

На правах рукописи

Цыренов Тимур Гармажапович

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМЫ
«ГОРНЫЕ ПОРОДЫ/РУДЫ-ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ-ПОЧВЫ»
(НА ПРИМЕРЕ ТЕХНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ
АКАТУЕВСКОГО И БЛАГОДАТСКОГО
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

Специальность 1.6.21 Геоэкология

(геолого-минералогические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2025

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук (ИПРЭК СО РАН), г. Чита

Научный руководитель:

Абрамов Баир Намжилович, доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук (ИПРЭК СО РАН), ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии и рудогенеза

Официальные оппоненты:

Фамилия Имя Отчество, ученая степень, ученое звание, основное место работы

Фамилия Имя Отчество, ученая степень, ученое звание, основное место работы:

Ведущая организация: xxx

Защита состоится xx xxx 2025 года в xxx часов на заседании диссертационного совета 24.1.053.01 при Федеральном государственном учреждении науки «Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук»

Адрес: 664033 г. Иркутск, ул. Фаворского, стр. 1А;
e-mail:

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН «Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН», адрес сайта: <http://www.igc.irk.ru/ru/zashchita>

Автореферат разослан « » 2025 г.
Ученый секретарь диссертационного совета

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Большая часть техногенных образований Восточного Забайкалья сформированы 30-50-е гг. прошлого века, и в настоящее время считаются законсервированными, однако после завершения отработки месторождений рекультивационные мероприятия не проводились.

Наличие хвостов обогащения бывших обогатительных фабрик играет оказывает негативное техногенное воздействие на окружающую среду. При этом, химический и минеральный состав природно-техногенных ландшафтов, а также возможные способы их перераспределения в районах исследования недостаточно изучены.

Целью исследования является системная эколого-геохимическая оценка распределения химических элементов во взаимосвязи элементов природной среды: горная порода/руды – хвостохранилища рудников – окрестности рудников.

Объектами исследований являются территории природно-техногенных комплексов (ПТК) горно-обогатительных комбинатов Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений.

Основные задачи исследования:

1. Анализ характера распределения химических элементов в материале хвостов обогащения, рудных тел и грунтов селитебных территорий природно-техногенных комплексов (ПТК) Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений.

2. Оценка потенциальной токсичности материала хвостов обогащения, рудных тел и грунтов селитебных территорий ПТК изучаемых объектов.

3. Изучение способов снижения неблагоприятного воздействия техногенной составляющей ПТК на окружающую среду.

4. Изучение потенциала повторного использования хвостов обогащения бывших рудников Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений.

Фактический материал и методика исследований.

В общей сложности на территории объектов исследования было отобрано 113 проб, из которых 33 относятся к свинцово-цинковым рудам, 45 – к техногрунтам и тяжёлым шлихам, 27 – к

почвам, 5 – к фоновым пробам, и 3 – к цеолитовым и аммонийным ловушкам, испытанных на территории ПТК Акатуевского рудника (рисунок 1).

Образцы свинцово-цинковых руд, а также рудовмещающих горных пород были получены в ходе полевых выездов 2019-2020 гг. Опробование образцов техногрунтов и тяжелого шлиха хвостов обогащения производилось в рамках государственного задания ИПРЭК СО РАН в 2014 году (в случае с Акатуевским рудником), а также лично автором во время полевого выезда в 2019 году. Отбор проб почв в обрамлении хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского рудников, селитебных почв близлежащих населенных пунктов (н.п. Новый Акатуй и н.п. Горный Зерентуй), а также фоновых образцов проводился в 2020 году во время полевых исследований в рамках государственного задания ИПРЭК СО РАН. Эксперименты цеолитовыми ловушками и аммонийными формами производились в 2019-2020 гг.

Основная часть определений элементного состава проводилась методами ICP-MS и ICP-AES в аналитической лаборатории ЗАО «SGS Vostok Limited» (г. Чита). Дополнительно определение элементного состава отобранных проб проводилось экспериментально рентгенофлуоресцентным (РФА) и ICP-AES методами (аналитики Казанцева Т.И., Цыренова А.А.) в аккредитованной лаборатории в Геологическом институте им. Добрецова ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).

Изучение состава минералов производилось в ГИН СО РАН на растровом электронном микроскопе (аналитик Бадмацыренова Р.А.) LEO-1430VP с энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy350 (Oxford Instruments). Дополнительно снимки эпоксидных форм тяжелых шлихов, а также их интерпретация были осуществлены в шлифовальной мастерской ООО «Востокгеология». Выявление валовой массы минералов в пробах хвостохранилищ и селитебных почв (в %) проводилось методом термографического анализа на приборе STA 449 F1 Jupiter фирмы NETZSCH (Германия) в ИПРЭК СО РАН (аналитик Филенко Р.А.).

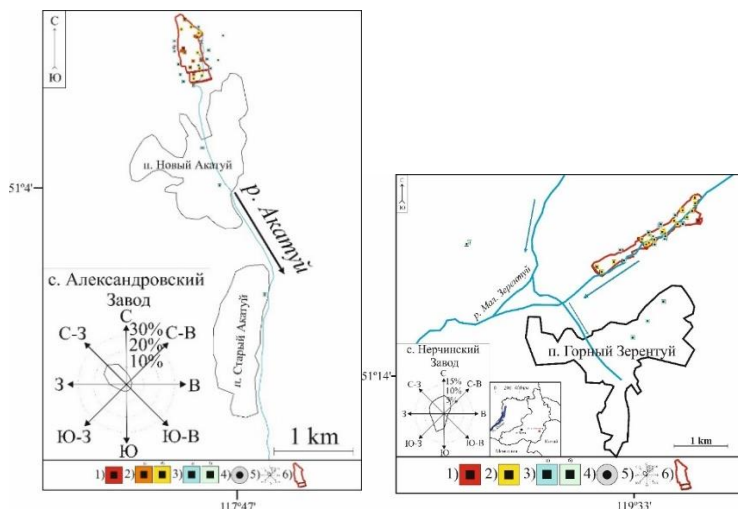


Рисунок 1 – Схема отбора проб. Цифрами: 1 – пробы свинцово-цинковых руд; 2: а) – пробы техногрунта, отобранные в 2014 году, б) – пробы техногрунта, отобранные в 2019 году; 3: а) – пробы почв в обрамлении хвостохранилищ и н.п., б) – фоновые пробы; 4 – аммонийные и цеолитовые ловушки; 5 – годовая роза ветров [Абрамов, Цыренов, 2022]; 6 – хвостохранилище.

Полученные в ходе замеров данные о химическом и минеральном составе образцов были проанализированы и подвержены сравнительному анализу с материалами территориальных геологических фондов (г. Чита) на предмет оценки распределения химических элементов на территории природно-техногенных комплексов. Часть фондовых данных были использованы для дополнения недостающих сведений о физико-химических характеристиках Акатуевского и Благодатского рудников. Также полученные данные сравнивались с ранее опубликованными в научной литературе наработками исследователей из ИПРЭК СО РАН, ЗабГУ, ГИН СО РАН, ИГХ СО РАН по объектам изучения (при анализе литературных данных). Аналогично с фондовыми данными, опубликованный материал частично использовался в текущей диссертационной работе для дополнения сведений о химическом составе некоторых элементов

ПТК рудников. Первичная статистическая обработка полученных в ходе замеров данных о химическом и минеральном (на основании данных СЭМ) проводилась в программном комплексе Excel. Графическое представление проанализированных данных для удобства представления осуществлялось с использованием программного комплекса CorelDraw.

Достоверность научных исследований обеспечена обобщением результатов 254 измерений элементного, минерального и гранулометрического состава, а также показателя кислотности pH в 113 пробах компонентов ПТК (свинцово-цинковые руды, вмещающие породы, селитебные почвы населенных пунктов, почвы обрамления хвостов обогащения, а также техногрунты хвостов обогащения). Измерения проводились в аккредитованных и аттестованных лабораториях, с высокими показателями точности результатов, а также с использованием общепринятых методик определения.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие при проведении опробования, пробоподготовки материала для аналитических исследований, подготовка материала для измерений на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) и рентгено-флуоресцентного анализа (РФА), а также при обобщении полученных результатов. Помимо этого, обобщена и проанализирована имеющаяся, по данной и схожим территориям, геолого-геохимическая, фондовая и опубликованная информация. Проведена оценка распределения химических элементов в системе «горная порода/руды – хвостохранилища рудников – почвы». Установлены особенности распределения химических элементов в природно-техногенных комплексах и подготовлены публикации по тематике исследования.

Научная новизна работы:

1. В ПТК Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений в ряду: руды → техногрунты хвостохранилищ → селитебные почвы отмечается уменьшение концентраций токсичных элементов от первого класса опасности (As, Pb, Zn, Cd) ко второму классу опасности (Cu, Sn, Mo, Sb).

2. Установлено, что почвы населенных пунктов,

прилегающих к Акатуевскому (н.п. Новый Акатуй $Z_c=44,51$) и Благодатскому (н.п. Горный Зерентуй ($Z_c=150,91$)) полиметаллических месторождений, по суммарному показателю соответствуют чрезвычайно опасным и чрезвычайно опасным. Отмечены следующие превышения ПДК в почвах: Верхний Акатуй As – в 310 раз (ПДК), Pb – в 13, Zn – в 58, Cd – 3,3, Cu – 13,5; Горный Зерентуй As – в 133 раз, Pb – 14, Zn – 31, Cu – 19.

Практическая значимость работы выражается в возможности использования данных эколого-геохимической оценки ПТК рудников для решения вопросов, связанных с изучением заболеваемости населения в районах горнодобывающей промышленности; впервые изучена геохимия элементов в пределах хвостохранилищ, заключающаяся в накопительном распределении продуктов окисления материала хвостов. Для решения проблемы загрязнения окружающей среды на примере отвалов обогащения рудников изучен аккумулирующий потенциал цеолитовых и аммонийных ловушек и других субстанций (литературный обзор).

Апробация результатов исследования и публикации. Апробация основных научных положений проводилась на научных конференциях и симпозиумах всероссийского и международного уровней: XXIV Международном симпозиуме имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященный 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, Томск: ТПУ, 2020, четвертой конференции международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». Москва: ИПКОН РАН, 2020, Международной научной конференции «Регионы нового освоения: современное состояние природных комплексов и их охрана», Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2021, VIII Всероссийском симпозиуме «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий», III Всероссийской конференции с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез», Чита: ИПРЭК СО РАН, 2022, VI Международной научной конференции «Геодинамика и минерагения Северной Евразии», Улан-Удэ: ГИН СО РАН, 2023, IV Всероссийской конференции с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез», Чита: ИПРЭК СО РАН, 2024, и

на заседаниях молодежной научной конференции «Молодежь и наука Забайкалья», Чита, 2019, 2021, 2022, 2023.

Полученные результаты также были использованы при написании научных статей в рецензируемых российских журналах, входящих в том числе в перечни Web of Science, Scopus и ядро РИНЦ, с выполнением заданий государственных программ. В общей сложности результаты работы представлены в 15 публикациях, в том числе в 5 научных статьях из списка ВАК.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованных источников литературы, содержащего 162 наименований, списка иллюстративного материала и приложений. Объем работы – 141 с., количество таблиц – 10, рисунков – 27, приложений – 1.

Во **введении** обоснована актуальность исследований, определены цели, задачи и методы исследований, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. В первой главе дан анализ воздействия природно-техногенных комплексов горно-обогатительных комбинатов сульфидных рудных месторождений на окружающую среду. Изучен отечественный и зарубежный опыт ученых в области исследования распределения химических элементов в природно-техногенных комплексах бывших и действующих рудников и их влияния на окружающую среду. Во второй главе приведен фактический материал и методы исследования объектов изучения. Приведен обзор геологических и физико-географических условий района объектов исследований, изучено текущее состояние техногенных объектов. В третьей главе рассмотрены особенности распределения химических элементов в системе: горные породы-руды-отвалы хвостохранилищ, приведены данные о минеральном и химическом составе материалов хвостов обогащения, почвогрунтов селитебных территорий Акатуевского и Благодатского рудников. В четвертой главе дана эколого-геохимическая оценка потенциальной опасности техногенных образований Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений. На выводах глав 3 и 4 обосновываются первое и второе защищаемые положения. В пятой главе дополнительно

проведен литературный обзор методов рекультивации техногенных образований, предложены рекомендации по снижению негативного воздействия материала отвалов обогащения на прилегающие населенные пункты. Изучена роль карбонатных пород, входящих в состав отвалов, в снижении антропогенного влияния на окружающую среду населенных пунктов, и частично опробованы некоторые методики снижения влияния. Также был изучен валовый минеральный состав отвалов рудников Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений, оценены перспективы повторного использования материала отвалов хвостов обогащения (в качестве техногенных месторождений). На выводах обосновываются третье и четвертое защищаемые положения.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность за поддержку и конструктивные советы научному руководителю д.г.-м.н. Абрамову Б. Н. Автор выражает признательность директору ИПРЭК СО РАН к.г.н. Михееву И.Е. за предоставленную материальную помощь, а также искренне благодарит д.г.-м.н. Юргенсона Г.А., д.т.н., проф. Секисова А.Г., д.г.-м.н., проф. Викентьева И.В., д.г.-м.н., проф. Трубачева А.И., д.т.н., проф. Овешникова Ю.М., д.г.-м.н., доц. Удачина В.Н. чл.-корр., д.г.-м.н., проф. Склярова Е.В. за оказанную консультативную помощь. Автор благодарен коллегам по Институту к.г.-м.н. Еремину О.В., н.с. Филенко Р.А., к.г.-м.н. Солодухиной М.А., к.г.-м.н. Эповой Е.С., Русаль О.С., д.г.-м.н. Сеница С.М., Василенко Е.А., Тяпкиной А.Г. за всестороннюю помощь в процессе написания работы.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение.

В системе «свинцово-цинковые руды / горные породы – техногрунты хвостохранилищ – селитебные почвы» бывших рудников Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья установлен следующий ряд распределения концентраций халькофильных элементов: $Zn > (As-Pb) > Cu > Co > Sb > (Sn-Cd)$.

Анализ химического состава проб выявил закономерное уменьшение концентраций токсичных элементов от I класса опасности - As, Pb, Zn, Cd ко второму классу опасности Cu, Sn, Mo, Sb в ряду: свинцово-цинковые руды – техногрунты хвостохранилищ – селитебные почвы [ГОСТ Р 70281-2022; СанПиН 1.2.3685-21; Crommentuijn et al, 1997]. Так, например, в пробах хвостов обогащения рудников Акатуевского полиметаллического месторождения концентрации As составляют – 8757 г/т, Благодатского полиметаллического месторождения – 8015 г/т, Pb – 3328 г/т и 7124 г/т, Zn – 9312 г/т и 15924 г/т, Cd – 48 г/т и 77 г/т; в пробах почвогрунтов в обрамлении составляют: As – 798 г/т и 150 г/т, Pb – 879 г/т и 321 г/т, Zn – 1288 г/т и 470 г/т, Cd – 7,2 г/т и 1,2 г/т. В прилегающих н.п. средние значения элементов первого класса опасности следующие: As – 680 г/т и 260 г/т, Pb – 411 г/т и 459 г/т, Zn – 759 г/т и 713 г/т и Cd – 4,1 г/т и 3,2 г/т (рисунок 1).

Высокими содержаниями в пробах хвостов обогащения также отличаются Cu: техногрунт Акатуевского рудника 256 г/т (0,74 % относительно рудной концентрации), Благодатского рудника – 176 г/т (8,2 %); Cr – 35 г/т (54,21%) и 51,8 г/т (28,1%); Co – 7,7 г/т (2,27%) и 6,9 г/т (49,9 %). Содержания в пробах почвогрунтов следующие: Cu – 68,3 г/т и 40,1 г/т, Cr – 117 г/т и 230 г/т, Co – 11,8 г/т и 16,4 г/т.

Можно отметить закономерное кратное (до 3-4 раз) снижение концентраций ряда элементов халько- (As, Pb, Zn, Cd, Cu, Sb, Sn, In) и сидерофильных групп (Fe, Ni, Mo) с одновременным повышением ряда литофильных (Al, Ba, Ca, K и др.), а также редкоземельных химических элементов в вышеобозначенной системе сред в природно-техногенных комплексах рудников. Больше всего данная картина характерна между средами «свинцово-цинковые руды» и «техногрунты хвостохранилищ».

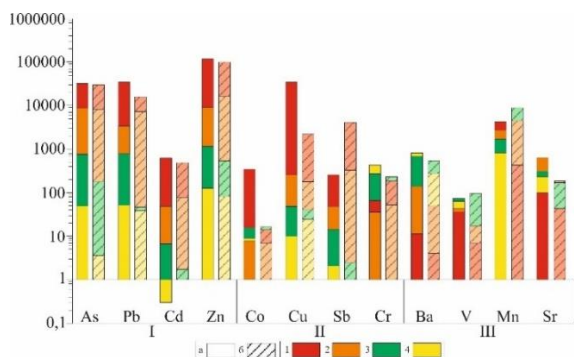


Рисунок 1 – Распределение химических элементов I, II, III классов опасности в пробах ПТК бывших рудников. Рудники: а – Акатуевский, б – Благодатский; пробы: 1 – свинцово-цинковых руд, 2 – техногрунта, 3 – почвогрунтов, 4 – фоновые.

Чтобы оценить потенциальную экологическую опасность элементов системы «горная порода/руда – хвостохранилище – почвы» были применены как отечественные, так и зарубежные методики расчета коэффициентов потенциальной экологической опасности. Методики расчета коэффициентов подбирались исходя из оцениваемых сред (хвостохранилища рудников, почвы в обрамлении хвостов обогащения, селитебные почвы населенных пунктов). Оценивание проводилось по объектам в целом (на основании совокупности химических элементов), а также по отдельным химическим элементам I, II и III классов опасности. Элементы для расчётов индексов подбирались на основании наличия данных по фоновым образцам, а также исходя из рудной специфики Акатуевского и Благодатского месторождений. Дополнительно производилось оценивание потенциала подвижности химических элементов в среде «хвостохранилище-водные потоки» с использованием опубликованных данных [Чечель, Замана, 2019]. В общей сложности было применено 5 методик оценивания эколого-геохимического состояния элементов вышеобозначенной системы.

Расчет коэффициентов ГЭр показал, что для хвостов обогащения Акатуевского рудника значение ГЭр составило 6830, для

Благодатского рудника – 30289. В пояснении к методике расчета полученные значения ГЭр входят в диапазон стандартных значений для полиметаллических месторождений. Согласно полученным индексам геоаккумуляции I_{geo} выявлено, что наибольшее влияние на изменение химического состава оказывает As в хвостохранилищах обоих рудников, а также Cd и Zn в случае Акатуевского рудника, и Sb и Zn – Благодатского рудника.

В свою очередь, расчет значений суммарного индекса загрязнения почв Z_c позволяет предположить, что минеральный материал хвостов обогащения Благодатского рудника (95,53 для почв обрамления и 150,91 для селитебных почв) оказывает большее влияние на химический состав почв прилегающих территорий, по сравнению с техногрунтами хвостохранилища Акатуевского рудника (88,71 и 51,64 соответственно). Сравнение с коэффициентом PLI показало различия в картине загрязнения почв ПТК рудников. В пробах почв в районе Акатуевского рудника загрязнение уменьшается по мере удаления от хвостохранилища, в то время как загрязнение проб почв ПТК Благодатского рудника, напротив, усиливается ближе к н.п. Горный Зерентуй. При этом выявлено, что согласно индексам загрязнения PI наибольшее влияние на почвы рудников среди всех рассмотренных элементов оказывает As, за исключением почв обрамления хвостохранилища Акатуевского рудника. Здесь наибольшие значения отмечены для Cd.

Второе защищаемое положение.

Оценка подвижности тяжелых металлов и металлоидов I, II и III классов опасности в водной (подотвальные воды) и в преобразованных почвенных средах рудников показывает, что воздействие процессов окисления сульфидов в хвостах обогащения приводит к значительному изменению химического состава почв населенных пунктов, с увеличением содержаний ряда халькофильных химических элементов в десятки раз.

По данным Л.П. Чечель и Л.В. Заманы (2019) и наших расчетов ряды распределения концентраций компонентов ПТК

относительно среднего состава вод выщелачивания в техногенных водах имеют следующий вид: As> Zn> Mn> Fe> Sr> Cd> U> Pb> Sb> Mo> Cs> Se> Co – подотвальные воды Акатуевского рудника, As> Pb> Sb> Zn> Cd> Mn> Mo> Al> La> Sr> Cu> U – подотвальные воды Благодатского рудника. Особенно отмечается насыщения рядом тяжелых металлов и металлоидов – Zn, Pb, Fe, As.

Данные распределения химических элементов в пробах хвостов обогащения и почв несколько отличаются от распределения техногенных вод. Ряды распределения химических элементов I, II, III классов опасности в пробах хвостов обогащения в порядке убывания выглядят следующим образом: Zn> As> Pb> Mn> Sr> Cu> Ba> Cd> Sb> V> W> Cr> Ni> Co> Sn> Mo> Tl – хвостохранилище Акатуевского месторождения; Zn> As> Pb> Mn> Sb> Cu> Sr> Sn> Cd> W> Cr> Ba> V> Ni> Co> Tl> Mo – хвостохранилище Благодатского месторождения.

Относительно среднего элементного состава проб почв ряды распределения следующие: Zn> Mn> As> Pb> Ba> Sr> Cr> V> Cu> W> Ni> Sb> Co> Cd> Sn> Mo> Tl – Акатуевский ГОК; Mn> Ba> Zn> Cr> As> Sr> V> Pb> Cu> Ni> Co> W> Sn> Sb> Cd> Tl> Mo – Благодатский ГОК.

В процессе исследований установлен следующий средний элементный состав почв (от большего к меньшему значениям): Zn> Mn> As> Pb> Ba> Sr> Cr> V> Cu> W> Ni> Sb> Co> Cd> Sn> Mo> Tl – Акатуевский ГОК; Mn> Ba> Zn> Cr> As> Sr> V> Pb> Cu> Ni> Co> W> Sn> Sb> Cd> Tl> Mo – Благодатский ГОК.

Оценка способности химических элементов к подвижности в цепи «вода-хвостохранилище» рудников при переходе из минерального материала хвостов обогащения в дренажные стоки изучалась при помощи методики расчета коэффициентов подвижности МС. По аналогии с исследованием [Yurkevich et al, 2023] было выделено 4 группы химических элементов для цепи «подотвальные воды – хвосты обогащения» Акатуевского рудника, и 3 группы – для Благодатского рудника (рисунок 4). Для выполнения расчетов были использованы данные по подотвальным водам из исследования [Чечель, Замана, 2019].

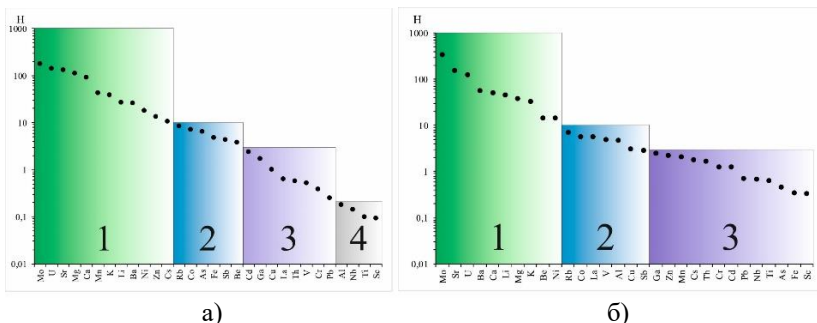


Рисунок 4 – Распределение химических элементов согласно коэффициенту подвижности в цепи «техногрунт-вода» бывших Акатуевского ГОК (а) и Благодатского ГОК (б). 1 – х.э. с очень высокой подвижностью, 2 – х.э. с высокой подвижностью, 3 – х.э. со средней (со средней-низкой для (б)) подвижностью, 4 – х.э. с низкой подвижностью.

Коэффициенты подвижности МС для цепи Акатуевского рудника показывают, что химические элементы группы с очень высокой подвижностью (МС=11-178) представляют собой: (1) основные пороодо- и минералообразующие компоненты, выщелачивающихся подотвальными водами из карбонатных минералов хвостов обогащения Акатуевского рудника (Mg, Ca, K, Sr и др.), а также (2) металлы, поступающие в водную среду в результате окисления сульфидных минералов – Zn, Mn, Mo. Элементы групп с высокой подвижностью (МС=3,9-8,7), со средней подвижностью (МС=0,3-2,5) представляют собой продукты растворения и десорбции примесей и основных компонентов в рудных минералах (Co, Cu, Cd, As, Fe и др.), а также компонентов пороодообразующих минералов (Cr, La, Th, V и др.). В последнюю группу х.э. с низкой подвижностью (МС=0,1-0,2) входят Al, Nb, Ti, Sc.

В цепи «подотвальные воды – хвосты обогащения» Благодатского рудника, подавляющее большинство химических элементов из групп с очень высокой (МС=14-341) и высокой (МС=2,8-6,9) подвижностью системы унаследованы подотвальными водами Благодатского рудника путем выщелачивания и адсорбции из карбонатных минералов (аналогично системе Акатуевского рудника). Исключением являются Mo, Co, Cu и Sb, относящиеся к

примесным и основным компонентам рудных минералов хвостов обогащения.

Следует отметить, что в системе бывшего Благодатского рудника максимальные и минимальные значения коэффициента МС выше в 2 и в 3 раза. Кроме того, отмечаются различия в распределении химических элементов по группам. Среди высокоподвижных х.э. отсутствуют компоненты основных рудных минералов, характерных для хвостов обогащения рудника – Pb, Zn, As, Fe. Согласно коэффициенту подвижности МС данные элементы относятся к группе со средней-низкой подвижностью ($МС=0,3-2,5$). Процесс их растворения и адсорбции подоотвальными водами Благодатского рудника затруднен ввиду высокого нейтрализующего потенциала карбонатных минералов, входящих в состав вмещающих пород месторождения. Этим обусловлены относительно низкие содержания данных тяжелых металлов в подоотвальных водах рудника [Чечель, Замана, 2019].

Подобную градацию можно объяснить минеральным составом отходов флотации, полученных при переработке и обогащении изначальных свинцово-цинковых руд. Это подтверждается данными микрозондовых исследований аншлифов эпоксидных препаратов тяжелой фракции отходов обогащения (рисунок 5). В совокупности с другими рассчитанными коэффициентами экологической опасности, а также данными о химическом составе проб техногрунтов, почв, а также водных потоков можно сделать вывод о высокой потенциальной опасности минерального материала хвостов обогащения Акатуевского и Благодатского рудников.

Основным источником антропогенного загрязнения окружающей среды являются хвосты обогащения Акатуевского и Благодатского рудников. Наибольшие превышения ПДКп [СанПиН 1.2.3685–21] отмечены у As (в 567 и 89,1 раз выше ПДКп). В пробах почв в обрамлении хвостов обогащения Акатуевского рудника превышения выявлены для Pb (в 35,4 раза), Zn (в 33,5 раза) и Cd (в 22,1 раза). В пробах Благодатского рудника – Zn (в 9,6 раз), Mn (в 5,8 раз), Cd (в 3,5 раза). Превышение ПДКп в пробах почв в обрамлении хвостов обогащения Акатуевского рудника в большинстве элементов

на порядок выше, чем в аналогичных пробах Благодатского рудника.

Примечательно, что градация коэффициентов подвижности по основным рудным элементам хвостов обогащения месторождений частично различается. Для бывшего Акатуевского рудника (по уменьшению коэффициента) ряд следующий – $Zn > As > Fe > Cu > Pb$, в то время как для бывшего Благодатского рудника – $Cu > Zn > Pb > As > Fe$.

Для изучения составов рудных минералов из хвостов хвостохранилищ в результате промывки лотком был выделен тяжелый шлик. Анализ снимков аншлифов техногрунтов Акатуевского рудника показывает следующий минеральный состав (по убыванию по встречаемости): пирит, галенит, арсенопирит, сфалерит, платнерит, пирротин, кальцит, КПШ. В то время как технологические пески рудника Благодатского месторождения имеют следующий состав: пирит, буланжерит, арсенопирит, иорданит, сфалерит, доломит, галенит, церуссит, платнерит, кварц, а также окислы рудных металлов.

В качестве элементов-примесей в рудных минералах, входящих в состав тяжелого шлика отвалов бывшего Акатуевского ГОК, встречаются: в пирите – As и Co, в арсенопирите – Co, в сфалерите и в галените – Fe. Для отвалов бывшего Благодатского ГОК отмечены следующие элементы-примеси: в пирите – As, в сфалерите – Fe и Cd, причем в галените эти элементы отсутствуют.

Во второстепенных рудных минералах также отмечаются элементы-примеси. В шлике хвостохранилища Акатуевского рудника в вюрците обнаружена примесь Fe, а в тетраэдрите – значительная примесь серебра (около 20% от общего веса в измерениях). Среди второстепенных рудных минералов бывшего Благодатского ГОКа обнаружены следующие элементы-примеси: иорданит – незначительная примесь Fe, церуссит – незначительная примесь Fe (0,55 вес. %), платнерит – незначительная примесь Fe (0,67 вес. %), буланжерит – незначительные примеси Fe и As (2,65 вес. % и 0,85 вес. % соответственно).

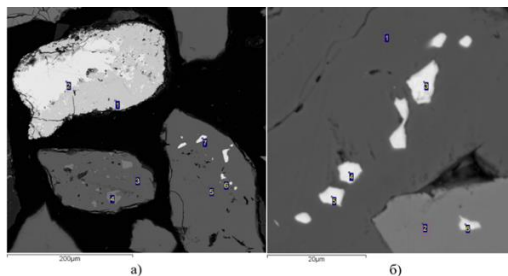


Рисунок 5 – Основные рудообразующие минералы тяжелой фракции в хвостохранилищах а) Акатуевского месторождения: 1 – Платтнерит (PbO_2), 2 – Галенит (PbS), 3, 5 – Пирит (FeS_2), 4 – Арсенопирит (FeAsS), 6 – Пирротин ($\text{Fe}_{\text{n}}\text{S}_{\text{n}+1}$), 7 – Галенит (PbS); б) Благодатского месторождения: 1 – Пирит (FeS_2), 2 – Арсенопирит (FeAsS), 3-6 – Буланжерит ($\text{Pb}_2\text{Sb}_4\text{S}_{11}$). Данные аналитических лабораторий ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ.

Сравнение данных, полученных в процессе термического анализа, а также при изучении химического состава образцов техногрунта хвостов обогащения и почв в обрамлении хвостохранилищ и в окрестностях с ранее опубликованными (Замана, Чечель, 2019), косвенно доказывает постепенное разложение минерального материала хвостов обогащения через временные и постоянные водотоки, постепенно изменяя химический состав почв населенных пунктов, вместе с рядом породообразующих элементов.

Третье защищаемое положение.

Наличие карбонатов в минеральном составе отвалов хвостохранилищ бывших рудников Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений способно оказывать снижающее (до 2 раз) негативное воздействие токсичных элементов на окружающую среду.

Воды, дренирующие хвостохранилища, несмотря на преимущественно сульфидный состав руд, характеризуются нейтральными и слабощелочными значениями pH, что обусловлено высоким нейтрализующим потенциалом вмещающих карбонатных пород и минералов, присутствующих в рудах.

Проведенные замеры pH в пробах техногрунта

хвостохранилищ и почвогрунтов Акатуевского и Благодатского рудников показывают, что в пробах техногрунта хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского рудников среднее значение составляет 7,45, что характеризуется как нейтрально-слабощелочная среда. Пробы почвогрунтов Акатуевского и Благодатского рудников характеризуются от слабокислотной до нейтральной средами (6,54 и 6,62 соответственно).

Средний показатель pH подотвалных вод Акатуевского рудника составляет 7,42, Благодатского – pH составляет 8,08, что соответствует нейтрально-слабощелочной среде (Чечель, Замана, 2019).

Снижение кислотности в водной среде хвостохранилищ свидетельствует о значительной нейтрализующей роли карбонатных пород в уменьшении негативного воздействия таких химических элементов I, II, III классов опасности как As, Zn, Cd, Co и Ba и др.

Для определения приблизительного минерального состава карбонатной и сульфатной составляющих, в образцах техногрунтов хвостохранилищ, почв обрамления хвостов обогащения, а также селитебных почв населенных пунктов в ИПРЭК СО РАН (аналитик Филенко Р.А.) были проведены термографические исследования методами термогравиметрии, деривативной термогравиметрии (ДТГ), а также дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Последующая интерпретация полученных графиков производилась преимущественно на основании данных ТГ и ДТГ методов.

По данным термического анализа, пески хвостохранилищ в общей массе состоят преимущественно из нерудных минералов (полевой шпат, кварц, карбонаты). По данным термического анализа количество карбонатов в техногрунтах Акатуевского и Благодатского хвостохранилищ варьирует от 30 до 45 %. Содержание сульфидов варьирует от 5 до 10 %, но именно они являются основными концентраторами токсичных металлов. Также установлено наличие новообразованных сульфатов, в частности гипса (рисунок 5, 6). На основании полученных данных можно предположить наличие в образцах техногрунтов значительной доли кальцитово-англезитовых разновидностей карбонатов для проб

Акатуевского рудника, и преимущественно доломитовых разновидностей – для проб Благодатского рудника.

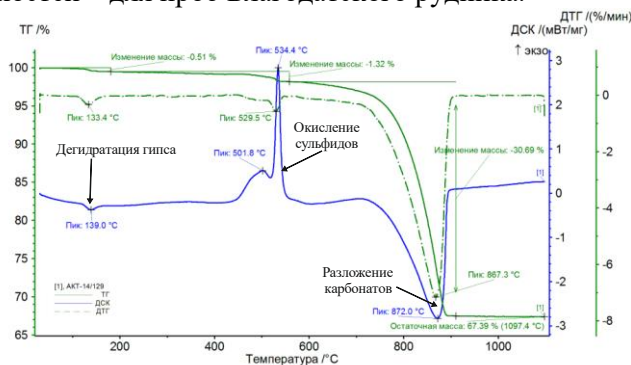


Рисунок 5 – Термограмма пробы техногрунта АКТ-14/129 из хвостохранилища Акатуевского рудника. Отобрана в 2014 г. [Филенко, Юргенсон, 2017]

Полученные в результате сведения о предположительном минеральном составе почв в обрамлении хвостов обогащения в целом коррелируют с данными химического состава образцов, в особенности с измеренными в рамках текущего исследования содержаниями литофильных элементов. В совокупности с рассчитанными коэффициентами подвижности МС можно сделать вывод о том, что ионы тяжелых металлов, выделяющиеся в процессе окисления из непереработанных свинцово-цинковых руд, в конечном итоге оседают в близлежащих почвах, загрязняя её. Таким образом, именно постепенное растворение временными и постоянными водотоками минеральных частиц руд и техногрунтов, а не их механический перенос является основным способом переноса по элементам системы «горная породы/руды – хвостохранилище – почвы».

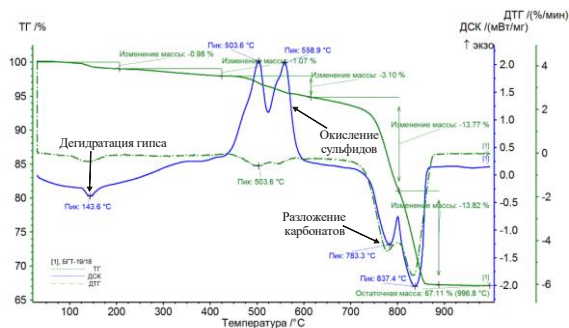


Рисунок 6 – Термограмма пробы техногрунта БГД-19/18 из хвостохранилища Благодатского рудника. Отобрана в 2019 г.

Для определения способности химических элементов I, II, III классов опасности к ионному обмену в период 2019–2020 гг. на территории Акатуевского и Благодатского рудников закладывались цеолитовые и аммонийные ловушки. Цеолитовые ловушки закладывались в предполагаемых направлениях временных водотоков хвостов обогащения Акатуевского и Благодатского рудника в 2019 году на глубину до 0,5 м (рисунок 1). Дополнительно в ходе полевого выезда 2020 года в русло ручья штольни Акатуевского рудника экспериментально закладывались цеолитовая и аммонийная ловушки для сравнения потенциала накопления в них тяжелых металлов, выделяющиеся из окисленных минералов полиметаллических руд Акатуевского месторождения. Удачно извлеченные ловушки (ПТК Акатуевского рудника) были подвержены анализу на химический состав. В качестве эталона (незагрязненного образца) был выбран необработанный (диаметр зерен 2-3 мм), а также промытый (диаметр зерен менее 0,315 мм) цеолитовый материал пород Шивыртуйского месторождения [Эпова и др., 2015].

Эксперименты с цеолитовыми и аммонийными ловушками показали ограниченную эффективность данного подхода. В результате изучения химического состава цеолитовых ловушек выявлено, что наибольшие значения наблюдаются по As, Zn, Cd, Co

и Ва. Концентрация As в цеолитовой ловушке, выдержанной в хвостохранилище Акатуевского рудника, составляет 100 г/т (в 10 раз выше, чем концентрация в Шивертуинском цеолите), Zn – 330 г/т (в 3 раза выше), Cd – 0,8 г/т (в 4 раза выше), Co – 1,9 г/т (в 2 раза выше), Ba – 2180 г/т (содержание в Шивертуинском цеолите – 1900 г/т).

Несколько ниже концентрации в аммонийных формах цеолита: As – 20 г/т (в 2 раза выше, чем в аммонийных формах Шивертуинского месторождения, Zn – 203 г/т (в 7 раз выше), Cd – 0,4 г/т (ниже концентраций в чистом аммонийной форме), Co – 1,4 г/т (в 1,8 раза выше), Ba – 1150 г/т (в 3 раза выше). Результаты эксперимента могут свидетельствовать о способности карбонатных пород к поглощению катионов ряда химических элементов 1, 2 и 3 классов опасности, сокращая площадь их негативного воздействия на окружающую среду.

Таким образом, выявлена прямая закономерность между значениями pH и содержаниями сульфидных, сульфатных и карбонатных составляющих в системе «горные породы/руды-хвостохранилище-почвы». Преобладание карбонатов в минеральном составе техногрунтов хвостохранилищ, а также образцов почв Акатуевского и Благодатского ГОК обусловлено окислением изначальных сульфидных минералов водными потоками. Слабокислые до нейтральных значения pH в пробах почв в обрамлении хвостов обогащения свидетельствуют о значительной роли водных потоков в переносе минерального материала хвостохранилищ в форме растворенных ионов тяжелых металлов. Закрепление их в почвах обрамления в виде карбонатных минералов, а впоследствии и ограниченное распространение в виде окислов и сульфатов в селитебных почвах свидетельствует о снижении загрязняющего потенциала тяжелых металлов рудников.

Четвёртое защищаемое положение

Средние содержания благородных металлов в техногрунтах хвостохранилищ Акатуевского месторождения составляют: Au – 0,4 г/т, Ag – 10 г/т; Благодатского месторождения – Au – 1,1 г/т, Ag – 22,5 г/т, что позволяют рассматривать их как техногенные месторождения.

Под **техногенными месторождениями (ТМ)** понимаются техногенные образования, по количеству и качеству содержащегося в них минерального вещества, пригодные для эффективного использования в сфере материального производства в настоящее время или в будущем (по мере развития науки и техники) [Архипов, Решетняк, 2017].

За время активной деятельности бывшими Акатуевским ГОКом и Благодатским ГОКом было добыто и переработано руды на 2,63 млн. т и 3,05 млн. т, выпущено в концентратах 83 тыс. т и 100 тыс. т свинца, а также 130 тыс. т и 178 тыс. т. цинка соответственно. Полезный компонент извлекался флотационным методом. При этом, в материале хвостохранилищ, накопленном за примерно полувековой (1950–1990) период существования рудников сконцентрированы значительные для техногенного объекта содержания химических элементов I, II и III классов токсичности, некоторые из которых, как показывает опыт, пригодны для повторного промышленного извлечения.

Первые попытки изучения применимости отвалов хвостов бывших и действующих в настоящее время рудников Восточного Забайкалья в качестве техногенного сырья предпринимались уже в конце 1990-х гг [Харитонов и др., 1997]. В частности, были произведены предварительные расчеты объемов хвостов и запасов полезных компонентов (таблица 1). Так, объем техногенного материала хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского рудников в виде хвостов обогащения составляет 500 тыс. м³ (1374 тыс. т), и 747 тыс. м³ (2017,4 тыс.т) соответственно. Площадь, занимаемая хвостохранилищем Акатуевского ГОК, составляет 15 га, Благодатского ГОК – 37 га [Харитонов и др., 1998, Юргенсон и др., 1999]. Средние содержания полезных компонентов следующие (в % и в г/т) – отвалы хвостохранилищ Акатуевского рудника: Pb – 0,279%; Zn – 0,625%; Cd – 0,0054%; Ag – 19,2 г/т; Au – 0,325 г/т, отвалы Благодатского рудника: Pb – 0,595%; Zn – 1,188%; Cd – 0,0086%; Ag – 18,63 г/т; Au – 0,235 г/т.

Таблица 1 – Сравнение рассчитанных запасов по Pb, Zn, Cd, Au и Ag на 1997 г по [Харитонов и др., 1997] с данными, полученными в 2019 г (в тоннах)

Объект	Pb	Zn	Cd	Au	Ag
Акатуевский ГОК (Харитонов и др., 1997)	3704	8348	1,8	0,44	25,5
Благодатский ГОК (Харитонов и др., 1997)	12000	23000	173	0,47	37,5
Акатуевский ГОК, 2019 год	4828	11400	71,6	0,56	13,8
Благодатский ГОК, 2019 год	14400	31800	154	2,3	45,4

Примечание: на 2019 г. Объемы As: Акатуевский ГОК – 13,7 тыс.т, Благодатский ГОК – 17,8 тыс. т.

Для определения потенциала использования минерального материала хвостов обогащения бывших рудников дополнительно был проведен анализ гранулометрического состава отобранных проб хвостов, а также вымытого тяжелого шлиха. Исследование показало, что преобладающий размер рудного минерального материала составляют зерна размером 0,094-0,4 мм и менее, встречаются редкие зерна до 1 мм (порядка 60% от общей массы навесок). Основные встречающиеся рудные минералы: пирит, галенит, арсенопирит, буланжерит и пирротин. Примечателен разброс в диапазоне между максимальными и минимальными массами размеров зерен. В материале хвостов обогащения Акатуевского рудника зерна размерностью 0,094-0,2 мм могут составлять от 9 до 35 %, менее 0,094 мм – от 18 до 52%. В материале проб Благодатского рудника – 4,6-40% и 8-69% от массы навесок соответственно (рисунок 7).

Вымытые тяжелые шлихи хвостов обогащения показывают несколько иную картину: частицы размерностью менее 0,094 мм пробы Акатуевского ГОК составляют 4% от навески, Благодатского ГОК – 14%, размерностью 0,094-0,4 – до 80% и до 78%.

Оставшиеся в хвостах обогащения бывших рудников минералы главным образом относятся к мелким и ультрадисперсным

фракциям, что затрудняет их переработку. Вероятно, подобный разброс масс, и в целом преобладание более мелких зерен обусловлен как качеством отработки добываемого материала месторождений, так и непосредственно с характеристиками минерального состава хвостов обогащения.

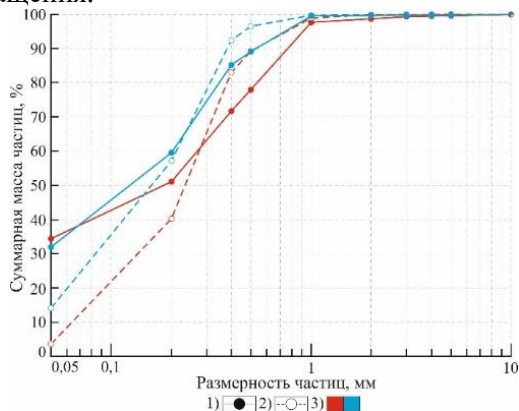


Рисунок 7 – средний гранулометрический состав проб хвостов обогащения и вымытого тяжелого шлиха бывших Акатуевского ГОК и Благодатского ГОК. 1) – Техногрунт; 2) – Тяжелый шлик; 3) Красным цветом обозначены пробы Акатуевского ГОКа, Синим – Благодатского ГОКа.

Отобранные в 2019-2020 гг. пробы техногрунта показывают схожие содержания. Отмечается наличие содержаний Au в отвалах хвостохранилищ на уровне 0,2-0,8 г/т для проб Акатуевского рудника и 0,5-1,6 г/т для отвалов Благодатского рудника. Среднее содержание Ag (на момент 2019-2020 гг.) составляет 10,02 г/т для Акатуевского, и 21,5 г/т для Благодатского соответственно. Примечательно, что вымытые на деревянном лотке образцы тяжелого шлиха показали более высокие содержания по Au и Ag – 2,3 и 1,8 г/т и 19,7 и 23 г/т соответственно.

Изучение химического состава тяжелого шлиха хвостов обогащения рудников показало, что промывание минерального материала хвостов обогащения лотком привело к увеличению (относительно не промытого материала) концентрации Au в 2-4 раза,

а также к незначительному повышению концентраций Ag, Pb и Zn и других основных рудных элементов месторождений относительно средних значений хвостов обогащения. Примечательно, что данные микрозондового анализа аншлифов тяжелой фракции показывают наличие серебра в качестве попутного компонента в тетраэдрите Акатуевского рудника, в то время как золото не было зафиксировано на приборах, что вероятно связано с ограничениями использованной методики изучения, так и вероятным нахождением золота в так называемой «невидимой», тонкодисперсной форме (вероятно в арсенипиритах), что может значительно затруднить процесс его извлечения. Для решения проблемы извлечения на производстве в настоящее время достаточно успешно применяются биологические, химические, а также комбинированные методики, например кучное биовыщелачивание [Верхозина и др., 2019].

Наряду с содержаниями Pb и Zn на уровне 10^3 - 10^4 г/т, высокие для отработанных объектов содержания по Au и Ag позволяют рассматривать хвосты обогащения Акатуевского и Благодатского рудников, а также аналогичные объекты Восточного Забайкалья в качестве потенциальных техногенных месторождений при нахождении оптимального способа извлечения данных элементов.

Заключение

В работе решены важные и актуальные научно-практические задачи по выявлению закономерностей распределения элементов в системе «горные породы – руды – хвостохранилище» и их влияние на эколого-геохимическую оценку окружающей среды. В результате исследований установлено снижение концентрации халькофильных химических элементов от I класса токсичности ко II классу в системе «горные породы» - «руды» - «хвостохранилища». Наряду со снижением концентрации халькофильных элементов установлено устойчивое накопление ряда литофильных и редкоземельных химических элементов, что обусловлено геологической обстановкой районов исследования.

Проведенная эколого-геохимическая оценка природно-техногенных комплексов Акатуевского и Благодатского ГОК показала высокую экологическую опасность хвостов обогащения рудников для окружающей среды, что характерно для

полиметаллических месторождений других регионов. Описаны основные источники распределения химических элементов I, II и III классов опасности в составляющих природно-техногенных комплексов рудников.

Обосновано снижающее воздействие карбонатной составляющей материала хвостов обогащения на окислительно-восстановительную обстановку территории природно-техногенных комплексов Акатуевского и Благодатского ГОК. Нейтрально-щелочная среда в минеральной составляющей проб технологических грунтов хвостохранилищ, а также проб почвогрунтов селитебных территорий косвенно частично снижает способность химических элементов I, II и III классов опасности накапливаться в почвах населенных пунктов.

В опытах с цеолитовыми и аммонийными ловушками, выдержанными во временных и постоянных водотоках Акатуевского рудника было выявлено, что, карбонатные породы ограничено способны поглощать катионы ряда химических элементов I, II и III классов опасности, сокращая площадь их антропогенного воздействия на окружающую среду.

Повышенные содержания Pb, Zn (основных рудных) и Au, Ag (как попутных) в материале отвалов обогащения бывших рудников Акатуевского и Благодатского месторождений представляют потенциальный интерес их использования в качестве техногенных месторождений

Список публикаций по теме диссертационной работы

I Статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК

1. Абрамов Б.Н., **Цыренов Т.Г.** Оценка экологической опасности на окружающую среду хвостохранилищ некоторых сульфидных месторождений Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2019. №5. с. 35-41.
2. Абрамов Б.Н., Еремин О.В., Филенко Р.А., **Цыренов Т.Г.** Оценка потенциальной экологической опасности природно-техногенных комплексов рудных месторождений (Восточное Забайкалье, Россия) // Геосферные исследования. 2020. – № 2. – С. 64–75.

3. Абрамов Б.Н., **Цыренов Т.Г.** Распределение рудных и редких элементов в природно-техногенных комплексах Акатуевского полиметаллического месторождения // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. – Т. 26. – № 2. – С. 6-13.
4. **Цыренов Т.Г.** Особенности распределения редкоземельных элементов в природно-техногенных комплексах некоторых полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2021. – Т. 27. - №1. – С. 15-23.
5. Абрамов Б.Н., **Цыренов Т.Г.** Закономерности распределения токсичных элементов в почвах населенных пунктов горнорудных территорий Восточного Забайкалья // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2022. – № 5. – С. 39-48.

II Статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень Scopus, Web Of Science:

1. Abramov B. N., **Tsyrenov T. G.** Toxic element distribution analysis in tailing technozems of the lead-zinc deposits in Eastern Transbaikalia // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. – Vol. 895 (1): 012001. DOI: 10.1088/1755-1315/895/1/012001. Scopus
2. **Tsyrenov, T. G.** Assessing potential hazard of technogenic formations of natural and man-made complexes of some sulphide deposits of the Eastern Zabaykalye // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2022. – Vol. 962 (1): 012060. DOI:10.1088/1755-1315/962/1/012060. Scopus
3. Абрамов Б.Н., **Цыренов Т.Г.**, Михеева Н.Ю., Филенко Р.А., Усманов М.Т. Эколого-геохимическая оценка почв селитебных территорий Восточного Забайкалья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Т. 335. № 9. С. 84-93.

III Материалы конференций и тезисы докладов

4. **Цыренов Т.Г.** Распределение токсичных элементов в техногенных ландшафтах Благодатского полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // труды XXIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2020.

– С. 645-646.

5. **Цыренов Т.Г.** Характеристика кислотности техногенных объектов рудных месторождений восточного Забайкалья // сборник трудов 4 конференции международной научной школы академика РАН К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». ИПКОН РАН. 2020. – С. 462-465.
6. **Абрамов Б.Н., Цыренов Т.Г.** Оценка влияния на окружающую среду техногенных образований свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья // материалы международной научной конференции «Регионы нового освоения: современное состояние природных комплексов и их охрана». ИВЭП ДВО РАН. 2021. – С. 220-222.
7. **Цыренов Т. Г.,** Филенко Р. А. Хвостохранилища бывших рудников Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья как перспективные техногенные месторождения и их геоэкологическая оценка // материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института им. Н. Л. Добрецова СО РАН «Геодинамика и минерагения Северной Евразии». Издательство Бурятского госуниверситета, 2023. – С. 576-578.
8. **Цыренов Т.Г.** Подвижность химических элементов в системе «хвосты обогащения – подотвальные воды» рудников Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья // Эволюция биосферы и техногенез. Материалы IV Всероссийской конференции, посвященной 300-летию РАН, 300-летию первой научной экспедиции под руководством Д.Г. Мессершмидта в Забайкалье. Чита, 2024. С. 73.

IV Прочие издания

9. **Цыренов Т.Г.,** Абрамов Б.Н. Распределение токсичных элементов в техногенных ландшафтах Акатуевского полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // Аспирант. Приложение к журналу Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. Т. 12. № 2. С. 90-95.