воздействием разных факторов.

Среди микроэлементов аномально высокими концентрациями выделяется алюминий (14600 мкг/л). Наблюдается значительная дисперсия в его концентрации, которая достигает трех математических порядков и превышает ПДК водоемов рыбохозяйственного назначения в сотни раз. В снеговом покрове зафиксированы высокие содержания марганца (2200 мкг/л), кремния (1280 мкг/л), цинка (1260 мкг/л), фосфора (220 мкг/л), меди (95 мкг/л), никеля (87 мкг/л), железа (76 мкг/л).

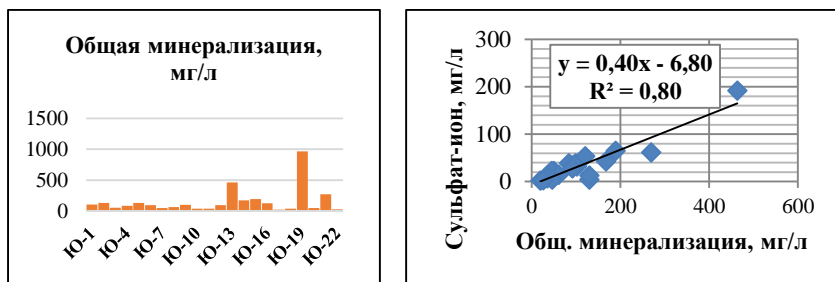


Рисунок 5 – Распределение общей минерализации и корреляция содержания сульфат-иона и общей минерализации в пробах снега, мг/л

Перечисленные значения при сравнении с фоновой точкой показывают превышение в концентрациях от 2 до 262 раз. Отдельно следует выделить группу редкоземельных элементов. Суммарные концентрации редкоземельных элементов (РЗЭ) в талых водах варьируются от 0,55 до 1,40 мкг/л, среднее содержание составляет 0,88 мкг/л. Высокими концентрациями

выделяются Pr, Gd и Yb. В ходе исследований установлена взаимосвязь содержаний редкоземельных элементов и сульфат-иона (рисунок 6).

Наблюдается как общая зависимость суммарного содержания редкоземельных элементов от концентрации сульфат-иона, так и отдельных редкоземельных элементов. В основной массе отобранных проб сульфат-ион поступает в снег из мест хранения отходов переработки руд. В хвостохранилищах активно протекают процессы окислительного разрушения остаточной сульфидной минерализации, содержащей в своем составе РЗЭ.

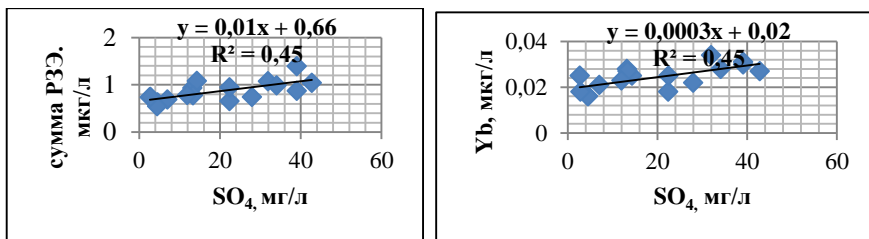


Рисунок 6 – Графики зависимостей содержания редкоземельных элементов от количества сульфат-иона в талой воде

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. Эта взвесь под воздействием ветра попадает в атмосферу и затем выпадает на поверхность земли вместе со снегом. При таянии снега РЗЭ частично десорбируются и попадают в раствор. Чем больше такой взвеси в снеге, тем выше концентрация РЗЭ.

Для выяснения механизма формирования химического состава снегового покрова на отходах переработки вольфрамовых руд изучался свежевывающий снег, незагрязненный пылью. Общая минерализация этого снега на территории хвостохранилищ варьируется в интервале 17–57 мг/л. Снег в пределах Барун-Нарынского хвостохранилища более минерализован, чем в Зун-Нарынском хранилище. Наиболее высокая минерализация снега отмечается в пробе с высоким содержанием сульфат-иона. В Зун-Нарынском хвостохранилище отмечается высокие концентрации фторид-иона. 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, сравнение концентраций с фоном превышения варьируют от 2 до 87 раз.

Полученные результаты позволяют заключить, что химический состав свежевывающего снега формируется за счет потока аэрозолей из

подстилающей толщи песков. В разных частях хвостохранилищ микроэлементный состав аэрозолей может существенно различаться. Наиболее интенсивный поток химических элементов в атмосферу 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 снегу обнаруживаются не только высокие содержания железа и марганца, но и свинца, меди, кобальта, кадмия, цинка.

Для выявления корреляционных зависимостей в концентрациях химических элементов в снеговом покрове был проведен факторный анализ, результаты этого исследования приведены на рисунке 7.

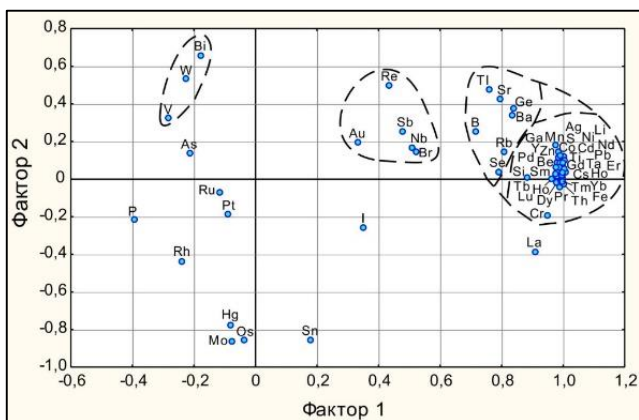


Рисунок 7 – Диаграмма рассеяния факторных нагрузок в свежеснеге

Распределение ассоциаций элементов во многом напоминает 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 свежеснеге не выделяется ассоциация элементов, связанная с миграцией в щелочных условиях. Это связано с тем, 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.

Факторный анализ выборки проб снега за весь период снегонакопления выделил два фактора. Набор химических элементов в ассоциации первого фактора позволяет предполагать воздействие на химический состав снегового покрова 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. Установленные ассоциации отличаются от выявленных в конденсационных водах. Химический состав снега формируется при протекании нескольких процессов. В снег кроме аэрозолей 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, но нарушается единообразное поведение редкоземельных элементов.

При изучении вещественного состава снегового покрова наиболее высокими концентрациями алюминия, меди, марганца цинка и сульфат-иона отличались пробы в долине р. Мыргеншено. Установлено, что на этой 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.

*Третье защищаемое положение. 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 рассеивается 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.*

Для установления источников и характера рассеивания токсичных химических элементов в снеговом покрове была изучена твердая фаза снеготалой воды. В химическом составе твердой фазы снега произведено 456 элементопределений, выделена группа элементов, представляющих высокую токсичность и характеризующихся повышенными концентрациями.

Твердая фаза характеризуется высокими содержаниями марганца, алюминия, свинца, цинка, железа. При сопоставлении концентраций



химических элементов в талой воде с их содержаниями во взвеси было выявлено, что значительная часть токсичных компонентов связана с тонкодисперсной фракцией осадков с размером частиц от 0,1 до 500 микрон. То есть, основная часть загрязняющих веществ переносится воздушными потоками в виде твердых аэрозольных частиц, которые могут проникать в организм, накапливаясь, прежде всего, в органах дыхания. Для сравнения концентрации выделенных химических элементов в твёрдой фазе снегового покрова были сопоставлены с кларковыми содержаниями городов коры (таблица 1). В самых высоких концентрациях обнаружены алюминий (выше кларка в 15 раз), железо (выше кларка в 15 раз), марганец (выше кларка в 27 раз). 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 (рисунки 8–11).

Таблица 1 – Содержание химических элементов в твердой фазе снега и их кларковые содержания в почвах населенных, мг/кг

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

Высокая миграционная способность алюминия (рисунок 8) связана с тем, что в кислых условиях происходит интенсификация разложения полевых шпатов. В результате гидролиза может образоваться тонкая взвесь гиббсита. Содержащая алюминий тонкая взвесь осаждается на аллювиальных отложениях и по берегам рек, почвах и может вовлекаться в миграцию воздушными потоками. Высокие концентрации установлены в долине

р. Мыргеншено, в районе расположения отходов добычи вольфрамовых руд и в долине р. Модонкуль и руч. Инкур. Эти водотоки находятся под воздействием изливающихся высоко минерализованных вод из штолен «Западная» и «Северная».

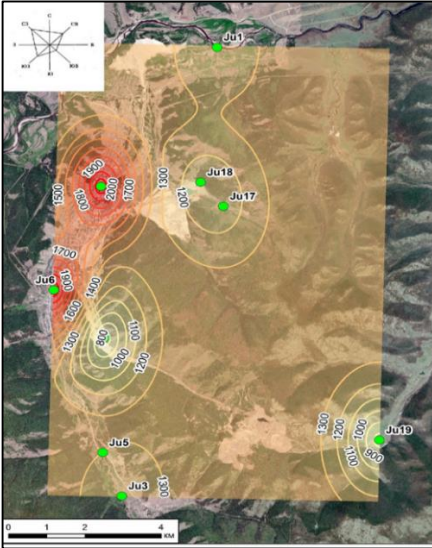


Рисунок 8 – Распределение алюминия в природно-техногенной системе ДВМК

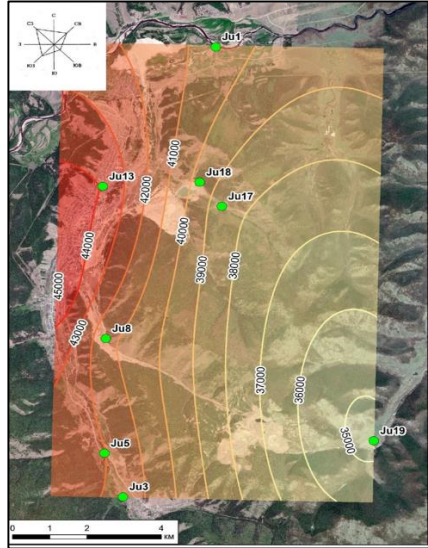


Рисунок 9 – Распределение железа в природно-техногенной системе ДВМК

Повышенные концентрации железа (рисунок 9) сосредоточены в точках, расположенных в черте города Закаменск (Ю-13, Ю-6). Это связано с промышленными предприятиями, расположенными на этой территории, занятыми изготовлением шахтного оборудования. 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 17,6 мг/л. Тонкая взвесь гидроокислов железа в большом количестве обнаруживается на берегах р. Модонкуль и может ветром разноситься по долине.

Повышенные показатели концентраций марганца (рисунок 10) в потоках аэрозолей связаны с тем, что для вольфрамовых месторождений характерно присутствие этого элемента в виде родохрозита, который встречается в виде жил. В кислой среде хвостохранилищ происходит разложение этого минерала и марганец переходит в раствор. Наиболее высокие содержания марганца сосредоточены в местах складирования отходов 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. Эта аномалия также, как и аномалия железа, может быть связана с изливом рудничных вод из штольни «Западная». Максимальные концентрации цинка (рисунок 11) зафиксированы в месте складирования вскрышных пород в долине р. Мыргеншено, где, как указывалось ранее, происходит интенсивное разложение сульфидной минерализации. Высокие содержания цинка в твердом осадке снегового покрова установлены в долине р. Модонкуль и руч. Инкур, находящихся под воздействием рудной минерализации. В жилой зоне г. Закаменск высокое содержание цинка может быть обусловлено наличием промышленных объектов в жилом массиве, таких как центральная городская котельная; ООО «Литейщик».

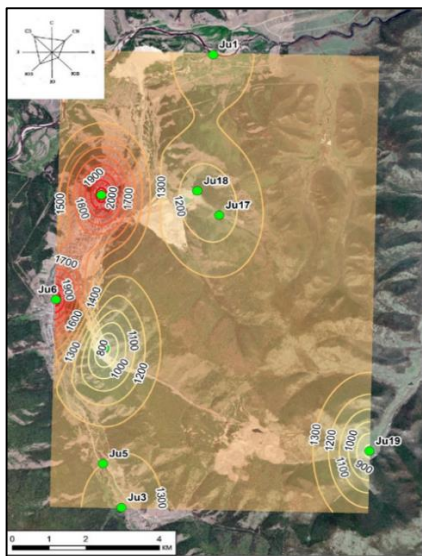


Рисунок 10 – Распределение марганца в природно-техногенной системе ДВМК

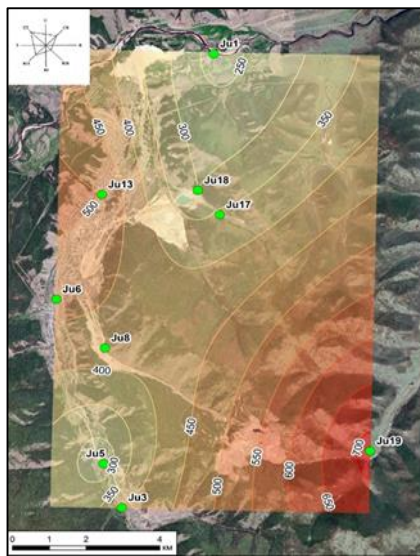


Рисунок 11 – Распределение цинка в природно-техногенной системы ДВМК

Самые высокие концентрации меди в твердом остатке снега установлены в районе верховья р. Мыргеншено. Здесь интенсивно окисляются сульфидные минералы, присутствующие во вскрышных породах. Высокие концентрации свинца сосредоточены в районе хвостохранилищ Барун-Нарын и Зун-Нарын.

Изучение гранулометрического состава пыли показало, что в ее составе присутствуют тонкодисперсные частицы. Наибольшее количество пыли с размером частиц от 0,1 до 10 мкм сконцентрировано в пробах Ю-17 (вблизи хвостохранилищ) и Ю-6 (юго-западная часть жилого сектора г. Закаменск). Учитывая постоянно протекающие процессы выветривания на исследуемой территории, можно предполагать, что крупнодисперсные частицы со

временем превратятся в мелко- и ультрадисперсные частицы. В настоящее время известно, что повышение концентрации частиц размером до 10 мкм на 0,02 мг/м<sup>3</sup> вызывает рост общей смертности на 1 %, смертности от сердечно-сосудистых заболеваний на 1,4 %, а от болезней органов дыхания – на 3,4 % (Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха..., 2005).

Изучение пылевого загрязнения в г. Закаменск и его прилегающих территориях показывает, что основными очагами пыления являются территории размещения техногенных отходов. Наиболее загрязненными местами снегового покрова пылью на изучаемой территории является долина р. Мыргеншено, долина р. Модонкуль, включая центральная часть г. Закаменск, и хвостохранилища Барун-Нарын и Зун-Нарын.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертационной работы доказано, что приземная атмосфера на обширной территории 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 вольфрамо-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 рН 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи, опубликованные в изданиях из перечня ВАК и/или входящие в международные базы данных Web of Science и Scopus

1. **Воронина Ю.С.** Содержание редкоземельных элементов в снежном покрове на территории Джидинского ГОКа / Ю.С. Воронина, А.М. Плюснин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : География. Геоэкология. – 2023. – № 2. – С. 122 – 132.
2. 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, № 12. – С.1295 – 1311. (Atmospheric Pollution from a Storage of Tungsten–Molybdenum Ore Mining and Processing Wastes / A.M. Plyusnin, **Yu.S. Voronina**, A.V. Ukraintsev et al. // Geochemistry International. – 2023. – Vol. 61, No. 12. – pp. 1293-1307. DOI: 10.1134/S0016702923110095).
3. 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.

### Статьи в сборниках и материалах научных конференций

1. **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.
2. 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.
3. **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.

4. **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

5. **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.

6. Плюснин А.М. Химический состав аэрозолей над хвостохранилищами ДВМК и ООО «Закаменск» / А.М. Плюснин, А.В. Украинцев, М.К. Чернявский, Е.Г. Перязева, **Ю.С. Воронина** // 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.

7. **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.

8. **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.

9. 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.

10. **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.

11. **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.

## ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

### ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

#### ВЫБОР РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

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

1.2 Аэрозольное загрязнение окружающей среды от отходов горнодобывающего производства

1.3 Загрязнение поверхностных и подземных вод в горнодобывающем производстве

1.4 Район исследования и его физико-географическая характеристика

1.5 Анализ состояния отходов добычи и переработки Джидинского вольфрамо-молибденового комбината

#### ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Методики анализа и обработки результатов

2.2 Методика исследования конденсационной влаги

2.3 Методика исследования снегового покрова

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

3.1 Химический состав конденсационной влаги

3.2 Химический состав снегового покрова

#### ГЛАВА 4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПЫЛЬЮ

4.1 Вещественный состав твердой фазы снегового покрова на территории города Закаменск

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ПРИЛОЖЕНИЕ А Химический состав проб конденсационных вод, отобранных на фоновой территории

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Химический состав проб свежеснеговывпавшего снегового покрова

ПРИЛОЖЕНИЕ В Химический состав проб снегового покрова г. Закаменск и его окрестностей.



**Воронина Юлия Сергеевна**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата географических наук

Подписано в печать 09.12.2024. Формат 60×84 1/16.  
Усл. печ. л. 1,39. Тираж 100 экз. Заказ № 162.

---

Издательство ВСГУТУ  
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, строение 1.  
Отпечатано в типографии ВСГУТУ  
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В, строение 9.