

0-793701

На правах рукописи



КОСТИНА АЛЕНА МИХАЙЛОВНА

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ГОРНОПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОГЕННОЙ СИСТЕМЫ
ОЛОВОСУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КОМСОМОЛЬСКОГО РАЙОНА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА
МЕТОДОМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 03.02.08 – Экология

**Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата химических наук**

Владивосток-2012

Работа выполнена в Дальневосточном федеральном университете и Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения Российской академии наук (г. Владивосток)

Научный руководитель Профессор ДВФУ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник ДВГИ ДВО РАН
Зверева Валентина Павловна

Официальные оппоненты: Доктор химических наук, профессор
(Институт химии ДВО РАН,
г. Владивосток)
Земнухова Людмила Алексеевна

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000665370

Кандидат химических наук
(Дальневосточный федеральный
университет, г. Владивосток)
Папынов Евгений Константинович

Ведущая организация Сибирский федеральный
университет
(г. Красноярск)

Защита диссертации состоится 2 марта 2012 г. в 14 часов на заседании Диссертационного совета Д 212.056.05 при Дальневосточном федеральном университете по адресу: 690950, Владивосток, ул. Октябрьская 27, ауд. 101.

Факс (423) 2457609, E-mail: svistun@chem.dvgu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Дальневосточного федерального университета.

Автореферат диссертации разослан " 31 " января 2012 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
Кандидат химических наук

И.В. Свистунова

Актуальность работы. Почти вековое развитие горнорудной промышленности на Дальнем Востоке привело к появлению многочисленных канав, расчисток, карьеров, штолен и хвостохранилищ, что способствовало созданию горнопромышленных техногенных систем, в которых благодаря увеличению доступа агентов выветривания к сульфидам активизировались гипергенные и техногенные процессы. Техногенные системы и происходящие в них процессы способствуют значительному нарушению природного равновесия и приводят к накоплению токсичных элементов в поверхностных и грунтовых водах, атмосфере, почве, растительности и живых организмах, включая человека.

Трудоёмкие и дорогостоящие мониторинговые работы в горнорудных районах позволяют оценить экологическое состояние экосферы в определённый промежуток времени и прогнозировать процессы ее загрязнения на ближайшие годы. К сожалению, они не дают полную картину окисления сульфидов, процесса современного техногенного минералообразования из высококонцентрированных поровых растворов и количественной оценки процесса выноса широкого спектра элементов в гидросферу на всем протяжении существования системы. Использование программного комплекса физико-химического моделирования "Селектор" позволяет это сделать в лабораторных условиях и прогнозировать экологическое состояние техногенной системы не только на ближайшие годы, но и на десятилетия и даже столетия.

Объектами исследований являются руды и отходы горнорудного производства — хвосты Комсомольского оловорудного района.

Основной целью данной работы является оценка процессов окисления сульфидов и современного техногенного минералообразования, протекающих в горнопромышленной техногенной системе, и их воздействие на гидросферу Комсомольского района.

Для достижения намеченной цели было необходимо решить **следующие задачи:**

1. Охарактеризовать первичный состав руд и отходов обогащения рассматриваемой горнопромышленной техногенной системы;
2. Сформировать физико-химические модели (собрать данные об объекте, провести схематизацию, подобрать и согласовать термодинамические параметры) и смоделировать процессы, протекающие в руде и на хвостохранилищах;
3. Оценить воздействие хвостохранилищ на гидросферу в различные периоды существования и показать их роль в загрязнении окружающей среды в дальнейшем;
4. Провести верификацию полученных результатов с помощью имеющихся литературных данных по гипергенному и техногенному минералообразованию, химическому составу рудничных, дренажных и шламовых вод района;

5. Обосновать необходимость проведения рекультивационных работ в районе и рекомендовать мероприятия по улучшению экологической обстановки.

Защищаемые положения:

1. Окисление сульфидных минералов без контакта с вмещающими породами приводит к образованию сильноокислых растворов, из которых кристаллизуются гипергенные минералы гетит, скородит и плюмбоярозит, а в отсутствии последнего англезит. Содержание в растворе основных элементов сульфидных руд Cu, Zn, Pb, As и S, кроме Fe, высокое.

2. Окисление сульфидов в контакте с вмещающими породами приводит к образованию главным образом щелочных и близонейтральных растворов. В результате образуются минералы гетит, гипс, алуноген, каолинит, гидромусковит, появляются магнезит и миметезит. При этом формируются высококонцентрированные растворы, содержащие широкий спектр элементов руд и вмещающих пород: Cu, Pb, Zn, Fe, As, S, Al, Ca, Mg, Na, K, B и Si.

3. Увеличение в системе сульфидной составляющей приводит к снижению pH растворов до нейтральных. Из них выпадают минералы гетит, вудвардит, гипс, алуноген, миметезит, гидромусковит и каолинит, исчезают кальцит и магнезит, а появляется дюфтит. Концентрация Cu, Pb, As, Zn, S в растворе возрастает.

4. С увеличением количества воды в системе кристаллизуются гетит и каолинит. При слабом разбавлении из равновесного состава исчезают гипс, вудвардит и миметезит, а при сильном — магнезит и гидромусковит. Растворы по содержанию в них элементов сульфидов приближаются к дренажным водам уже при первом незначительном разбавлении (в 10 раз).

В качестве основного метода исследования использовался термодинамический. Физико-химическое моделирование проводилось с помощью программного комплекса "Селектор-Windows", основанного на минимизации термодинамических потенциалов.

Научная новизна. Впервые данную проблему для горнопромышленной техногенной системы Комсомольского оловорудного района предлагается решить с помощью метода физико-химического моделирования. В дальнейшем результаты физико-химического моделирования будут использованы при создании экологической модели гипергенеза. Проведенные исследования позволили уточнить границы и области существования гипергенных и техногенных минералов, образующихся при окислении сульфидов.

Практическая значимость работы. Результаты моделирования могут использоваться для количественной оценки при мониторинговых исследованиях, проводимых в исследуемом районе, при проведении будущих рекультивационных мероприятий и при создании технологий повторной переработки отходов горнорудного производства, которые следует реализовать с целью извлечения полного спектра полезных компонентов.

Научная значимость работы. Физико-химическое моделирование позволяет рассчитать объемы токсичных элементов, выносимых из горно-

промышленной техногенной системы в процессе гипергенного и техногенного минералообразования, а также сделать прогноз на десятилетия и даже столетия. Созданные модели дают возможность проследить процесс и выявить закономерности выноса веществ с момента появления хвостохранилищ до настоящего момента и в будущем. Полученные автором физико-химические модели можно в дальнейшем использовать для оценки и прогноза воздействия сульфидсодержащих хвостохранилищ на гидросферу в других районах. Определенную научную ценность имеют данные, полученные по окислению сульфидов, условиям и параметрам современного техногенного минералообразования.

Все исследования направлены на изучение взаимодействия природных и горнопромышленных систем и оценки влияния процессов освоения сульфидсодержащих месторождений для создания методов защиты базовых компонентов природной среды и здоровья населения от воздействия техногенных факторов.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, подборке научной литературы, как по вопросам физико-химического моделирования, так и экологическим. Автором выполнены все необходимые теоретические расчеты. Собраны данные об объекте, проведена схематизация с построением логической схемы. Подобраны и согласованы термодинамические параметры, а часть из них рассчитана. Создана схема моделей и проведено физико-химическое моделирование. Проанализированы полученные в результате моделирования данные, проведена верификация различных этапов моделирования. Сделана оценка воздействия хвостохранилищ на гидросферу. С учетом полученных данных предложены мероприятия по улучшению экологической обстановки в районе.

Апробация. Основные положения работы докладывались на 9 научных конференциях, совещаниях и симпозиумах (в том числе на 5 международных): International workshop on Groundwater resources and waters quality of Circum Pacific countries (September 1-2, 2008. Vladivostok, Far East Geological Institute. FEB RAS); Третий международный экологический форум "Природа без границ" (Владивосток, 12-13 ноября 2008); III Международная научная конференция "Проблемы комплексного освоения георесурсов" — 2 доклада (16-18 сентября 2009 г., г. Хабаровск); Конференция молодых ученых "Современные проблемы геохимии" (5-10 октября 2009 г., г. Иркутск); Ninth International Young Scholars' Forum of the Asia-Pacific Region Countries (26-31 October, 2009. Far-Eastern National Technical University, Vladivostok, Russian Federation); IV Всероссийская молодежная научно-практическая конференция "Проблемы недропользования" (9-12 февраля 2010 г., г. Екатеринбург); III Всероссийский симпозиум "Минералогия и геохимия ландшафтов горнорудных территорий" (с 29 ноября по 2 декабря 2010 г., г. Чита); V Всероссийская молодежная научно-практическая конференция

"Проблемы недропользования" (8-11 февраля 2011 г., г. Екатеринбург); V международный симпозиум "Химия и химическое образование" — 2 доклада (12-18 сентября 2011 г., Владивосток).

Публикации. Всего по теме данного исследования автором опубликовано 11 статей, из них 3 в журналах из списка ВАК.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Разнообразие независимых компонентов и внутренняя согласованность термодинамической информации по ним обеспечивает надежность полученных результатов. Их верификация проводилась качественным составом ионных растворов, полученных в экспериментальных работах по окислению сульфидов в изолированном состоянии и в контакте друг с другом; наличием гипергенных и техногенных минералов в системе; сравнением полученных при моделировании растворов с данными по исследованию природных рудничных, шламовых и дренажных вод.

Реализация работы. Результаты были использованы в отчетах: трех Молодежных проектов ДВО РАН в 2009, 2010 и 2011 гг., Интеграционном проекте ДВО РАН 2009-2012 гг. и в двух проектах ФЦП 2010-2013 гг.

Предмет исследования. Поведение химических элементов и процессы современного техногенного минералообразования при окислении сульфидов руд и хвостохранилищ в результате гипергенных процессов.

Фактический материал. При написании работы использованы многочисленные литературные и справочные данные, рассчитанные автором термодинамические параметры, экспериментальные исследования по окислению сульфидов, минеральный состав горнопромышленной техногенной системы исследуемого района и результаты анализа гидрохимических проб.

Объем работы. Диссертация общим объемом 157 страниц (без учета приложений) состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы (из 235 наименований), содержит 34 таблицы, 37 рисунков.

Работа выполнялась в рамках 4 раздела "Горнопромышленные техногенные системы Дальнего Востока и их воздействие на экосферу" плановой темы ДВГИ ДВО РАН "Взаимодействие гидро- и литосферы в природных и антропогенных системах Дальнего Востока России".

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему руководителю д.г.-м.н. В.П. Зверевой, руководителям стажировки в ИГХ СО РАН г. Иркутска — к.г.-м.н. В.А. Бычинскому и д.г.-м.н. К.В. Чудненко, и в ТОИ ДВО РАН — к.х.н. А.В. Савченко, сотрудникам лабораторий минералогии и аналитической химии ДВГИ ДВО РАН, а так же кафедры химических и ресурсосберегающих ШЕН ДВФУ за оказанное содействие и своевременную помощь и поддержку. Автор благодарен студентам ДВФУ Фролову К.Р., Пятакову А.Д. и Вдовченко Р.Б. за активное участие в сборе данных по термодинамике гипергенных минералов и выполнение ряда задач по моделированию.

Глава 1. Геологическая характеристика Комсомольского рудного района и минералого-геохимические особенности рудной минерализации

Комсомольский рудный район (рис. 1) включает оловянные, медно-оловянные и оловополиметаллические месторождения. Он расположен в Хабаровском крае на левом берегу р. Амур в пределах Баджальского

террейна юрской аккреционной призмы Сихотэ-Алинь-Сахалинского орогенного пояса. В районе выделены три типа зон: тип А представлен рудопроявлениями в юрской осадочной толще и частью в гранитах (по преимуществу оловянная минерализация); тип Б — рудопоявлениями близ поверхности структурно несогласия юрских осадочных пород и нижнемеловых осадочно-эффузивных образований (оловянная и медно-оловянная минерализация); тип В — рудопоявлениями, залегающими в основном в верхнемеловых вулканитах и опускающимися нижними частями в юрскую осадочную толщу (оловянная и в верхних частях полиметаллическая минерализация).

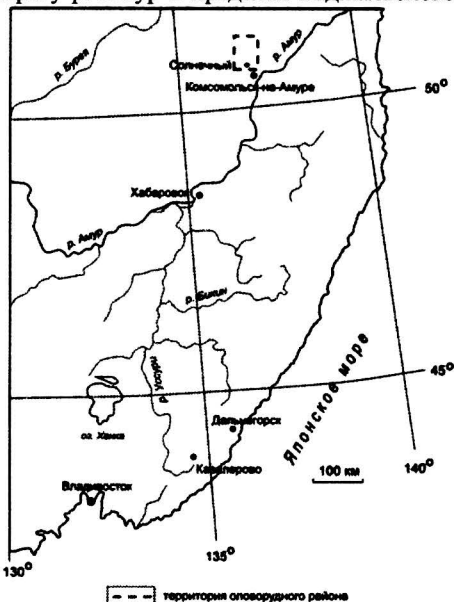


Рис. 1. — Географическое положение Комсомольского оловянного района

На месторождениях выделены следующие минеральные ассоциации, отражающие стадии процесса минералообразования: 1 — кварц-турмалиновая (дорудная), 2 — кварц-касситеритовая, 3 — кварц-касситерит-сульфидная, 4 — кварц-карбонатно-сульфидная, 5 — кальцит-пиритовая (послерудная), в которых установлено более 50 гипогенных минералов (табл. 1).

Промышленный интерес представляют только Sn и Cu, а Pb, Zn и другие химические элементы руд остаются в хвостат.

Невысребованная часть рудного вещества, будучи извлеченной на поверхность, оказывается в зоне гипергенеза (в приповерхностной части литосферы в условиях повышенной обводненности и аэрации), где подвергается окислению, гидролизу, преобразованию в другие минеральные

Таблица 1.

Гипогенные минералы рудных зон Комсомольского района

Рудные			Нерудные		
Главные	Подчиненные	Редкие	Главные	Подчиненные	Редкие
Касситерит	Вольфрамит	Джемсонит	Кварц	Флюорит	Апатит
Арсенопирит	Буланжерит	Блеклая руда	Турмалин	Аксинит	Цеолит
Халькопирит	Бурнонит	Магнетит	Серицит	Кальцит	Цоизит
Сфалерит	Станнин	Висмутин	Хлорит	Эпидот	Брукит
Галенит	Шеелит	Кобальтин	Каолинит	Биотит	Анатаз
Пирротин		Ag самородное	Сидерит	Альбит	Сфен
Пирит		Киноварь	Анкерит	Ортоклаз	Рутил
		Bi самородный	Олигонит	Клиноцоизит	Циркон

формы и переходит в водные растворы, самопроизвольная миграция которых существенно влияет на экологическую обстановку в районе.

Глава 2. Физико-химическое моделирование и современные вычислительные средства

Развитие метода физико-химического моделирования началось с 40-х годов XX. Первооткрывателями были С.Р. Бринкли, В. Вайт, Р.М. Гаррелс, Ч.Л. Крайст и Г. Хельгесон, а последователями — Е.Ф. Хильд, Дж. Найфтон, И.К. Карпов, И. Шимазу, Р.П. Рафальский, В.А.Копейкин, Ю.В. Шваров, М.В. Борисов, К.В. Чудненко, В.А. Бычинский, О.В. Авченко, С.И. Мазухина, А. Кулик и А.В. Савченко.

Физико-химическая модель дает описание химического состава геологической модели в терминах физико-химической системы. Она содержит термодинамические свойства образующихся соединений и необходима для расчета термодинамических равновесий уравнения, а также — уравнения, описывающие кинетику реакций и динамику переноса вещества.

На сегодняшний день существует два основных подхода к реализации алгоритма расчета физико-химических равновесий: *метод подстановок констант* (С. Бринкли, 1946; В. Вайт, 1958) и *метод минимизации термодинамических потенциалов* (Карпов, 1968; Карпов, Трошина, 1967).

Современное состояние методик физико-химического моделирования, реализованные алгоритмы расчета физико-химического равновесия, значительный объем термодинамических данных позволяют говорить о возможности составления физико-химических моделей, приближающихся к реальным, и получать результаты с высокой степенью достоверности. В наибольшей степени требованиям, предъявляемым к методам расчета химических равновесий, соответствуют программные комплексы, в которых реализуется метод минимизации термодинамических потенциалов.

лов Fe, Cu, Pb и Zn из класса сульфатов (рис. 6), оксидов и гидроксидов, арсенатов, карбонатов и др.

Наличие горнопромышленной техногенной системы и активно протекающие в ней гипергенные процессы привели к загрязнению природных составляющих и значительному изменению в экосфере района. По показателям водного и воздушного бассейнов Комсомольский район характеризуется как территория с критической и катастрофической экологической ситуацией. Поселок Горный и г. Солнечный находятся в данной зоне (Мирзаханова и др., 2003). С каждым годом границы этой зоны расширяются, а площади увеличиваются.



Рис. 3. Общий вид первого шламохранилища ЦОФ, пос. Горный



Рис. 5. Третье шламохранилище, действующее в настоящее время



Рис. 4. Образование оврагов на втором осушенном хвостохранилище ЦОФ, г. Солнечный



Рис. 6. Техногенные минералы нат. вел.: халькантит —синий, сидеритил — голубой, алуноген —белый, старкеит — кремовый, галотрихит — бежевый

Глава 4. Физико-химическое моделирование гипергенных процессов, протекающих в горнопромышленной техногенной системе Комсомольского района

В отработанных горных выработках карьерах и штольнях имеются многочисленные тонкие прожилки сульфидных руд, относящиеся к некондиционным. Значительная часть рудных запасов еще находится в недрах. В районе имеются три хвостохранилища. В связи с увеличением доступа агентов выветривания к сульфидам гипергенные процессы активизировались и перешли на техногенную стадию. Чтобы выяснить, какие из элементов сульфидов образуют новые минеральные фазы, а какие перейдут в раствор, в какой форме, и в каких количествах, было проведено физико-химическое моделирование процессов их окисления для наиболее распространенных рудных минералов: пирита, пирротина, арсенопирита, халькопирита, галенита и сфалерита.

Моделирование процессов окисления проводилось в единых условиях — $T = +25^{\circ}\text{C}$ и $P = 1$ атм. Отношение вода — порода принималось 10:1. Модели были открыты к атмосфере. Химический состав атмосферы рассчитан по Хорну, (1972). Список независимых компонентов представлен: Al-Ag-As-B-C-Sa-Cl-Cu-Fe-He-K-Mg-Mn-N-Na-P-Pb-S-Si-Zn-H-O-e. Физико-химическая модель включает 436 зависимых компонентов, из которых 345 растворенных частиц, 18 газов и 71 твердую фазу, все наиболее вероятные гипогенные и гипергенные минералы.

Термодинамические свойства (энергия Гиббса, энтальпия, энтропия, коэффициенты для уравнения теплоемкости) взяты из работ Карпова (1976-1981); Johnson, Oelkers, Helgeson (1991-1998); Kulik (1997); SUPCRT1992-1998. Для большинства комплексных соединений микроэлементов энергия Гиббса рассчитана по соответствующим формулам (Савченко, 2007).

Первым этапом моделирования процессов гипергенного преобразования руд Комсомольского района было рассмотрено окисление сульфидов в изолированном состоянии и в контакте друг с другом на четырех месторождениях Солнечное, Придорожное, Фестивальное и Перевальное с целью определения потенциальной нагрузки элементов тяжелых металлов в рудничные воды. Соотношение сульфидов при моделировании принималось с учетом их содержания в руде.

Основная тенденция минералообразования при окислении изолированных сульфидов сводится к образованию минералов из класса сульфатов, оксидов и арсенатов. При окислении: пирита, пирротина и халькопирита образуется гетит, арсенопирита — главным образом скородит и немного гетита (0,05 %), галенита — англезит, а цинк сфалерита остается в растворе. Значения pH растворов изменяются от 0,18 до 2,16, величина Eh — 1,09-1,21. Минерализация раствора составляет (г/л): при окисле-

нии пирита 169,9, пирротина — 123,06, арсенопирита — 62,4, халькопирита — 149,3, галенита — 4,17, а сфалерита — 172,4.

В результате окисления сульфидов в контакте друг с другом происходит образование концентрированных растворов, из которых кристаллизуются следующие гипергенные минералы: оксид железа (гетит), арсенат железа (скородит) и сульфат железа и свинца (плюмбоярозит), а в отсутствии последнего — сульфат свинца (англезит). Величина pH полученных растворов изменяется от 0,38 до 0,45, Eh — 1,19–1,20. Минерализация растворов для двух вариантов (с образованием плюмбоярозита и без него) на м. Солнечное составляет (г/л): 104,26–120,26, м. Придорожное — 109,13–122,07, м. Перевальное — 114,86–121,60 и м. Фестивальное — 121,16–122,50.

Основные формы существования элементов в растворах четырёх месторождений одинаковы: As^{+3} , As^{+5} , Cu^{+2} , $CuCO_3^0$, $CuHCO_3^+$, $CuOH^0$, $CuSO_4^0$, $H_2AsO_4^-$, $H_3AsO_4^0$, $HAsO_4^{-2}$, $HFeO_2^0$, FeO^+ , FeO_2^- , $FeOH^{+2}$, HSO_4^- , $Pb(SO_4)_2^{-2}$, Pb^{+2} , $PbHCO_3^+$, $PbOH^+$, $PbSO_4^0$, $Zn(SO_4)_2^{-2}$, Zn^{+2} , $ZnHCO_3^+$, $ZnOH^+$, $ZnSO_4^0$, отличия только в их абсолютных содержаниях. Таким образом, *первое* защищаемое положение можно считать аргументировано доказанным.

1. Окисление сульфидных минералов без контакта с вмещающими породами приводит к образованию сильноокислых растворов, из которых кристаллизуются гипергенные минералы гетит, скородит и плюмбоярозит, а в отсутствии последнего — англезит. Содержание в растворе основных элементов сульфидных руд Cu, Zn, Pb, As и S, кроме Fe, высоко.

Далее проводилось моделирование гипергенных процессов, протекающих в отходах обогащения — хвостах. Все стадии, через которые проходят хвосты, и изменения, происходящие в них, можно представить в виде ряда физико-химических моделей (табл. 2). Начальный процесс изменения отходов горнорудного производства начинается на стадии переработки руд, извлечения концентрата и сброса пульпы на хвостохранилище с помощью трубопровода. На этой стадии происходит частичное, но кратковременное взаимодействие руды и хвостов с реагентами, а поэтому его можно не учитывать. После попадания хвостов в хвостохранилище они подвергаются воздействию гипергенных агентов (вода, кислород воздуха и др.). Происходит активное разубоживание пульпы осадками — дождевыми и тальми водами. Пока горнорудное предприятие работает и сбрасывает отходы на поверхность хвостохранилища, оно действующее и сверху закрыто шламовым озером (I модель). Шламовые воды частично дренируют через отходы и в виде дренажных вод попадают в поверхностные и грунтовые. После прекращения поступления отходов в хвостохранилище и до момента высыхания шламового озера проходят десятки лет (II модель). Далее они находятся в сухом виде (III модель).

Первый этап (I модель) физико-химического моделирования процессов, происходящих в хвостах, проводился при тех же условиях, что и окис-

ление руды в рудном теле месторождений. В модели использован валовый химический состав хвостов (табл. 3) по данным бурения хвостохранилищ (Василенко, 1989).

Таблица 2.

Схема физико-химического моделирования экологической ситуации на хвостохранилищах

Тип модели	Характеристика места нахождения и состояния отходов горнорудного производства – хвостов	Факторы, учитываемые при моделировании процессов гипергенеза
I модель	Действующее хвостохранилище, закрытое полностью шламовым озером, объем хвостов возрастает	Составы: хвостов, оборотной, дождевой и талой воды
II модель	Закрытое хвостохранилище со шламовым озером, объем хвостов постоянный	Составы: хвостов, шламовой, дождевой и талой воды
III модель	Осушенное хвостохранилище, объем хвостов постоянный	Составы: хвостов, дождевой и талой воды

Используется двухрезервуарная модель действующего хвостохранилища, в которой учитывается состав отходов (табл. 3) и оборотной воды. Первый резервуар включает пульпу, выходящую с фабрики, атмосферу и воду. Равновесный раствор поступает во второй резервуар, где находятся жидкие хвосты со шламовым озером, в которые из внешней среды поступает дождевая вода. Физико-химическое моделирование показало, что окислительно-восстановительный потенциал всей системы снижается с 1,06 до 0,81 вольта. Величина pH раствора в первом резервуаре 2,71, что объясняется большим количеством серы в пульпе, выходящей с фабрики, т. к. в качестве флотационных реагентов используется серная кислота, а во втором — 6,89.

Элементы сульфидных руд в растворе находятся в виде ионов: AsO_4^{-3} , $Cu(CO_3)_2^{-2}$, Cu^{+2} , $CuCl^+$, $CuCl_2^0$, $CuCO_3^0$, $CuHCO_3^{+}$, CuO^0 , $CuOH^+$, $CuSO_4^0$, $H_2AsO_4^-$, $H_3AsO_4^0$, $HAsO_4^{-2}$, $HFeO_2^0$, FeO^+ , FeO_2^- , $FeOH^{+2}$, $HZnO_2^-$, $NaAsO_4^{-2}$, $Pb(SO_4)_2^{-2}$, Pb^{+2} , $PbCl^+$, $PbCl_2^0$, $PbCl_4^-$, $PbHCO_3^+$, $PbNO_3^+$, PbO^0 , $PbOH^+$, $PbSO_4^0$, SO_4^{-2} , $Zn(CO_3)_2^{-2}$, $Zn(SO_4)_2^{-2}$, Zn^{+2} , $ZnCl^+$, $ZnCl_2^0$, $ZnCO_3^0$, $ZnHCO_3^+$, ZnO^0 , $ZnOH^+$, $ZnSO_4^0$. Разрушение вмещающих пород и их взаимодействии с сульфидными компонентами приводит к наличию в растворе следующих ионов: $Al(OH)^{+2}$, Al^{+3} , AlO^+ , AlO_2^- , $B(OH)_3^0$, BO_2^- , $Ca(HCO_3)^+$, $CaHSiO_3^+$, Ca^{+2} , $CaCO_3^0$, $CaCl^+$, $CaCl_2^0$, $CaOH^+$, $CaSO_4^0$, $H_2O_2^0$, $HAIO_2^0$, HCO_3^- , $HP_2O_7^{-3}$, HPO_4^{-2} , $HSiO_3^-$, K^+ , KCl^0 , $KHSO_4^0$, KOH^0 , $Mg(HCO_3)^+$, $MgHSiO_3^+$, Mg^{-2} , $MgCO_3^0$, $MgCl^+$, Mn^{+2} , Mn^{+3} , $MnCl^+$, $MnOH^+$, $MnSO_4^0$, Na^+ , $NaCl^0$, $NaHSiO_3^0$, $NaOH^0$, $NaSO_4^-$, SiO_2^0 . Минерализация основных элементов сульфидов в растворе первого резервуара составила 0,693 г на л воды, а во втором — 1,51. Содержание серы в растворе высокое — до 0,7 г на литр.

Таблица 3.

Валовый химический состав хвостов (в %)

Компоненты	Хвостохранилище			Компоненты	Хвостохранилище		
	СОФ	ЦОФ	Третье		СОФ	ЦОФ	Третье
SiO ₂	67	62,6	63,9	MnO	0,16	0,13	0,14
TiO ₂	0,16	0,41	0,27	P ₂ O ₅	0,52	0,23	0,38
Na ₂ O	0,81	0,76	0,93	Cu	0,13	0,38	0,99
K ₂ O	1,12	1,75	1,31	Zn	0,25	0,11	0,13
CaO	1,29	0,35	1,42	Pb	0,32	0,03	0,11
MgO	1,5	0,65	0,98	As	0,2	0,69	0,85
Fe ₂ O ₃ +FeO	15,9	15,9	15,7	S	1,87	1,94	3,09
Al ₂ O ₃	10,2	10,2	9,7	Sn	0,19	0,21	0,1

После окисления сульфидов в обоих резервуарах присутствуют: гидроксид железа — гетит, сульфаты алюминия и кальция — алуноген и гипс. Кроме того, во втором резервуаре из раствора кристаллизуются силикаты алюминия — гидромусковит и каолинит.

Следующая — II модель показывает процессы, происходящие в хвостохранилище после прекращения поступления дополнительных порций хвостов с фабрики, но при постоянном пополнении шламового озера атмосферной водой. Степень разбавления шламовых вод возрастает, содержания флотационных реагентов снижается. Эта модель состоит из одного резервуара, в которой взаимодействуют хвосты и шламовые воды: Cl — 0,000039, S — 0,003264, C — 0,036327, Fe — 0,000019, Cu — 0,00000025, Zn — 0,000027, As — 0,00008, H — 0,06, O — 0,010265, K — 0,000265 моль (Годовой отчет ..., 2006). Система открыта к атмосфере. В настоящее время такая модель характерна для третьего хвостохранилища, которое частично закрыто сверху шламовым озером, пополняемым в моменты работы фабрики.

В водном растворе данной модели при Eh 0,81 В и pH 6,96 находятся все ионы I модели, за исключением PbNO₃⁺, B(OH)₃⁰, BO₂⁻ и Mn⁺³, но появляются: H₂P₂O₇⁻², H₂PO₄⁻, H₃P₂O₇⁻, H₃PO₄⁰, P₂O₇⁻⁴, PO₄⁻³, HCl⁰ и растворенные компоненты атмосферных газов. Минерализация основных рудных элементов в растворе составляет 3,45 г/л воды. Формируются гипергенные минералы: гетит — гидроксид Fe, алуноген и гипс — сульфаты Al и Ca, миметезит — арсенат Pb, всего 0,03 %, каолинит — силикат Al и гидромусковит — силикат K и Al.

Далее рассматривается взаимодействие сухих хвостов с атмосферой и осадками — III модель, которая является наиболее актуальной в настоящее время, т. к. в районе два хвостохранилища Центральной и Солнечной обогатительной фабрики (ЦОФ и СОФ) осушены полностью, а на третьем действующем — его 2/3 части. Расчеты, выполнены на основе валового химического состава отходов (табл. 3). Соотношение порода — сульфид в данной модели составляет 80:20.

В этой модели образуются слабощелочные растворы со значениями pH от 6,91 до 7,66 и Eh от 0,76 до 0,81 В. Все растворы, в отличие от I модели, содержат ионы $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2^{-2}$, а в модели СОФ — HPbO_2 . Минерализация растворов составляет (г/л): 2,29 (СОФ), 2,01 (ЦОФ) и 3,47 (третьего хвостохранилища). В моделях всех трех хвостохранилищ из растворов кристаллизуются: гетит, гипс, каолинит и гидромусковит. Алуноген образуется из растворов второго и третьего шламохранилищ, а магнетит — первого. Следовательно, *второе* защищаемое научное положение можно считать обоснованным и доказанным.

2. Окисление сульфидов в контакте с вмещающими породами приводит к образованию главным образом щелочных и близнейтральных растворов. В результате образуются минералы гетит, гипс, алуноген, каолинит, гидромусковит, появляются магнетит и миметезит. При этом формируются высококонцентрированные растворы, содержащие широкий спектр элементов руд и вмещающих пород: Cu, Pb, Zn, Fe, As, S, Al, Ca, Mg, Na, K, В и Si.

Соотношение сульфидов и вмещающих пород в разных точках хвостохранилищ различно, поэтому было проведено моделирование при разных соотношениях порода — сульфид от 95:5 до 60:40 для каждого из хвостохранилищ. В модель были введены минералы вмещающих пород: альбит, гроссуляр, клинохлор, мусковит, биотит, сидерит и турмалин.

Увеличение количества сульфидов в моделируемых системах с уменьшением вмещающих пород сопровождается незначительным ростом Eh от 0,73 до 0,80 В и снижением pH с 8,29 до 7,02. Первичные минералы силикатов вмещающих пород — кварц, мусковит и тремолит частично остаются в системе не разрушенными.

Ионный состав 12-ти моделей идентичен: $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, Al^{+3} , AlO^+ , AlO_2^- , AsO_4^{-3} , $\text{B}(\text{OH})_3^0$, BO_2^- , CO_2^0 , CO_3^{-2} , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)^+$, CaHSiO_3^+ , Ca^{+2} , CaCO_3^0 , CaCl^+ , CaOH^+ , CaSO_4^0 , $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2^{-2}$, Cu^{+2} , CuCO_3^0 , CuO^0 , CuOH^+ , CuSO_4^0 , H_2AsO_4^- , $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{-2}$, H_2PO_4^- , H_3AsO_4^0 , H_3PO_4^0 , HAlO_2^0 , HAsO_4^{-2} , HCO_3^- , HCuO_2^- , HFeO_2^0 , FeO^+ , FeO_2^- , FeOH^{+2} , HNO_2^0 , HNO_3^0 , $\text{HP}_2\text{O}_7^{-3}$, HPO_4^{-2} , HPbO_2^- , HSO_4^- , HSiO_3^- , HZnO_2^- , K^+ , KHSO_4^0 , KOH^0 , MgCO_3^0 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)^+$, MgHSiO_3^+ , Mg^{+2} , MgCl^+ , Mn^{+2} , MnOH^+ , MnSO_4^0 , N_2^0 , NO_2^- , NO_3^- , Na^+ , NaAsO_4^{-2} , NaCl^0 , NaHSiO_3^0 , NaOH^0 , NaSO_4^- , O_2^0 , $\text{P}_2\text{O}_4^{-4}$, PO_4^{-3} , $\text{Pb}(\text{CO}_3)_2^{-2}$, $\text{Pb}(\text{SO}_4)_2^{-2}$, Pb^{+2} , PbHCO_3^+ , PbNO_3^+ , PbO^0 , PbOH^+ , PbSO_4^0 , SO_4^{-2} , SiO_2^0 , $\text{Zn}(\text{CO}_3)_2^{-2}$, $\text{Zn}(\text{SO}_4)_2^{-2}$, Zn^{+2} , ZnCO_3^0 , ZnHCO_3^+ , ZnO^0 , ZnOH^+ , ZnSO_4^0 , OH^- , H^+ . Исключение составляет наличие в некоторых из них ионов CuHCO_3^+ , $\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7^-$, HCl^0 , KCl^0 , ZnCl^+ , CuCl^+ , PbCl^+ , PbCl^4 , MnCl^+ , PbCO_3 и H_2O^0 .

Во всех моделях кристаллизуются гипергенные минералы: гетит, вудвардит, гипс, гидромусковит и каолинит. При соотношениях 80:20 и 60:40 во всех трёх системах формируется алуноген, а при 60:40 — дюфтит. В вариантах 95:5 и 90:10 присутствует магнетит, а в первом еще и кальцит. Миметезит образуется в незначительном количестве во всех моделях. Максимальная минерализация раствора достигает 10,078 г/л воды при со-

отношении 60:40 на хвостохранилище СОФ. Анализ полученных результатов позволил доказать правильность *третьего* защищаемого положения.

3. Увеличение в системе сульфидной составляющей приводит к снижению рН растворов до нейтральных. Из них выпадают минералы гетит, вудвардит, гипс, алуноген, миметезит, гидромусковит и каолинит, исчезают кальцит и магнезит, а появляется дюфтит. Концентрация Cu, Pb, As, Zn, S в растворе возрастает.

В разное время года количество дождевых осадков и талых вод различно. Кроме того, объем шламового озера не является постоянным. Так как все эти воды участвуют в гипергенных процессах, а окисление сульфидов — процесс стихийный, то следует рассмотреть различные варианты соотношения вода — порода. Изначально оно равнялось 10:1. Далее были сделаны модели для разных соотношений вода — порода (хвосты) от 1:10-1 до 1:10-5, что варьировалось уменьшением количества отходов в модели от 100 г до 10 мг. Величина Eh растворов во всех моделях находится в интервале от 0,73 до 0,83 В, а — рН от 6,5 до 8,28. Состав ионов в растворах остается тем же, как и в случае без разбавления. Как и следовало ожидать, содержание элементов сульфидов при разбавлении растворов в них уменьшается (г/л): на хвостохранилище СОФ с 5,929 до 0,00086, — ЦОФ — 4,777-0,00078 и на третьем хвостохранилище — 3,925-0,00103.

Из растворов всех моделей кристаллизуются гетит и каолинит. С увеличением в системе воды в десять раз растворяются сульфаты (вудвардит и гипс) и арсенаты (миметезит). Магнезит и гидромусковит исчезают только при максимальном разбавлении моделируемых растворов. Из этого следует, что *четвертое* защищаемое положение можно считать достоверным.

4. С увеличением количества воды в системе кристаллизуются гетит и каолинит. При слабом разбавлении из равновесного состава исчезают гипс, вудвардит и миметезит, а при сильном — магнезит и гидромусковит. Растворы по содержанию в них элементов сульфидов приближаются к дренажным водам уже при первом незначительном разбавлении (в 10 раз).

Затем были рассмотрены процессы взаимодействия сухих хвостов с атмосферой и водой в зависимости от содержания в системе серы, т. к. она поступает в хвостохранилище не только в виде сульфидов, но и с флотационными реагентами. С этой целью были выполнены расчеты и построены графики полей устойчивости минералов в открытых (рис. 7 а) и закрытых (рис. 7 б) по отношению к атмосфере условиях. Увеличение содержания серы до 10 г приводит к появлению ранее не образующихся минералов: галотрихита $\text{FeAl}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ и старкеита $\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Исключение из системы атмосферы существенно изменит процессы окисления сульфидов и образование из раствора гипергенных минералов. В этом случае формируются ковеллин, вивианит и мелантерит, а кальцит, малахит, брошантит, галотрихит, ярозит, старкеит и др. минералы исчезают.

Закономерность изменения равновесного состава системы в зависимости от количества дождевой воды, позволила установить количество атмосферных осадков необходимое для полного окисления сульфидных минералов, содержащихся в 100 г хвостов: для пирита и галенита — 0,5 л, пирротина — 0,001, халькопирита — 0,0001, арсенопирита — 0,05 и сфалерита — 0,01.

Кроме того, моделировались процессы минералообразования при других температурах — в интервале от 0 до +45 °С. Было установлено, что состав, образующихся минералов в этом интервале температур в различных шламохранилищах достаточно близок. Содержание одних минералов: гетита, гипса, каолинита и гидромусковита в системе с увеличением температуры растет постоянно или в определенном интервале, других: алуногена, миметезита и магнезита уменьшается, а третьи: вудвардит, дюфтит и плюмбоярозит существуют в узком интервале температур и при определенном соотношении сульфиды — порода.

Полнота списка вероятных компонентов и внутренняя согласованность термодинамических свойств обеспечивает надежность полученных результатов. Их верификация проведена сравнением: 1) качественного ионного состава растворов, полученных в экспериментальных работах и в модельных расчетах как при окислении сульфидов в изолированном состоянии, так и в контакте друг с другом (Постникова, Яхонтова 1984); 2) состава кристаллизующихся гипергенных и техногенных минералов в моделируемых системах с наличием их в горных выработках и на хвостохранилищах (Зверева, 2008); 3) количественных характеристик растворов, полученных при моделировании с данными исследования природных рудничных, шламовых и дренажных вод (Елпатьевский и др., 1976; Merrington, Alloway, 1994; Чудаева, 2002; Лызова, 2004; Зверева, 2008 и др.), показала хорошую сходимость результатов.

Глава 5. Оценка экологического состояния оловосульфидных хвостохранилищ

По результатам физико-химического моделирования, полученным в главе 4, проведена оценка воздействия горнопромышленной техногенной системы. С этой целью для каждой из моделей были сделаны сравнительные таблицы и построены диаграммы содержания элементов в растворах (рис. 8).

Анализ полученных данных показал, что вынос элементов в гидросферу района значительно выше при окислении сульфидов в изолированном состоянии, чем в контакте друг с другом. Основным источником загрязнения мышьяком и серой являются рудничные воды м. Перевальное, цинком — Солнечное и Придорожное, медью — Фестивальное, свинцом — Придорожное и Перевальное, а железом — Солнечное. Наиболее активно на экосферу воздействуют рудничные воды месторождений Фе-

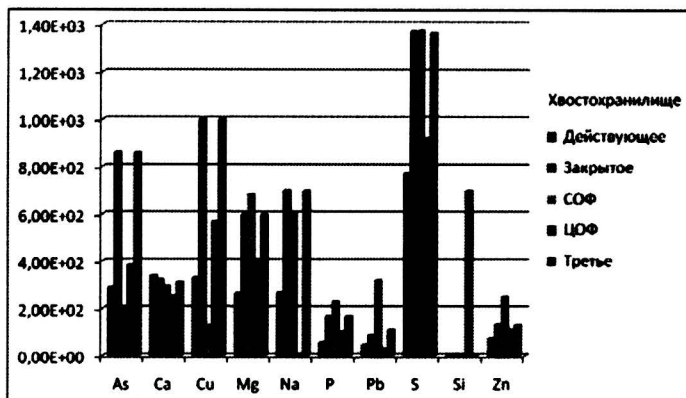


Рис. 8. — Содержание элементов в растворе при окислении сульфидов хвостов (мг/л)

стивальное и Придорожное. Окисление сульфидных минералов в руде без контакта с вмещающими породами приводит к образованию сильно-кислых поровых растворов, которые формируют рудничные воды. Содержание в них основных элементов сульфидных руд Cu, Zn, As и S очень высокое — до 170 мг/л. Такие высококонцентрированные рудничные воды, круглосуточно ничем не сдерживаемые и не очищаемые, попадают в поверхностные и грунтовые воды на протяжении десятилетий и загрязняют их.

Основными элементами (в порядке уменьшения их концентрации), выносимыми из всех хвостохранилищ, являются S, Cu, As, Na, Mg, Ca, P, Zn, Pb, K и Si. За счет поровых растворов и дренажных вод, которые они формируют, выносятся как основные элементы сульфидов, подвергающихся окислению, так и вмещающих пород в результате процессов выветривания. Больше всего Zn и Pb выносятся в гидросферу из осушенного хвостохранилища ЦОФ, Cu и As — 3-го действующего и после прекращения его функционирования, S — СОФ и третьего после его закрытия, Fe -действующей части 3-го, Al — СОФ, а К — ЦОФ и действующего третьего. Суммарное количество элементов, выносимое растворами из системы, во II модели в два раза выше, чем в I. Минерализация растворов, а, следовательно, и вынос элементов в гидросферу из осушенной части третьего хвостохранилища выше, чем на двух других. Суммарное количество элементов, всех моделируемых систем третьего хвостохранилища, выносимое растворами в гидросферу в четыре раза выше, чем для ЦОФ и СОФ. Чем больше сульфидная составляющая хвостов, тем более высокая минерализация растворов, тем больше элементов сульфидных руд с дренажными водами поступает в поверхностные и грунтовые воды.

Оценка системы с увеличением в ней водной составляющей показала, что поровые растворы и дренажные воды хвостохранилища СОФ при данных условиях будут наиболее сильным источником загрязнения, особенно там, где разбавление произойдет в меньшей степени. Растворы по содержанию в них основных элементов сульфидов приближаются к дренажным водам уже при первом разбавлении (в 10 раз).

Установлено, что изменение температуры от 0 до +45 °С и давления в интервале от 0,8 до 1,2 атм. в моделируемых системах на процессы гипергенеза и загрязнения водной среды практически не влияют, следовательно они протекают постоянно активно.

На основании результатов моделирования процессов гипергенеза в работе проведен расчет ежегодного выноса элементов (табл. 4) в гидросферу по формуле $W=C \cdot S \cdot H \cdot Kq \cdot Kвн.$ (Методические указания ..., 1998), где C — концентрация элемента в 1 л воды, S — площадь хвостохранилища, H — годовое количество осадков, $Kq=0,4$ — коэффициент проницаемости (смачиваемости) хвостов и $Kвн.=0,68$ — коэффициент интенсивности дождя.

Если учесть, что каждое хвостохранилище существует десятки лет и проходит через все стадии (действующее, закрытое, осушенное), то полученные при расчете данные за один год следует многократно увеличить, чтобы показать его воздействие за весь период существования. При этом не следует забывать, что при расчетах содержание элемента в 1 кг воды учитывалась уже после кристаллизации из них широкого спектра гипергенных минералов. Пока концентрация раствора не достигнет порога минералообразования, они будут более концентрированными, а их величина ежегодного поступления элементов в гидросферу выше. Проведенная оценка всех моделируемых этапов существования хвостохранилищ при разных параметрах дает полную картину системы "атмосфера — вода — порода".

Таблица 4.

Ежегодное поступление элементов в гидросферу из каждого хвостохранилища при окислении сульфидной составляющей хвостов (кг)

Элемент	СОФ	ЦОФ	Осушенная часть 3-го хв.	Элемент	СОФ	ЦОФ	Осушенная часть 3-го хв
O	1,17E+05	1,89E+05	4,96E+04	Cu	4,06E+03	3,56E+04	1,05E+04
H	6,02E+02	1,57E+03	4,32E+02	Pb	9,98E+03	1,89E+03	1,17E+03
C	2,88E+03	5,96E+03	2,33E+03	Zn	7,81E+03	6,94E+03	1,38E+03
N	4,47E+02	8,93E+02	1,52E+02	Fe	5,02E-06	1,02E-05	1,71E-06
K	4,25E+01	4,59E+02	6,89E+01	Mn	7,29E-07	4,00E-05	5,66E-06
Na	1,88E+04	1,67E+02	7,36E+03	S	4,28E+04	5,74E+04	1,44E+04
Ca	9,15E+03	1,58E+04	3,30E+03	As	6,23E+03	2,40E+04	9,07E+03
Mg	2,12E+04	2,47E+04	6,30E+03	P	7,10E+03	6,31E+03	1,77E+03
Al	1,69E-03	8,19E-04	1,55E-04	Si	8,50E+01	4,35E+04	2,80E+01

Зная, что окисление сульфидов происходит на протяжении столетий (Бортникова, 2001), следует заметить, что хвостохранилища, пока все сульфидные минералы в хвостах не окислятся полностью, являются потенциальным источником загрязнения гидросферы токсичными элементами.

Результаты исследования позволяют сделать вывод о необходимости скорейшего проведения рекультивации поверхности хвостохранилища. В работе приведено несколько возможных вариантов рекультивации, но предварительно необходимо извлечь широкий спектр полезных компонентов основных и редких элементов, которые в них находятся.

Заключение

Физико-химическое моделирование основных этапов развития горнопромышленной техногенной системы позволило раскрыть полную картину процессов окисления сульфидов, определить условия образования гипергенных минералов, оценить вероятную интенсивность выноса токсичных элементов и дать количественную оценку ее воздействия на гидросферу. Задачи, поставленные в работе для достижения цели, были решены полностью. Это позволило сделать следующие выводы:

1. Физико-химические модели окисления сульфидов, как в рудном теле, так и в хвостах, показали, что из высококонцентрированных растворов, образующихся в интервале pH от кислых до щелочных, кристаллизуются гипергенные минералы Cu, Pb, Zn, Fe и As из класса сульфатов, арсенатов, силикатов, оксидов и гидроксидов. Образующиеся в равновесии с ними поровые растворы определяют состав рудничных, шламовых и дренажных вод. Минерализация этих растворов достигает 10 г на кг воды.

2. Проведенная оценка воздействия окисления минералов сульфидных руд в горных выработках и на хвостохранилищах показала, что роль гипергенеза в загрязнении окружающей среды значительна на всем протяжении существования горнопромышленной техногенной системы, в интервале температур от 0 и до +45° С. Суммарный ежегодный вынос элементов сульфидов, в расчете на общее годовое количество осадков, выпадающих на поверхность хвостохранилища, составляет от 1,5 до 140 т. Концентрация основных элементов сульфидов и вмещающих пород, большинство из которых токсичны, превышает фоновые значения и ПДК в десятки, сотни и даже тысячи раз.

3. Верификация, проведенная ионным и минеральным составом, а также сравнением содержания элементов в моделируемых растворах с гидрохимическими данными по рудничным, шламовым и дренажным водам, подтвердила правильность полученных результатов.

4. Моделирование позволяет оценить состояние горнопромышленной техногенной системы в пространстве и времени, сделать прогноз на

будущее, получить новые данные параметров современного техногенного минералообразования и показать области их существования.

5. Полученные результаты можно использовать при мониторинге, проводимом в районах горнорудного производства, в рекультивационных мероприятиях, которые необходимо провести в исследуемом районе, при создании технологий повторной переработки хвостов и экологической модели гипергенеза.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. Зверева В.П., **Костина А.М.**, Коваль О.В. Техногенное минералообразование как показатель экологического состояния оловорудных районов Дальнего Востока // Горный журнал, 2009. — № 4. — С. 41-43.
2. Зверева В.П., **Костина А.М.**, Коваль О.В. Горнопромышленная техногенная система Кавалеровского района Дальнего Востока и ее воздействие на экосферу // Горный информационно-аналитический бюллетень. — Хабаровск, 2009. — Вып. 5. — С. 217-229.
3. Зверева В.П., Савченко А.В., **Костина А.М.**, Коваль О.В. Оценка и прогноз воздействия горнопромышленной техногенной системы месторождений Комсомольского района на гидросферу // Горный информационно-аналитический бюллетень. — Хабаровск, 2010. — Вып. 4. — С. 326-334.

Статьи, опубликованные в других изданиях

4. Зверева В.П., **Костина А.М.**, Коваль О.В. Воздействие горнопромышленной техногенной системы на изменение состава поверхностных и грунтовых вод Кавалеровского района Дальнего Востока // Материалы третьего международного экологического форума "Природа без границ". — Владивосток, 2008. — С. 242-244.
5. **Костина А.М.**, Савченко А.В. Оценка возможного поступления тяжелых металлов в окружающую среду при обогащении оловянных руд методом физико-химического моделирования на примере Солнечного и Фестивального месторождений (г. Комсомольск-на-Амуре, РФ) // Материалы научной конференция молодых ученых "Современные проблемы геохимии". — Иркутск, 2009. — С. 179-181.
6. Valentina P. Zvereva, **Alyona M. Kostina**, Oksana V. Koval, Aleksandra A.Yankovskay. Estimation of mining industry effect on hydrosphere in Dalnegorsk district of Far East // Materials of the Ninth International Young Scholars' Forum of the Asia-Pacific Region Countries. — Vladivostok, 2009. — P. 114-148.
7. Савченко А.В., Зверева В.П., **Костина А.М.**, Коваль О.В. Применение методов физико-химического моделирования для рассмотрения процессов гипергенеза, протекающих в сухих хвостах оловорудных мес-

- торождений Комсомольского района // *Материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции "Проблемы недропользования"*. — Екатеринбург, 2010. — С. 150-157.
8. Зверева В.П., Савченко А.В., Костина А.М. Оценка и прогноз воздействия сухих хвостов Комсомольского района на гидросферу методом физико-химического моделирования // *Труды III Всероссийского симпозиума "Минералогия и геохимия ландшафтов горнорудных территорий" и IX Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана "Современное минералообразование"*. — Чита, 2010. — С. 146-150.
 9. Зверева В.П., Костина А.М. Оценка и прогноз экологического состояния оловосульфидных хвостохранилищ Комсомольского района методом физико-химического моделирования // *Материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции "Проблемы недропользования"*. — Екатеринбург, 2011. — С. 107-117.
 10. Зверева В.П., Костина А.М., Лысенко А.И. Физико-химическое моделирование гипергенных процессов, протекающих в сухих хвостах хвостохранилищ ЦОФ и КОФ Дальнегорского района // *Сборник научных трудов V международного симпозиума "Химия и химическое образование"*. — Владивосток, 2011. — С. 177-179.
 11. Зверева В.П., Костина А.М., Фролов К.Р., Пятаков А.Д., Вдовченко Р.Б. Оценка воздействия осушенных хвостохранилищ Комсомольского района на гидросферу методом физико-химического моделирования // *Сборник научных трудов V международного симпозиума "Химия и химическое образование"*. — Владивосток, 2011. — С. 199-201.

Костина Алена Михайловна

Оценка экологического состояния горнопромышленной техногенной системы оловосульфидных месторождений Комсомольского района Дальнего Востока методом физико-химического моделирования

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук

Подписано в печать 24.01.2011 г.

Формат 60x84 1/16. Усл. п. л. 1. Уч.-изд. л. 1,27. Тираж 120 экз.

Заказ № 034

**Издательство Дальневосточного федерального университета
690950, РФ, г. Владивосток, ул. Октябрьская, 25.**

Отпечатано в типографии ИПК ДВФУ.

690990, г. Владивосток, ул. Пушкинская, 10.

