

На правах рукописи

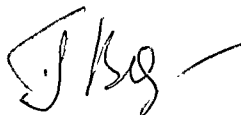
ЗВЕРЕВА Валентина Павловна

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ
ГИПЕРГЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
НА ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

Специальность 25.00.36 – геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук



Владивосток – 2005

Работа выполнена в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН

Научный консультант

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Щека Сергей Акимович

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Степанов Виталий Алексеевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Преображенский Борис Владимирович

доктор биологических наук
Крупская Людмила Тимофеевна

Ведущая организация:

Тихоокеанский государственный университет (г. Хабаровск)

Защита состоится « 28 » октября 2005 г. в 14.00 часов
на заседании диссертационного совета Д 212.055.03 при Дальневосточном
государственном техническом университете (ДВГТУ) Министерства
науки и образования Российской Федерации
по адресу:

690600, Владивосток, ул. Алеутская, 39,
Институт инженерной и социальной экологии, конференц-зал.
Тел./факс: (4232)401 628
E-mail: vakh@fegi.ru

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью,
просим направлять в адрес совета

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале ДВГТУ
по адресу: 690950, Владивосток, ул. Пушкинская, 10, ДВГТУ

Автореферат разослан «28 » сентября 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного

совета Д 212.055.03, к.г.-м.н.



А.С. Вах

2007-4

2427824

9630

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время одним из основных дестабилизирующих факторов природных процессов является техническая деятельность человека, которая приводит к крупномасштабным преобразованиям окружающей среды, внося в нее химические ингредиенты, способствующие интенсивному загрязнению и деградации. К числу таких изменений, связанных с интенсивной горнорудной экономикой, относятся техногенные системы оловорудных месторождений Дальнего Востока и происходящие в них процессы, значительно нарушающие существующие природные равновесия и вызывающие накопление токсичных элементов в воздухе, почвах, воде, растительности и в живых организмах, включая человека.

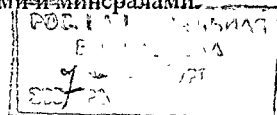
Практически все экологические проблемы, возникающие в минерально-сырьевом комплексе, первоначально порождены минералами, их качественным и количественным составом, формой, размерами, строением и генетической историей. Оценка участия минералов в массообмене экосистем (например, в доставке токсичных элементов) является важнейшим направлением работ минералогов при рассмотрении экологических проблем. Поэтому очень важно использовать все накопленные знания о гипергенных и техногенных процессах и минералах. Для минералогии как науки появляется реальная возможность и обязанность участвовать в рассмотрении и разрешении экологических проблем. Только такой подход поможет решить многие вопросы, вызванные воздействием различных факторов на среду обитания, которые приводят к качественным и количественным изменениям в различных рангах экосистемы, особенно в сфере обитания человека, живых организмов и их популяций, и которые затронуты кризисом: технологическим, физико-географическим, медицинским и экономическим.

Представленная работа направлена на решение фундаментальной проблемы — создание научных основ и методологии изучения взаимодействия природных и горнопромышленных техногенных систем, экологических последствий и рекомендаций по нейтрализации их негативного влияния на среду обитания человека.

Цель работы. Оценка и прогноз экологического состояния техногенной системы оловорудных месторождений Дальнего Востока на основе установленных минералогических критериев и воздействия гипергенных и техногенных процессов на экосферу.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Изучить минералогию и морфологию зоны гипергенеза, установить зональность и стадийность минералообразования, а также связь между гипергенными и техногенными процессами и минералами.



2. Экспериментально изучить механизм окисления сульфидов (пирита, халькопирита, арсенопирита, пирротина, сфалерита, галенита и станнина) и выяснить возможные продукты их природного деструктирования.

3. Оценить экологическое состояние оловорудной техногенной системы и стадию ее развития с помощью минералогических критериев.

4. Рассмотреть распределение токсичных элементов гипергенных и техногенных минералов (Sn, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, As, Sb, S и др.) в природных составляющих: воздухе, почве, растительности и воде.

5. На основе анализа заболеваемости населения показать воздействие токсичных элементов, накопленных в природно-промышленных системах исследуемых районов, на здоровье человека.

6. Разработать комплекс рекомендаций по снижению техногенного воздействия горнорудных предприятий и оздоровлению населения, проживающего в районах крупномасштабных техногенных систем.

Объекты исследования и фактический материал. Основными объектами исследования являлись зона гипергенеза, техногенная система, рудничные и шламовые воды двух крупных оловорудных районов Дальнего Востока: Комсомольского — месторождения Придорожное, Солнечное, Фестивальное, Перевальное, Ветвистое и др. и Кавалеровского — Хрустальное, Дубровское, Арсеньевское, Высокогорское, Силинское и др., где автор проводил исследования в течение 34 лет.

С целью изучения химизма и Eh-pH условий окисления главнейших сульфидов, автором совместно со специалистами кафедры минералогии МГУ проведено моделирование этого процесса в условиях, приближенных к природным. Исследование выполнено на мономинеральных пробах сульфидов, изготовленных в виде аншлифов-электродов. Для изучения характера электрохимического взаимодействия сульфидов друг с другом в экспериментах были использованы контактирующие минералы, имитирующие наиболее характерные рудные ассоциации месторождений района.

Собранная автором коллекция составляет около 3-х тысяч образцов окисленных руд. В результате детального изучения всеми имеющимися методами было установлено более 80 гипергенных и техногенных минералов. Гидрохимические пробы техногенных вод (шламовых, рудничных и дренажных — около 40 шт.) проанализированы методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе марки Plasmaquant-110 на Cu, Pb, Zn и др. На основании литературных данных показано, что токсичные составляющие отходов (хвостохранилищ) горно-обогатительных фабрик активно воздействуют на экосферу — воздух, почву, растительность и живые организмы — и накапливаются в ней.

Статистические данные за 1991-2001 г. по заболеваемости взрослого и детского населения Кавалеровского, Комсомольского районов Дальнего Востока и Приморского края в целом взяты в районных больницах и Медико-статистическом центре г. Владивостока. Обработанные автором сведения по 24 заболеваниям рассмотрены в сравнении с данными по Приморскому краю.

Защищаемые положения:

1. Гипергенные процессы и минералы определяют экологическое состояние территории горнорудного района. Наиболее интенсивно они проявлены на олово-полиметаллических и медно-оловянных месторождениях по сравнению с существенно оловянными (касситеритовыми). В результате этих процессов из зоны гипергенеза выносятся главным образом Sn, Zn, Cu, Pb, Fe, As и S.

2. Индикатором экологического состояния горнопромышленной техногенной системы и стадии ее развития являются минеральный состав и ассоциации гипергенных и техногенных минералов и элементов. Начальная стадия характеризуется кристаллизацией водных сульфатов — гипса, халькантита, роценита и др., средняя — массовым образованием гидроксилосодержащих — сульфатов брошантита, познякита, глоккерита и др., а конечная — появлением минералов других классов — питтицита, аллофана, скородита и др. При постоянном выносе Fe, Al и S, на начальной стадии из техногенной системы выносятся главным образом Mg и Ca, на средней — Cu, Zn и Pb, а конечной — Cu, As, P и Si.

3. Изменение минерального состава руд, хвостов и вмещающих оруденение пород на оловорудных месторождениях связано с интенсивным окислением сульфидов, гипергенезом и техногенезом, что приводит к образованию агрессивной гидрохимической среды и нарушению гидрохимического фона района. К числу токсичных элементов, выносимых за пределы техногенной системы, относятся: 1) халькофильные — Cu, Zn, Pb, Cd, As, Sb, Bi, Ag, S; 2) литофильные — Al, Si, Ca, Mg, Na, K, Li, Ba; 3) сидерофильные — Fe, Mn, Co, Ni, P, C.

4. Нарушение экологического равновесия в природе — накопление токсичных элементов в воздухе, почве, растительности, воде и живых организмах является следствием гипергенных и техногенных процессов. Знание закономерностей формирования техногенной системы и процессов, в ней происходящих, позволит управлять ими с помощью различных методов рекультивации земель, совершенствования технологий переработки отходов и самой добычи руд.

Научная новизна. Впервые для оловорудных месторождений в полном объеме прослежен процесс разрушения сульфидов и образования

гипергенных и техногенных минералов от начала разработки месторождений до формирования техногенной системы.

Впервые на высоком методическом уровне изучен минеральный состав зоны гипергенеза и техногенной системы оловорудных месторождений Дальнего Востока. Установлено более 80 гипергенных и техногенных минералов, среди которых 35 представляют собой первые находки в районах, а ктенасит, роуволфит и вудвардит впервые найдены в России. Открыт новый минерал — яхонтовит (утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 28.08.1985г.), представляющий собой высокомедистый монтмориллонит. Для ряда минералов впервые получены данные по химическому составу, ИК-спектроскопическим, рентгеновским и термическим характеристикам.

Впервые проведено экспериментальное моделирование процесса окисления сульфидов оловорудных месторождений ДВ в условиях приближенных к природным, показывающее изменение сульфидной составляющей отходов горнорудного производства — хвостов, в результате которого токсичные элементы попадают в экосферу.

Предложена целостная логически обоснованная концепция формирования техногенной системы оловорудных месторождений ДВ и дана оценка ее воздействия на природную среду — воздух, почву, растительность и живые организмы, включая человека.

Практическая значимость работы. Практическая ценность проведенных исследований заключается в возможности использования полученных данных при проведении поисково-разведочных и эксплуатационных работ на оловорудных месторождениях, создании наиболее рациональных технологических схем переработки руд и рекультивации их отходов. Даны практические рекомендации по рекультивации промышленных отходов, проведение которых, приведет к снижению их воздействия на природные системы и воссозданию экологического равновесия в техногенных ландшафтах.

На основании полученных и литературных данных в соавторстве с Л.К. Яхонтовой опубликована монография «Основы минералогии гипергенеза», которая является учебным пособием для преподавателей, аспирантов и студентов, а также для минералогов, геохимиков, экологов и геологов широкого профиля. В 2003 г. работа отмечена дипломом Минералогического общества РАН как лучшее учебное пособие. Основные публикации и результаты исследований автора по теме диссертационной работы использованы в учебном процессе и при подготовке специалистов: геоэкологов в Дальневосточном государственном техническом университете (справка от 22.02.04 г.) и геологов в Томском государственном университете (25.03.04 г.).

Апробация работы. Основные положения работы опубликованы: в 35 статьях, двух монографиях и трех отчетах. Результаты исследований по теме диссертации докладывались автором на VII съезде Всесоюзного минералогического общества (Ленинград, 1987), XI и XII международных совещаниях по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (Москва, 1997 и 2000), годовом собрании Минералогического общества «Проблемы экологической минералогии и геохимии» (Ленинград, 1997), конференции «Геология и горное дело в Приморье в прошлом, настоящем и будущем» (Владивосток, 2000), годовом собрании Всесоюзного минералогического общества «Роль минералогических исследований в решении экологических проблем» (Москва, 2002), IV и V научных семинарах «Минералогия техногенеза 2003-2005» (Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс), Всероссийской конференции «Оценка и управление природными рисками» Риск-2003 (Москва, 2003).

Объем и структура диссертации. Работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы из 314 наименований, содержит 275 страниц текста, в том числе 45 таблиц и 62 рисунка.

Благодарности. Искреннюю благодарность автор выражает директору Дальневосточного геологического института ДВО РАН, члену-корреспонденту РАН А.И. Ханчуку за помощь в постановке и проведении исследований по теме диссертации. Автор искренне благодарен за постоянное участие члена-корреспондента РАЕН Л.К. Яхонтовой как в плане идейной подготовки и постановки исследований, так и обсуждения их результатов. Автор признателен коллегам: д.г.-м.н. В.Г. Гоневцуку, к.г.-м.н. Б.И. Семеняку, к.г.-м.н. П.Г. Коростелеву и к.г.-м.н. А.М. Кокорину за плодотворные дискуссии по отдельным вопросам геологического строения районов и состава гипогенных руд месторождений. Автор благодарен сотрудникам Института географии ДВО РАН: д.г.н. П.В. Елпатьевскому и к.г.н. В.С. Аржановой за обсуждение ряда проблем и своевременные советы по вопросам исследования техногенных систем, научн. сотр. лаборатории геохимии Р.А. Макаревич за предоставленные неопубликованные данные и возможность их использования. Автор искренне благодарен за помощь в оформлении и корректировании диссертационной работы и автореферата сотруднице ДВ геологического института ДВО РАН О.В. Македонской.

ВВЕДЕНИЕ

Рудные тела на месторождениях в процессе разработки подвергаются активному воздействию агентов выветривания (кислород, поверхностные воды, градиенты температуры и др.). В результате образуется довольно мощная зона быстрого преобразования руд — зона гипергенеза, включающая в себя зону окисления и вторичного

сульфидного обогащения, а также измененные вмещающие породы (Смирнов, 1955). Большой вклад в современное состояние учения о гипергенезе на рудных месторождениях и теоретические обобщения внесли отечественные ученые С.С. Смирнов, Ф.В. Чухров, А.И. Перельман, Т.Н. Шадлун, Л.К. Яхонтова, А.П. Грудев и др.

Ведение на месторождениях горнотехнических и технологических работ приводит к активным физико-химическим процессам, в результате которых образуются разнообразные техногенные минералы. Этот процесс назван техногенезом и определен как совокупность геоморфологических и минералого-геохимических процессов, вызванных производственной деятельностью человека. Термин «техногенез» был введен А.Е. Ферсманом (Ферсман, 1934) для обозначения группы геохимических явлений, входящих в класс гипергенных процессов и сначала не отвечал полностью его буквальному смыслу. В дальнейшем значение термина было расширено. Техногенез включает широкий спектр геологических, геохимических и минералогических процессов, являющихся следствием деятельности человека. Этой сложной и интересной проблемой занимались В.И. Вернадский, А.И. Перельман, М.А. Глазовская, В.В. Добровольский, В.Я. Монаков, В.Н. Авдонин, Б.В. Чесноков, Э.Ф. Емлин и др. ученые. В последнее десятилетие следует отметить интересные работы по минералогии техногенеза ученых Российской академии наук С.Б. Бортниковой, С.С. Потапова, А.А. Каздыма, Е.Б. Щербаковой, Г.Г. Кораблева и др.

Техногенез является определенным этапом в общей геологической истории рудного района и модифицирует важнейшие геодинамические процессы в главных внешних оболочках планеты: атмо-, гидро-, био- и литосфере. Многие экологические проблемы, связанные с горным производством, рассмотрены в классических работах В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана, К.Н. Трубецкого, К.Н. Мирзаева, Н.Ф. Ремерса, Ю.У. Саета, А.И. Перельмана, М.А. Глазовской, В.В. Иванова, В.Т. Трофимова, В.И. Осипова, Н.А. Шило и др. авторов. В научной литературе (Аржанова, 1976; Елпатьевский и др., 1983; Горкин, 1983; Борисова и др., 1992; Косолапов, 1996; Грехнев и др., 1998; Крупская, 1998; Бортникова, 2001 и т. д.) имеются интересные результаты исследований, показывающие воздействие токсичных составляющих техногенной системы на экосферу (воздух, почву, растительность, воду и живые организмы). Эти публикации позволили автору провести сравнение и подтвердить правильность и необходимость собственных исследований.

Вопросам минералогии гипергенеза и техногенеза колчеданных и медноколчеданных месторождений Урала внимание уделялось как в предыдущие годы (Шадлун, 1948; Читаева, 1967; Авдонин, 1984; Емлин, 1991; Чесноков и др., 1987 и др.), так и в настоящее время (Щербакова, 1995; Макаров и др., 2001; Кораблев, 2002; Максимович и др., 2003).

Следует отметить и другие публикации (Карасик, 1946; Чухров, 1950 а. б; Крейтер и др., 1958; Витовская, 1960; Яхонтова, 1961; Дубинина, 1968; Средобольский, 1976; Бортникова и др., 1996; Юргенсон, 1997 и др.) по исследованию вторичных минералов на различных типах месторождений. На оловорудных месторождениях эти проблемы практически не изучались (Вишневский, 1959; Маршукова и др., 1977; Чистякова и др., 1977; Жданов, 1989).

В диссертации рассматриваются вопросы гипергенной и техногенной минералогии, геохимии и экологических последствий техногенных систем оловянных и оловосульфидных месторождений, практически не имеющие обсуждения в литературе. Своей работой автор надеется внести некоторый полезный вклад как в фундаментальные вопросы минералогии и геохимии современных процессов, так и в практическое решение назревших в настоящее время проблем по рекультивации отходов горнорудного производства.

ГЛАВА 1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ОЛОВОРУДНЫХ РАЙОНОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Исследования проводились на оловянных, медно-оловянных и олово-полиметаллических месторождениях Комсомольского (Хабаровский край) и Кавалеровского (Приморский край) рудных районов (рис. 1), где отмечаются довольно мощные и хорошо выраженные зоны гипергенеза и техногенные системы.

Комсомольский рудный район расположен на левом берегу р. Амур, в бассейне р. Силинки и правых притоков р. Горин. Он находится на сочленении Баджальского (юрской аккреционной призмы) и Журавлевско-Амурского (юрско-раннемелового турбидитового бассейна) террейнов (Ханчук, 2000).

Являясь частью Тихоокеанского оловоносного пояса и находясь в области пересечения таких крупных тектонических систем, как Сихотэ-Алинская и Монголо-Охотская, Комсомольский рудный район приурочен к области развития мощных толщ интенсивно дислоцированных терригенно-осадочных пород юрского возраста, которые перекрыты нижнемеловыми осадочно-вулканогенными образованиями и верхнемеловыми вулканитами, рассеченными гранитами и гранитоидами повышенной основности.

Район расположен на пересечении региональных разломов, проявленных в четырех направлениях: субширотном, северо-восточном, северо-западном и близмеридиональном. Среди них наиболее крупный субширотный Ярап-Сюркумский разлом в районе продолжает систему трансструктурных нарушений, пересекающую восточную часть хребта Сихотэ-Алинь и протягивающуюся к западу до вулканического поля

Баджалского хребта. В Центральной части района устанавливается широтный разлом второго порядка — Силинский. С юга Комсомольский оловорудный район ограничивает субширотный Сыркульский и северо-западный Эльбан-Дукинский разломы северо-западного направления. Мяо-Чанский разлом северо-восточного направления ограничивает оловоносную площадь с запада. На месте пересечения его с Эльбан-Дукинским разломом расположен Чалбинский гранитный массив.

В геологическом строении района участвуют два крупных структурно-вещественных комплекса — юрские прибрежно-морские и океанические отложения, а также меловые вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы, прорванные гранитоидными интрузиями. Наиболее молодые образования района — покровы неогеновых базальтов и рыхлые четвертичные отложения (Радкевич, 1960; Минерализованные зоны..., 1967).

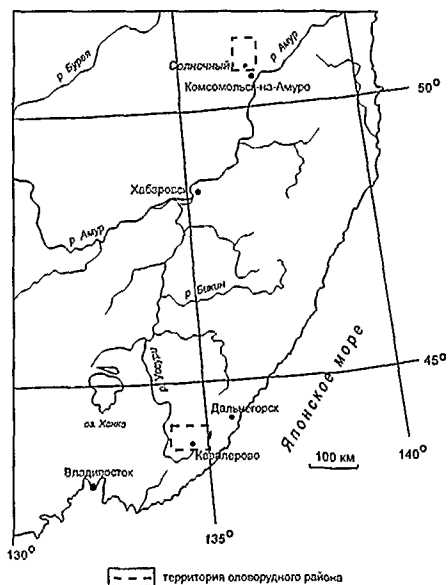


Рис. 1. Географическое положение Кавалеровского и Комсомольского оловорудных районов

Территорию Кавалеровского рудного района слагают породные комплексы раннемеловых Журавлевского (турбидитовый бассейн) и Таухинского (аккреционная призма) террейнов, граница между которыми, протягиваясь в субмеридиональном направлении, делит рудный район на две неравные части (Голозубов и др., 1992). Западная граница района совпадает с Центральным разломом, северная, восточная и южная границы

окоптуриваются полями верхнемеловых кислых эффузивов Сихотэ-Алинского вулканического пояса. Эти границы совпадают с глубинными разломами земной коры: Центральным, Дорожным, Аввакумовским и Суворовским. Рудный район имеет площадь около 1300 км² (Геология, минералогия..., 1980; Финашин, 1986). Тремя крупными глубинными разломами (Березовским, Фурмановским и Павловским) он разбивается на четыре тектонических блока, к которым приурочены Березовский, Соболинный, Хрустальненский и Павловский рудные узлы.

Западную часть района, примыкающую к Центральному Сихотэ-Алинскому разлому, слагают породы Журавлевского террейна, представленные разрезом раннемеловых турбидитов (мощностью более 1500 м), залегающих на кремнистых океанических туффилах и базальтах. Восточную часть Кавалеровского района слагают породные комплексы Таухинского террейна, являющиеся фундаментом для слабо дислоцированных покровов позднемеловых и палеоценовых вулканитов (Уткин, 1989; Голозубов и др., 1992).

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРВИЧНОГО ОРУДЕНЕНИЯ КОМСОМОЛЬСКОГО И КАВАЛЕРОВСКОГО РАЙОНОВ

Комсомольский рудный район по типу минерализации неоднороден. Для него характерна определенная горизонтальная и вертикальная зональность (Минерализованные зоны..., 1967; Геология, минералогия и геохимия..., 1971; Коростелев, 1967; Степанова, 1972). В зависимости от структурного положения в районе выделены три типа зон. К типу А относятся оловянные месторождения Солнечное, Придорожное, Ветвистое и др., которые являются типичными представителями турмалинового типа касситерит-силикатной формации. К типу Б относятся рудные зоны Ягодная и Геофизическая, образующие месторождение Фестивальное. Для них характерна отчетливая вертикальная зональность с появлением в верхних горизонтах интенсивной сульфидизации, когда оловянная минерализация сменяется, выше по разрезу, медно-оловянной. Такая зональность сходна с описанной для месторождений Корнуолла (Garnett, 1963). К типу В относятся месторождение Перевальное, зоны Северная, Озерная и др. В их нижних частях проявлена главным образом оловянная минерализация, а выше по разрезу оловянное оруденение сменяется олово-полиметаллическим и еще выше — полиметаллическим.

Для месторождений Комсомольского района выделены следующие минеральные ассоциации, отражающие стадии процесса минералообразования (Минерализованные зоны..., 1967; Геология, минералогия и геохимия..., 1971): I — кварц-турмалиновая (дорудная),

2 — кварц-касситеритовая, 3 — кварц-сульфидная, 4 — кварц-карбонатно-сульфидная, 5 — кальцит-пиритовая (послерудная).

В составе минерализованных зон Комсомольского района установлено более 50 гипогенных минералов (табл. 1). Все минерализованные зоны района имеют довольно близкий состав, различаясь в частности, и особенно по количественному распределению минералов поздних стадий. Нерудные минералы, такие как кварц и турмалин, участвуют в сложении окolorудных пород. Хлорит, карбонаты (кальцит, сидерит, анкерит и олигонит), флюорит и каолинит имеют подчиненное значение.

В Кавалеровском оловорудном районе были выделены следующие рудоносные зоны и приуроченные к ним рудные месторождения (Геология, минералогия..., 1980; Финашин, 1986): Западная — Арсеньевское и Ивановское; Центральная — Дубровское и Юбилейное; Восточная — Хрустальное, Темногорское и Левицкое; Широкая (северная) — Высокогорское и Силинское. Материал по зоне гипергенеза был собран автором на одном из месторождений каждой рудоносной зоны: Арсеньевском, Дубровском, Хрустальном и Высокогорском, для которых ниже приводится характеристика первичных руд.

На месторождениях Кавалеровского района устанавливается закономерная смена минеральных ассоциаций: ранняя кварц-касситеритовая — сульфидной, а затем кварц-флюорит-карбонатной. В районе установлена высокотемпературная минерализация грейзенового типа. Отмечается повторное проявление олово-полиметаллических жил. Все это позволяет говорить о полихронности олово-полиметаллического оруденения в Кавалеровском районе. В результате установлена следующая схема этапности рудообразования (Геология, минералогия..., 1980):

1. Региональные предрудные метасоматиты, сложенные биотититами и пропиллитами, вероятно, повторяют формы залегающих на глубине скрытых интрузивных массивов и следуют вдоль тектонических трещин.

2. Грейзеноподобные породы с молибденом, висмутовыми минералами и касситеритом в экзоконтакте гранитных интрузивов.

3. Олово-полиметаллические жилы и зоны.

Для первого предрудного этапа характерны биотит, хлорит, эпидот, альбит, калиевый полевой шпат. Для второго этапа — кварц, светлая слюда, топаз, полевые шпаты, а из рудных минералов — молибденит, иногда касситерит и висмутин. Оловоносные жилы и зоны района имеют состав обычный для касситерит-силикатной группы месторождений. В составе минерализованных зон Кавалеровского района (Финашин, 1986) установлено более тридцати гипогенных минералов (табл. 2).

Таблица 1

Гипогенные минералы рудных зон Комсомольского района

Главные	Подчиненные	Редкие
	Рудные	
Касситерит	Вольфрамит	Джемсонит
Арсенопирит	Булаажерит	Блеклая руда
Халькопирит	Бурнонит	Магнетит
Сфалерит	Станнин	Висмут самородный
Галенит	Шеслит	Висмутин
Пирротин	Метациннобарит	Айкиннит
Пирит		Кобальтин
		Серебро самородное
		Кинноварь и др.
	Нерудные	
Кварц	Флюорит	Апатит
Турмалин	Аксинит	Цеолит
Серицит	Кальцит	Цонзит
Хлорит	Эпидот	Брукит
Каолинит	Биотит	Анаказ
Сидерит	Альбит	Сфен
Анкерит	Ортоклаз	Рутил
Олигоцит	Клиноцоизит	Циркон

Таблица 2

Гипогенные минералы рудных зон Кавалеровского района

Главные	Подчиненные	Редкие
	Рудные	
Касситерит	Станнин	Джемсонит
Пирротин	Булаажерит	Висмутин
Пирит	Шеслит	Валлернит
Арсенопирит	Тетрадимит	Молибденит
Халькопирит	Марказит	Серебро самородное
Галенит	Магнетит	Алабандин
Сфалерит		Лелленгит
Вольфрамит		
	Нерудные	
Кварц	Флюорит	Рутил
Хлорит	Аксинит	Топаз
Серицит	Биотит	Пренит
Турмалин	Диомортьерит	Фтор-апатит
Эпидот	Каолинит	Ломонтит
Кальцит	Родохрозит	

ГЛАВА 3. СПЕЦИФИКА ЗОНЫ ГИПЕРГЕНЕЗА ИССЛЕДУЕМЫХ РУДНЫХ РАЙОНОВ

Интенсивность гипергенных процессов на месторождениях как в Комсомольском (Фестивальное, Перевальное и др.), так и Кавалеровском (Дубровское, Арсеньевское и др.) районах различна, хотя они проявляются

повсеместно и достаточно активно (Постникова, Яхонтова, 1984; Зверева, 1996). Переменными являются: сам профиль зоны гипергенеза, положение в нем отдельных горизонтов, глубина их развития и интенсивность происходящих в них процессов. Все перечисленные особенности связаны с характером проявления факторов формирования окисленных руд на различных месторождениях. Можно сказать, что границы окисленных руд повторяют контуры гипогенных руд, часто значительно расширяясь во вмещающие породы за счет гипергенных образований. Мощность окисленных руд колеблется в широком интервале — 10-250 м.

С целью наглядного показа принципиальных моментов в истории формирования профилей зоны гипергенеза были построены схематические вертикальные разрезы (рис. 2, 3), на которых показаны глубокоокисленные, полуокисленные и слабоокисленные руды с участками вторичного сульфидного обогащения, с учетом характера первичных руд и вмещающих пород. Мощность зоны гипергенеза на месторождениях различна и изменяется в значительных пределах (м): Солнечном — 20-200, Придорожном — 20-150, Фестивальном — 20-250, Перевальном — 10-120, Дубровском — 20-150, Арсеньевском — 30-200, Хрустальном — 50-250 и Высокогорском — 20-100. Горизонт глубокоокисленных руд имеет максимальную мощность только на месторождениях Фестивальном (70 м) и Перевальном (50 м), а на остальных — его мощность незначительна, до 20 м (Солнечное, Придорожное), первые метры (Дубровское, Высокогорское) или отсутствует (Арсеньевское, Хрустальное).

Классическим считается профиль зоны гипергенеза, в котором глубокоокисленные руды (железная шляпа) сменяются полуокисленными, переходящими далее в слабоокисленные с цементационными образованиями близ их нижней границы. Только в этом случае формирование зоны гипергенеза совершается в условиях определенного баланса гипергенных факторов. Наличие такого профиля характерно для месторождений, отработка которых происходит одновременно как открытым (карьером, наличие которого обязательно), так и закрытым (штольнями) способом. В рассматриваемых районах единственное месторождение, имеющее классический профиль зоны гипергенеза, — Перевальное. Профиль окисленных руд Фестивального месторождения близок к классическому, но осложнен тем, что процессы цементации здесь наблюдаются на нескольких, в том числе и близких к поверхности, горизонтах. В разрезе зоны гипергенеза месторождений Солнечного и Придорожного горизонт глубокоокисленных руд имеет меньшую мощность, а процессы вторичного сульфидного обогащения выражены слабее и приурочены к полуокисленным рудам. Отсутствие карьера (Арсеньевское, Хрустальное, Высокогорское) или его незначительные размеры (Дубровское) не позволили развиться мощному и хорошо

сформированному горизонту глубокоокисленных руд на этих месторождениях. Кроме того, когда горизонт глубокоокисленных руд незначительный по мощности, то можно предполагать, что имело место наличие размыва и сноса продуктов окисления, которые могли быть в

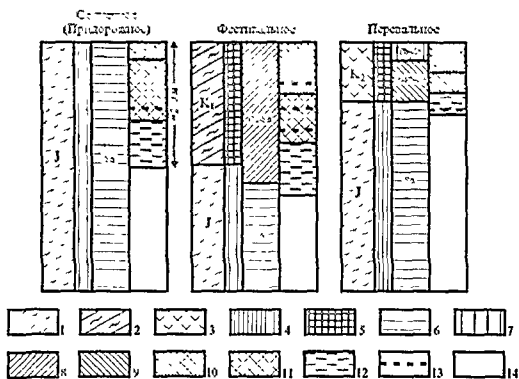


Рис.2. Схематические вертикальные разрезы зоны гипергенеза на оловорудных месторождениях Комсомольского района: 1 – песчаники и алевролиты юрского возраста, 2 – туфы и туфо-конгломераты нижнемелового возраста, 3 – порфириды и туфы лавобрекчий порфириров, 4 – турмалиновые зоны, сопровождающиеся ореолами серицитизации, 5 – турмалиновые зоны, сопровождающиеся ореолами пропилитизации, 6 – оловянная руда, 7 – полиметаллическая руда, 8 – медно-оловянная руда, 9 – олово-полиметаллическая руда, 10 – глубокоокисленные руды (железная шляпа), 11 – полуокисленные руды, 12 – слабоокисленные руды, 13 – участки с вторичным сульфидным обогащением, 14 – первичные руды.

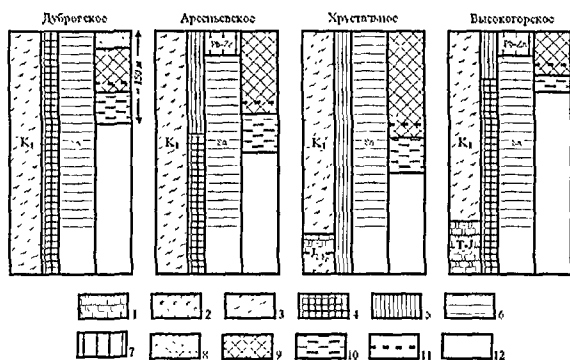


Рис.3. Схематические вертикальные разрезы зоны гипергенеза на оловорудных месторождениях Кавалеровского района: 1 – кремнисто-глинистые породы юрского возраста, 2 – базальты юрского возраста, 3 – алевролиты, песчаники нижнемелового возраста, 4 – хлорит-турмалиновый тип силикатно-сульфидной формации, 5 – хлоритовый тип сульфидной формации, 6 – оловянная руда, 7 – олово-полиметаллическая руда, 8 – глубокоокисленные руды (железная шляпа), 9 – полуокисленные руды, 10 – слабоокисленные руды, 11 – участки вторичного сульфидного обогащения, 12 – первичные руды.

обстановке сравнительно недавней и достаточно интенсивной эрозии рельефа местности на этих месторождениях.

Состав окисленных руд различных горизонтов зоны гипергенеза на всех изученных месторождениях очень похож, но отличается в частностях — ассоциациями, количественным соотношением гипогенных, гипергенных и техногенных минералов, мощностью и морфологией выделения. В составе окисленных руд месторождений исследуемых районов (табл. 3) установлено более 80 гипергенных и техногенных минералов. Среди гипергенных самородных элементов в этих районах известна только медь. Наиболее многочисленны и разнообразны представители оксидно-гидроксидного, сульфатного и арсенатного классов. Среди оксидов и гидроксидов шире распространены соединения Fe. В прочих классах резко преобладают минералы Cu и в меньшей степени Pb. Фосфаты, ванадаты, вольфраматы, молибдаты и хроматы значительно малочисленнее и в основном являются соединениями Fe и Pb. Цинковые минералы относятся к числу малораспространенных. Чисто цинковыми в зоне гипергенеза являются смитсонит, каламин и виллемит. Остальные минералы, имеющие в своем составе цинк — ктенасит, серпирит и аурихальцит, скорее относятся к медным соединениям. Техногенные минералы — это представители главным образом класса сульфатов и силикатов, реже — гидроксидов и арсенатов. К числу техногенных минералов чаще относятся соединения Cu, Al, Fe и реже — Zn, Pb, Ca. Таким образом, в зоне гипергенеза исследуемых месторождений наиболее распространенными являются самостоятельные гипергенные и техногенные минералы меди и свинца, минералов цинка значительно меньше, а олова — не обнаружено. Цинк и олово в зоне гипергенеза изученных месторождений характеризуются высокой подвижностью на всех стадиях формирования и закреплением в гипергенных продуктах в рассеянной форме.

Следует отметить, что на месторождениях Комсомольского района зона гипергенеза больше по мощности, лучше выражена, имеет более древний возраст, а ее строение ближе к классическому. Отсутствие горизонта глубокоокисленных руд (железной шляпы) или очень слабое его развитие (первые метры), а также незначительное проявление минералов вторичного сульфидного обогащения в Кавалеровском районе показывают, что зона гипергенеза здесь моложе и ее процесс находится на более ранней стадии развития. Это можно объяснить большей активностью эрозионных процессов, которые связаны с составом вмещающих пород — легко разрушаемых хлоритов Кавалеровского района по сравнению с более устойчивыми турмалинитами Комсомольского района.

Гипергенные минералы меди чаще и в большем количестве встречаются на месторождении Фестивальном, где в рудах имеются

Таблица 3

Гипергенные минералы оловорудных месторождений Дальнего Востока

Широко распространенные	Мало распространенные
Самородные элементы и сульфиды	
Медь самородная	
Халькозин Cu_2S	
Ковеллин CuS	
Борнит Cu_5FeS_4	
Марказит FeS_2	
Кермезит Sb_2S_3	
Оксиды и гидроксиды	
Куприт Cu_2O	Пирролизит βMnO_2
Тенорит CuO	Криптомелан $\text{K}(\text{Mn}^{+2}, \text{Mn}^{+4})_4\text{O}_{16}$
Гидрогётит $\alpha\text{-FeO}\cdot\text{OH}\cdot n\text{H}_2\text{O}$	Голландит $\text{Ba}(\text{Mn}^{+2}, \text{Mn}^{+4})_8\text{O}_{16}$
Гематит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	Псиломелан $(\text{Ba}, \text{Mn}^{+2})_3\text{Mn}_8^{+4}(\text{OH})_6\cdot\text{O}_{16}$
Лепидокрокит $\gamma\text{-FeO}\cdot\text{OH}$	Халькофанит $\text{ZnMn}_3\text{O}_7\cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Трипугит FeSb_2O_6	Бернессит $(\text{Ca}, \text{Na})\text{Mn}_7\text{O}_{14}\cdot 2,8\text{H}_2\text{O}$
Кварц SiO_2	
<u>Гидрагиллит</u> $\text{Al}(\text{OH})_3$	
Сульфаты	
<u>Гипс</u> $[\text{CaSO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Антлерит $\text{Cu}_3[\text{SO}_4](\text{OH})_4$
<u>Халькантит</u> $\text{Cu}[\text{SO}_4]\cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Англезит $\text{Pb}[\text{SO}_4]$
<u>Ктенасит</u> $(\text{Cu}, \text{Zn})_3[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Линнарит $\text{PbCu}[\text{SO}_4](\text{OH})_2$
Брошантит $\text{Cu}_4[\text{SO}_4](\text{OH})_6$	<u>Роценит</u> $\text{Fe}[\text{SO}_4]\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
<u>Познякит</u> $\text{Cu}_4[\text{SO}_4](\text{OH})_6\cdot \text{H}_2\text{O}$	Сидеротил $\text{Fe}[\text{SO}_4]\cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<u>Роволфит</u> $\text{Cu}_4[\text{SO}_4](\text{OH})_6\cdot 2\text{H}_2\text{O}$	<u>Мелантерит</u> $\text{Fe}[\text{SO}_4]\cdot 7\text{H}_2\text{O}$
<u>Серпентит</u> $(\text{Cu}, \text{Zn})_3[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6\cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Галотрихит $\text{FeAl}_2[\text{SO}_4]_4\cdot 22\text{H}_2\text{O}$
<u>Вудвардит</u> $\text{Cu}_4\text{Al}_2[\text{SO}_4](\text{OH})_{12}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Пиккеренгит $\text{MgAl}_2[\text{SO}_4]_4\cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Ярозит $\text{KFe}_3^{+3}[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6$	<u>Фиброферрит</u> $\text{Fe}^{+3}[\text{SO}_4](\text{OH})\cdot 5\text{H}_2\text{O}$
<u>Глоккерит</u> $\text{Fe}_4^{+3}[\text{SO}_4](\text{OH})_{10}(1-3)\text{H}_2\text{O}$	<u>Старкеит</u> $\text{Mg}[\text{SO}_4]\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	Алуноген $\text{Al}_2[\text{SO}_4]_3\cdot 17\text{H}_2\text{O}$
	<u>Ростит</u> $\text{Al}[\text{SO}_4](\text{OH})\cdot 5\text{H}_2\text{O}$
	Плюмбоярозит $\text{PbFe}_6^{+3}[\text{SO}_4]_4(\text{OH})_{12}$
Карбонаты	
Малахит $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$	Смитсонит $\text{Zn}[\text{CO}_3]$
Азурит $\text{Cu}_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_2$	Аурихальцит $(\text{Zn}, \text{Cu})_3[\text{CO}_3]_2(\text{OH})_6$
Церуссит $\text{Pb}[\text{CO}_3]$	Сидерит $\text{Fe}[\text{CO}_3]$
<u>Кальцит</u> $\text{Ca}[\text{CO}_3]$	Магнетит $\text{Mg}[\text{CO}_3]$

Окончание табл. 3

Широко распространенные	Мало распространенные
	Арсенаты
Оливинит $\text{Cu}_2[\text{AsO}_4](\text{OH})$	Церулит $\text{CuAl}_4[\text{AsO}_4]_2(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Бедагит $\text{PbFe}_3^{+3}[\text{AsO}_4][\text{SO}_4](\text{OH})$	Клиноклаз $\text{Cu}_3[\text{AsO}_4](\text{OH})_3$
Скородит $\text{Fe}^{+3}[\text{AsO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Байлдонит $\text{Cu}_3\text{Pb}[\text{AsO}_4]_2(\text{OH})_2$
	Дюфтит $\text{CuPb}[\text{AsO}_4](\text{OH})$
	Лискиридит $(\text{Al}, \text{Fe}^{+3})[\text{AsO}_4](\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
	Питтицит $\text{Fe}_2^{+3}[\text{AsO}_4][\text{SO}_4](\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Миметезит $\text{Pb}_3[\text{AsO}_4]_3 \cdot \text{Cl}$
	Ванадаты
	Ванадинит $\text{Pb}[\text{VO}_4]_3 \cdot \text{Cl}$
	Фосфаты
Вивианит $\text{Fe}_3^{+3}[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Псевдомалахит $\text{Cu}_3[\text{PO}_4]_2(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	Эвансит $\text{Al}_3[\text{PO}_4](\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	Пироморфит $\text{Pb}_3[\text{PO}_4]_3 \cdot \text{Cl}$
	Силикаты
Хризокolla $\text{H}_4\text{Cu}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Каламин $\text{Zn}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Нонтронит $\text{Fe}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Глаукоцит $(\text{K}, \text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Fe}^{+3}, \text{Fe}^{+2}, \text{Mn})_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Яхонтовит $(\text{Cu}, \text{Fe}^{+3})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Стильпноелан $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3}, \text{Mg}, \text{Al})_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Гидромусковит $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Al}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Гвизингерит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Аллофан $m \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$	Ломонит $(\text{Ca}, \text{Na}_2)[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	Виллемит $\text{Zn}_2[\text{SiO}_4]$
	Вольфраматы, молибдаты, хроматы
	Чиллагит $\text{Pb}[(\text{Mo}, \text{W})\text{O}_4]$
	Кроконт $\text{Pb}[\text{CrO}_4]$
	Ферритунгстит $\text{Fe}_2[\text{WO}_4]_3 \cdot (2-3)\text{H}_2\text{O}$
	Тунгстит $\text{WO}_2(\text{OH})_2$

Примечание. Подчеркивание означает, что минерал чаще техногенный, жирным шрифтом выделены первые (авторские) находки минерала в исследуемых районах.

промышленные содержания халькопирита. Гипергенные минералы свинца и цинка наиболее характерны для Перевального, Арсеньевского и Высокогорского рудопоявлений, хотя по размерам выделений и частоте встречаемости на двух последних их меньше. Минералы железа и мышьяка более типичны для Солнечного, Придорожного, Дубровского и Хрустального месторождений, так как на них среди гипогенных

сульфидов больше пирита, пирротина и арсенопирита, окисление которых способствует их более широкому распространению.

Изучение морфологии и минералогии зоны гипергенеза позволило сформулировать первое защищаемое положение. Гипергенные процессы и минералы определяют экологическое состояние территории горнорудного района. Наиболее интенсивно они проявлены на олово-полиметаллических и медно-оловянных месторождениях по сравнению с существенно оловянными (касситеритовыми). В результате этих процессов из зоны гипергенеза выносятся главным образом Sn, Zn, Cu, Pb, Fe, As и S.

В обстановке практически не изменяющихся климатических и геолого-геоморфологических условий в рассмотренных рудных районах процесс формирования зоны гипергенеза развивается как однозначно направленный, ослабевающий с глубиной, подчиненный закономерностям, связанным с распределением в вертикальном разрезе месторождений типов руд, окисляющих агентов, тектонических условий, а также вмещающих пород. В этом случае окисление руд происходит последовательно, поэтому поступление различных продуктов в гипергенные воды и кристаллизация из них минералов становятся зависимыми в большей мере от характера зональности первичного оруденения. В результате направленного процесса создается закономерная последовательность распределения продуктов гипергенеза, так называемая вертикальная зональность, выражающаяся в том, что приповерхностные горизонты месторождения представлены наиболее глубооокисленными рудами, сменяющимися с глубиной полуоокисленными и далее слабооокисленными рудами, в которых отмечаются процессы вторичного сульфидного обогащения, классически приуроченные к корням гипергенного профиля — уровню грунтовых вод. Начальная стадия формирования зоны гипергенеза в этом случае оказывается соотносимой со слабооокисленными рудами, а конечная — с глубооокисленными. Следует иметь в виду, что начальный процесс окисления сульфидов может возникнуть в любом участке разреза зоны гипергенеза, куда агенты выветривания могут проникнуть позднее.

Детальное исследование минерального состава и строения зоны гипергенеза изучаемых месторождений позволило выделить следующие стадии (табл. 4) минералообразования: сульфатную, сульфатно-арсенатную, силикатно-гидроксидножелезистую, которые соответственно связаны с эволюцией кислых, близнейтральных и щелочных растворов. Минералы последней, техногенной, стадии кристаллизуются в широком диапазоне изменения pH среды.

В рассматриваемых районах между зональностью и стадийностью формирования окисленных руд выявлена определенная зависимость. Она сводится к пространственной связи сульфатной стадии гипергенеза с

формированием слабоокисленных руд (с началом процесса), сульфатно-арсенатной стадии — с полуокисленными, а силикатно-гидроксидножелезистой — с глубокоокисленными рудами. Техногенная стадия может проявляться по всему профилю месторождения от глубокоокисленных до слабоокисленных руд и на хвостохранилищах, где доступ агентов выветривания активизируется.

Техногенные и гипергенные минералы, наиболее часто встречающиеся на поверхности хвостохранилищ, на отвалах вскрышных пород, а также в почвах горнорудных районов, позволяют выработать критерии активности этих процессов, провести минералогическую оценку района и являются показателем экологического состояния территории. Проведенные автором исследования (Постникова, Яхонтова, 1984; Зверева, 1998, 2004; Яхонтова, Зверева, 2000 и др.) и литературные данные (Щербакова, 1995; Shcherbakova, Korablev, 1998; Shcherbakova, 1999; Jambor et al., 2000; Кораблев, 2001; Щербакова, Кораблев, 2001) позволили выделить три стадии развития техногенной системы оловорудных месторождений. Ведущим минералообразующим процессом в техногенных системах является сульфатизация — активное и повсеместное образование минералов класса сульфатов, в которое

Таблица 4

Минералы, характерные для стадий гипергенеза на исследуемых оловорудных месторождениях

Стадии			
Кислая (сульфатная)	Близнейтральная (сульфатно-арсенатная)	Щелочная (силикатно- гидроксидножелезистая)	Преимущественно сульфатная (техногенная)
Гидрогётит	Гидрогётит	Гидрогётит	Гипс
Гипс	Бедантит	Лепидокрокит	Мелантерит
Питтицит	Миметезит	Гидроксиды марганца	Сидеритил
Бедантит	Англезит	Скородит	Глоккерит
Ярозит	Оливенит	Вивианит	Питтицит
Халькантит	Скородит	Псевдомалахит	Фиброферрит
Серпирерит	Клиноклаз	Пироморфит	Галотрихит
Познякит	Дюфтит	Малахит	Старкеит
Вудвардит	Байлдонит	Азурит	Халькантит
Ктенасит		Церуссит	Серпирерит
Роуволфит		Смитсонит	Познякит
Брошантит		Кальцит	Вудвардит
Англезит		Нонтронит	Ктенасит
Антлерит		Яхонтовит	Роуволфит
Линарит		Хризоколла	Скородит
Биверит		Каолинит	Кальцит
Алюминит		Виллемит	Гидраргиллит
Плюмбозорит		Стильпномелан	Гизингерит
		Кварц	Аллофанонды
		Опал	Алуноген

вовлекается как техногенное, так и природное вещество. В ходе сульфатизации реализуются две фактически противоположные тенденции — процесс идет как в сторону увеличения растворимости новообразованных сульфатов, так и в сторону уменьшения этой величины. Развитию таких систем соответствует определенный уровень их экологической активности, который маркируется образованием сульфатов, различающихся по своей растворимости. Индикатором начальной стадии техногенной системы является образование водных сульфатов гипса, халькантита, роценита, старкеита, сидеротила, мелантерита, галотрихита, алуногена и др. по всей территории техногенной системы. Это купоросы, сезонные минералы, которые появляются в засушливое время, а в период дождей исчезают. Вторая, кульминационная, стадия характеризуется массовым образованием гидроксилсодержащих сульфатов, таких как познякит, ктенасит, роуволфит, серпиерит, вудвардит, глоккерит, фиброферрит и др., наиболее устойчивых к растворимости, и соответствует периоду наибольшей экологической активности системы. Наконец, появление нейтральных и щелочных растворов и соответствующих им минералов из других классов: питтицита, аллофана, гизингерита, скородита, лискирдита, эвансита, гидроргиллита и др. — свидетельствует о переходе системы на заключительную стадию развития или стадию самоконсервации. Для этой стадии характерно появление наряду с мономинеральными формами и полиминеральных образований сложного состава типа сульфат-арсенатного, арсенатно-фосфатного и сульфат-карбонат-силикатно-гидроксидного. Переход от первой стадии ко второй связан с увеличением притока в систему техногенного вещества, в том числе и серы, а переход от второй стадии к третьей свидетельствует о его значительном снижении. Последняя стадия, самоконсервации, наиболее растянута во времени, и после ее завершения техногенная система прекращает свое существование.

Все это позволило сформулировать второе защищаемое положение — индикатором экологического состояния горнопромышленной техногенной системы и стадии ее развития являются минеральный состав и ассоциации гипергенных и техногенных минералов и элементов. При постоянном выносе Fe, Al и S, на начальной стадии из техногенной системы выносятся главным образом Mg и Ca, на средней — Cu, Zn и Pb, а конечной — Cu, As, P и Si.

ГЛАВА 4. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОНЫ ГИПЕРГЕНЕЗА

Проблема происхождения и образования минералов в зоне гипергенеза рудных месторождений является очень сложной. Она теснейшим образом связана с вопросами, касающимися механизмов

разрушения первичных минералов. Первые представления о гипергенных процессах, происходящих на месторождениях полезных ископаемых, дает классическая гидрохимическая модель формирования окисленных руд (Finch, 1904; Винчелл, 1907; Emmons, 1917; Смирнов, 1951, 1955; Перельман, 1968, 1972 и др.), включающая главнейшие факторы, регулирующие этот процесс, — климат, тектонику, минеральный состав первичных руд и пр. Позднее сложилось электрохимическое представление, согласно которому основную роль играют электрохимические взаимодействия между минералами-полупроводниками и растворами-электролитами (Свешников, 1967; Рысс, Воронин, 1971; Nickel et al., 1974; Яхонтова, Грудев, 1978). Сторонники электрохимического направления (Яхонтова, Грудев, 1966, 1973, 1974, 1978) рассматривают процессы, происходящие в зоне гипергенеза, с позиции коррозионной модели (электрохимическая модель без протекающего тока). Основные положения данной модели заключаются в том, что окислительно-восстановительная реакция разрушения рудного минерала-полупроводника сопровождается выделением или захватом электронов, т. е. гальваническим эффектом, а ее направленность и результативность зависят от возможностей среды (растворов и контактирующих минералов) принимать или отдавать электроны минералу.

Позднее в механизме разрушения рудных и нерудных (силикатов) минералов выявлена существенная роль микроорганизмов, в частности бактерий. В этом случае процесс протекает более интенсивно, чем при воздействии только чисто химического или электрохимического фактора (Colmer, Hinkle, 1947; Remsen, Lundgren, 1960; Sato, 1960; Razzel, Trussell, 1963; Ляликова, 1970; Каравайко и др., 1972; Яхонтова, Каравайко, 1977; Яхонтова и др., 1983, 1985 и др.).

С целью выяснения наличия сульфатредуцирующих микроорганизмов были проанализированы сульфидные и силикатные образцы (Щапова Л.Н., БПИ ДВО РАН), а также шламовые и рудничные воды. Результаты исследования показали, что микроорганизмы присутствуют в количестве 100 клеток на 1 г только в одном техногенном образце, а в пробах вод они исчисляются единицами клеток в 1 мл. Сульфатвосстанавливающие микроорганизмы отмечаются только в пробах Кавалеровского района, причем в очень небольших количествах. Вероятно, в изучаемых районах основную роль при разрушении руд будет играть электрохимический механизм окисления сульфидов.

При изучении зоны гипергенеза оловорудных месторождений Дальнего Востока, в первую очередь, внимание было уделено таким традиционным факторам, формирующим зону гипергенеза, как климатические условия, геологическое время формирования зоны гипергенеза, положение уровня грунтовых вод и их химический состав, а

также особенности минерального состава, текстурно-структурная характеристика руд и тектоника района. Большая часть этих факторов для исследуемых районов оказалась близкой.

С целью изучения химических процессов и Eh-pH условий окисления главнейших сульфидов месторождений Комсомольского рудного района проведено моделирование этого процесса в условиях, приближающихся к природным. Эксперимент проводился электрохимическим методом на основе представлений о коррозионном механизме окисления полупроводниковых минералов (Яхонтова, Грудев, 1973, 1978; Яхонтова и др., 1978, 1979). Исследование было выполнено на мономинеральных пробах вышеперечисленных сульфидов (гл. 2, табл. 1), изготовленных в виде аншлифов-электродов. Для изучения характера электрохимического взаимодействия сульфидов друг с другом в экспериментах были использованы все контактирующие минералы, имитирующие наиболее характерные рудные ассоциации месторождений.

Одной из первых задач экспериментальной работы, проводимой на кафедре минералогии МГУ при участии автора, было выведение уравнений реакций окисления минералов через изучение зависимости величины электродных потенциалов (ЭП) сульфидов от pH раствора в интервале изменения pH от 2 до 9. Химическая интерпретация полученных зависимостей проводилась с использованием данных по состоянию Cu, Fe, Pb, Zn, Sn, S и As в воде при +25°C (Pourbaix, 1963; Comprehensive..., 1973). Соотношение числа ионов H^+ и электронов в продуктах реакций окисления сульфида определялось по углам наклона графиков в поле состояния элементов в растворе. При выводе уравнений реакций окисления сульфидов (табл. 5) определены их вероятные продукты, а также для сернокислой среды с pH=3 был установлен следующий ряд уменьшения стойкости минералов (в вольтах): пирит (0,50) — арсенопирит (0,46) — станнин (0,43) — халькопирит (0,40) — пирротин (0,38) — сфалерит (0,35) — галенит (0,27).

Проведенные исследования показали, что в зоне гипергенеза оловорудных месторождений на начальной стадии окисления сульфидов формируются кислые поровые растворы, содержащие комплексные катионы типа $[CuHSO_4]^+$ и $[FeHSO_4]^+$, составляющие основу для образования большой группы основных солевых минералов, в первую очередь сульфатов и арсенатов. Начальная стадия окисления сульфидов характеризуется высокими окислительными возможностями среды, а величина Eh растворов на этой стадии составляет 0,5-0,6В, что определяет возможность их деструктирования через окислительные реакции.

Проведенный эксперимент и изучение минерального состава окисленных руд позволили проследить распределение главных добываемых элементов в зоне гипергенеза. Из-за несомненной устойчивости касситерита в зоне гипергенеза вопрос о поведении олова в

Таблица 5

Вероятные реакции окисления сульфидов в сернокислом растворе (Яхонтова и др., 1980)

Минерал	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5	pH 6	pH 7	pH 8	pH 9
Пирит	$2\text{FeS}_2 + 6,75\text{O}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{FeHSO}_4]^{++} + [\text{FeHSO}_4]^{+} + 2\text{HSO}_4^- + \text{H}^{++} + 2\bar{e}$ [-0,026] D			$\text{FeS}_2 + 2,7\text{O}_2 + 8,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{++} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}^{++} + 4\bar{e}$ [-0,012]				
Пирротин	$2\text{FeS} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{FeHSO}_4]^{++} + [\text{FeHSO}_4]^{+} + 2\text{H}^{++} + 5\bar{e}$ [-0,025]		$\text{FeS} + 2\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{++} + \text{SO}_4^{--} + \bar{e}$ [0]		$2\text{FeS} + 3,75\text{O}_2 + 12,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{++} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}^{++} + 7\bar{e}$ [-0,010]			
Халькопирит	$\text{CuFeS}_2 + 3,25\text{O}_2 + 1,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{CuHSO}_4]^{+} + [\text{FeHSO}_4]^{+} + \text{H}^{++} + 3\bar{e}$ [-0,020]		$\text{CuFeS}_2 + 4\text{O}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{++} + \text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{++} + 2\text{SO}_4^{--} + \bar{e}$ [0]		$\text{CuFeS}_2 + 3,25\text{O}_2 + 13,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6^{++} + \text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{++} + \text{SO}_4^{--} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}^{++} + 4\bar{e}$ [-0,016]			
Галенит	$\text{PbS} + 1,75\text{O}_2 + 0,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Pb}^{++} + \text{SO}_4^{--}$ (или SO_3^{--}) + $\text{H}^{++} + \bar{e}$ [-0,059]		$\text{PbS} + 1,75\text{O}_2 + 0,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{PbHSO}_4]^{+} + \bar{e}$ [0]		$4\text{PbS} + 7\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Pb}_3(\text{OH})]^{++} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\bar{e}$ [0]			
Сфалерит	$5\text{ZnS} + 8,75\text{O}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn}^{++} + 4[\text{ZnHSO}_4]^{+} + \text{HSO}_4^- + \text{H}^{++} + 6\bar{e}$ [-0,010]		$\text{ZnS} + 7,75\text{O}_2 + 0,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{ZnHSO}_4]^{+} + \bar{e}$ [0]		$\text{ZnS} + 1,25\text{O}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{ZnOH}]^{+} + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}^{++} + 3\bar{e}$ [-0,040]			
Арсенопирит	$\text{FeAsS} + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{FeHSO}_4]^{++} + \text{H}_2\text{AsO}_4^- + \text{H}^{++} + \bar{e}$ [-0,063]		$2\text{FeAsS} + 8,75\text{O}_2 + 10,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{++} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{AsO}_4^- + \text{H}^{++} + 5\bar{e}$ [-0,012]					
Сташпан	$\text{Cu}_2(\text{Fe}_2\text{Zn}_2)\text{SnS}_4 + 7,75\text{O}_2 + 0,5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cu}^{++} + 0,5\text{Zn}^{++} + 0,5\text{Fe}^{++} + \text{Sn}^{++} + 4\text{SO}_4^{--} + \text{H}_2\text{O} + 3\bar{e}$ [-0,020]		$\text{Cu}_2(\text{Fe}_2\text{Zn}_2)\text{SnS}_4 + 8,37\text{O}_2 + 3,75\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cu}^{++} + 0,5\text{Fe}^{++} + 0,5[\text{ZnOH}]^{+} + \text{Sn}(\text{OH})_2 + 2,5\text{SO}_4^{--} + 1,5\text{H}_2\text{SO}_4 + \bar{e}$ [0]					

Примечание: D) – наклон графиков.

условиях формирования окисленных руд на изучаемых месторождениях может быть рассмотрен в основном в связи с окислением стannина. Стannин сравнительно легко окисляется, и олово, характеризующая высокой подвижностью на всех стадиях развития зоны гипергенеза, закрепляется в продуктах гипергенеза исключительно в рассеянной форме, в составе антлерита, брошантита, малахита, гидроксидов железа, скородита, хризоколлы и нонтронита. Собственные гипергенные минералы олова обнаружены не были. Помимо концентрированных форм (собственно медных минералов), медь в изучаемых районах характеризуется рассеянным состоянием в составе других гипергенных минералов, в первую очередь, в гидроксидах железа и в слоистых силикатах. Кроме концентрированных форм, собственно свинцовых минералов, более характерных для начальной и конечной стадий развития зоны гипергенеза, свинцу свойственно рассеянное состояние в других гипергенных минералах — алуногене, халькантиде, оливините, скородите, гидроксидах железа и в слоистых силикатах. Цинк в окисленных рудах изученных месторождений подобно олову характеризуется высокой подвижностью на всех стадиях развития зоны гипергенеза и закреплением в продуктах гипергенеза в исключительно рассеянной форме (обнаружен в малахите, псевдомалахите, хризоколле, скородите, оливините, нонтроните, гидроксидах железа и др.).

Таким образом, в результате проведенных исследований по окислению сульфидов получена схема или модель альтерация отходов (хвостов) оловорудной промышленности, основной составляющей которых являются сульфиды. Кроме того, результаты эксперимента и детальное изучение минерального состава зоны гипергенеза позволяют проследить поведение главнейших рудогенных элементов — Sn, Cu, Pb и Zn — при формировании гипергенных зон и техногенных систем в рассматриваемых районах.

ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИПЕРГЕНЕЗА И ТЕХНОГЕНЕЗА ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Добыча и первичная переработка минерального сырья сопряжены с деградацией и частичной потерей земельных, водных и лесных ресурсов, возникновением ряда природоохранных проблем и ухудшением качества среды обитания людей в этих районах. Горная промышленность на Дальнем Востоке развивается очень давно. Более 60 лет отрабатываются открытым и закрытым способом касситеритовые и касситерит-сульфидные месторождения в Кавалеровском и около 50 — в Комсомольском районе. К настоящему моменту большая часть запасов отработана, а рудников и горно-обогатительных фабрик — закрыта. При

разработке рудных тел открытым и закрытым способами на дневной поверхности остаются огромные горные выработки — расчистки, карьеры и штольни, а также отвалы вмещающих пород. После обработки руды и извлечения рудного концентрата остатки руды с содержанием олова ниже промышленного выносятся на хвостохранилища шламовыми водами, содержащими химические реагенты, и там складировуются.

В Комсомольском оловорудном районе практически с момента работы горно-обогатительных фабрик из руды извлекали Sn, Cu, Pb, Zn, Ag и W. В последние годы повторно перерабатывались хвосты первого хвостохранилища открытым способом в виде карьера только на олово. С 2004 г. вновь перерабатываются руды месторождения Фестивальное. В Кавалеровском районе основным и единственным добываемым элементом всегда было Sn, хотя в последние годы попутно извлекались In и Ag, а промышленные содержания Cu, Pb и Zn складировались в хвостах. В последние годы разрабатывалось только медно-оловянное рудопроявление Искра, и повторно перерабатывались отходы первого хвостохранилища с содержанием олова от 0,5 до 1,0%. Хвостохранилища в исследуемых районах занимают большие площади — в Кавалеровском районе до 15 га, где накоплены огромные объемы хвостов до 35 млн. т, а в Комсомольском соответственно до 90 га и 42 млн. т (рис. 4 и 5). Сверху хвостохранилища могут быть закрыты шламовыми озерами. Хвосты представлены тонкодисперсной массой серого цвета, состоящей из пирита, пирротина, галенита, сфалерита, арсенопирита, халькопирита, кварца, турмалина, хлорита и других минералов. Окисление сульфидов приводит к появлению многочисленных сульфатов: халькантита, гипса, галотрихита, мелантерита, сидеротила, алуногена и др., в состав которых входят Cu, Fe, Mg, Al, Ca и S.

В изучаемых районах на хвостохранилищах и в непосредственной близости от них чувствуется сильный запах сернистых газов. Окисление сульфидов процесс длительный. Пирит, например, окисляется до 800 лет (Бортникова, 2001). Известно (Потапов, Потапов, 2004), что вблизи хвостохранилищ может происходить выброс в атмосферу токсичных элементов (%): As — 93, Pb — 65, Cr — 56, Mn — 50, Cd — 38, Cu — 34, Hg — 32 и др. Хвостохранилища и отвалы руд, благодаря гипергенным процессам, постоянно находятся в стадии интенсивного воздействия на экосферу. Они выступают как мощный техногенный средообразующий фактор, под воздействием которого формируются сернокислые техногенные и природно-техногенные ландшафты, не типичные для гумидных условий Дальнего Востока. Трансформирующее действие данного фактора затрагивает практически все типы ландшафтов — от элювиальных автономных до трансаккумулятивных и аквальных. Трансформация окружающей среды носит явно негативный характер, в связи с тем, что происходит резкое ухудшение качества основных

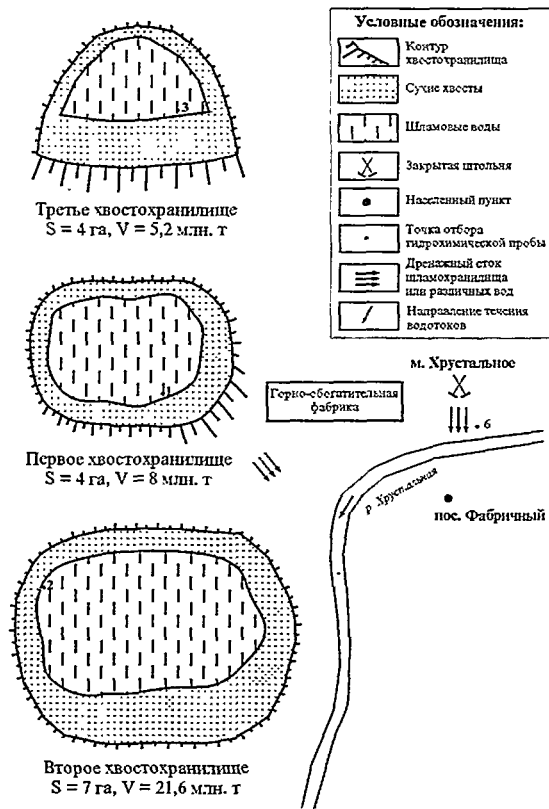


Рис. 4. Схема расположения хвостохранилищ в Кава­леровском районе

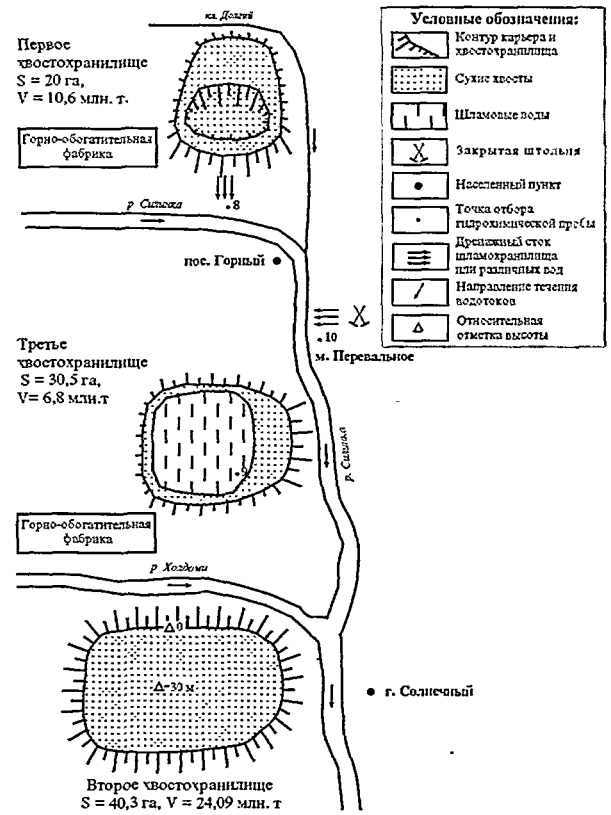


Рис. 5. Схема расположения хвостохранилищ в Комомольском районе

компонентов биосферы (воздуха, почвы, растительности и воды). Изменения охватывают территорию значительно большую, чем площадь, занятая отвалами и хвостохранилищами.

В работе, на основании литературных данных, показаны последствия воздействия горнорудного производства и техногенных систем на воздух, почву, растительность и живые организмы, а на основании собственных исследований, с учетом литературных данных, рассмотрено воздействие техногенных вод (шламовых, рудничных и др.) на природные воды.

Атмосферный воздух, в первую очередь, подвергается воздействию складированных отходов производства предприятий горной промышленности. Как установлено рентгенодифрактометрическим анализом, при переработке руд, содержащих сульфиды (галенит, сфалерит и халькопирит), и их попутном извлечении, пылевой выброс в атмосферу основных компонентов близок к их минеральному составу (Lead in..., 1977; Glowiak et al., 1979; Harrison, Williams, 1983; Scokart, 1983). Исследования, проведенные в пределах горнопромышленных предприятий Узбекистана, показали, что, по данным микроскопии и микрозондирования, в макро- и микродифракциях пыли присутствуют следующие минеральные формы: силикат железа и свинца, оксид титана и цинка, халькопирит, галенит, сфалерит, борнит, халькозин, куприт, церуссит, англезит и др. (Туресбеков и др., 2002). Наблюдения, проведенные в Приморье, показывают, что имеет место превышение ПДК в воздухе на границе санитарно-защитной зоны хвостохранилищ. Среднегодовой выброс фиксируемых загрязняющих веществ в атмосферу Хрустальненским ГОКом (Кавалеровский район) после очистки составляет (т/год): Pb — 0,02, As — 0,25, твердых — 62, газообразных — 2003, сажи вместе с пылью — 60 и всего — 2065, в то время как расчетные показатели очистки должны составлять: Pb — 0,0006, сернистого газа — 0,41, окиси углерода — 0,23, двуокиси азота — 0,0065, сажи и пыли — 0,002 и всего по норме — 0,67 (Долговременная программа, 1992). Объем загрязнения воздуха хвостовой пылью варьирует в зависимости от времени года. Пыль начинает подниматься над хвостохранилищами при разных скоростях ветра (м/с): зимой — при 8, весной и осенью — 5-6, а летом — 4-5 (Абросимов, Мелкий, 2003). Летний модуль поступления пыли в техногеосистемах почти вдвое ниже зимнего — 37,0 и 63,7 мг/(м² в сут.) по сравнению с фоновыми условиями (Graedel, Franey, 1975). С поверхности площадью 1000 га порыв ветра сносит до 60 000 м³ песков (Тарасенко, Зиньков, 2001), которые в исследуемых районах являются тонкодисперсными отходами горнорудного производства — хвостами, состоящими в основном их рудных минералов.

Очистка атмосферы происходит дождевыми и снеговыми осадками, причем снег по сравнению с дождями более эффективно

(примерно на 40%) выводит из атмосферы твердые примеси. В зимний период для осадков характерно преобладание загрязнителей в твердой фазе, а в летний — растворенных форм химических элементов (Елпатьевский, Аржанова, 1983; Остапчук, Грехнев, 1995). Результаты анализа осадков в районе олово-сульфидного месторождения Смирновского показали, что наиболее высокие поступления тяжелых металлов связаны с начальной фазой морозящих дождей. В них содержание Pb, Fe, Zn достигает 100-200 мкг/л, а Cu, Mn, Al — 30-60 (Аржанова, Елпатьевский, 1990; Елпатьевский, 1976, 1993). Талые воды техногенных систем также подвергаются воздействию хвостов (Сысоев, 1975; Аржанова, 1976; Likens et al., 1977; Миклишанский и др., 1977; Глазовский и др., 1978; Андреева, Рожкова, 1981; Грехнев и др., 1998).

Значительное накопление токсичных элементов в почвах различных регионов отмечается как в отечественной (Обухов и др., 1983; Несвижская, Соет, 1985; Фокин, 1986; Первунина и др., 1989; Крупская, 1991; Елпатьевская, 1996; Грехнев, 1998 и др.), так и зарубежной литературе (Tiller et al., 1979; Khan, Frankland, 1983; Tao Zhan, 1986; Christensen, 1987). В почвах дальневосточных оловорудных месторождений (Ивашов, Пан, 1999; Ивашов, 1987; 2003) независимо от генетического типа оруденения содержание Sn, в связи с интенсивностью оловянной минерализации, варьирует в широких пределах: от 0,0001 до 0,6%, превышая кларк до 600 раз (Виноградов, 1957). Содержание рудных элементов, по неопубликованным данным, любезно предоставленным Р.А. Макаревич (сотрудницей лаборатории геохимии ТИГ РАН), в почвах г. Солнечного Комсомольского района изменяется в следующих пределах (%): Pb — 0,040-0,006, Zn — 0,073-0,085, Cu — 0,004-0,104, Cd до 0,0003, что превышает нормы для Pb в 30-45, Cu — 5-50, Cd — 30 и Zn — 10 раз.

Биохимические исследования в окрестностях хвостохранилищ обогатительных фабрик позволяют говорить о глубоком вовлечении в геохимический круговорот тяжелых металлов. Техногенное накопление ряда металлов (Pb, Zn, Cu, Cd, Fe, Mn) происходит в листьях (Фролов, Горышина, 1982; Burzynski, 1985; Burton et al., 1986), коре (Nyangabobo, Ichikuni, 1986; Батоян и др., 1990), древесине и корнях деревьев (Первунина, Зырин, 1980; Першикова, 1984; Ильин, 1991), а также в грибах (Першикова, 1984; Morselt et al., 1986; Жлоба, Пантелеймонова, 1988; Zabowski et al., 1990; Ильин, 1991), ягодах (Shaw, 1981) и овощах (Narwal et al., 1983; Harrison, Chirgawi, 1989). В хвое и ветвях ели аюнской может содержаться металлов в 2-50 раз больше, чем в соответствующих органах растений фоновых территорий (Борисова и др., 1987). Содержание (по данным Макаревич Р.А.) Pb и Cd в растениях г. Солнечный (Комсомольский район) превышает нормативные данные в 100-1000, Zn — в 10 раз (Краткий справочник ..., 1977). В работах П.В. Ивашова (1987, 2003) показано, что Sn содержится в растениях более 40 видов,

произрастающих на дальневосточных оловорудных объектах, в количестве от 0,002 до 0,1%, т. е. в 4-200 раз больше кларка (Виноградов, 1954). Садово-огороднические участки в изучаемых районах, где население выращивает ягоды и овощи, постоянно употребляемые в пищу, а также участки леса, где собирает дикорастущие ягоды и грибы, находятся в непосредственной близости от хвостохранилищ и горных выработок от 50 м до 2 км. В них, вероятно, происходит накопление металлов выше ПДК.

Развитие горнорудной промышленности и появление техногенной системы приводит к нарушению и уничтожению почвенного слоя и растительности на значительных территориях, поэтому в настоящей главе работы на основании литературных данных был рассмотрен процесс их восстановления. Как отмечено рядом авторов (Крупская, 1992; Клевенская, 1992; Елпатьевская, 1995, 1996 и др.), он длительный, сложный и зависит от количества в грунтосмесьях сульфидных минералов, влияющих на кислотность субстрата и интенсивность процесса техногенного минералообразования. Скорость регенерации ландшафтов максимальна для отвалов бессульфидных вскрышных пород и минимальна для сульфидсодержащих субстратов. Наиболее благоприятными для формирования растительных группировок и почв являются неминерализованные вскрышные породы, в которых после нарушения в течение первых десятков лет, под древесной растительностью возможно образование маломощного профиля, близкого по своим характеристикам к лесным буроземам. На токсичных сульфидсодержащих субстратах площадь почвенного покрова существенно меньше, а вариабельность свойств высока (Елпатьевская, 1995, 1996).

Следует отметить, что весь огромный накопленный материал по содержанию и распределению рудных элементов в воздухе, почвах и растениях используется при создании эколого-геологических карт, которые достаточно информативны и получили широкое распространение (Трофимов, 2001; Мамаев, 2001; Саксин, 2002.).

Развитие и длительное использование гидрохимического метода поисков показывает появление ореола вокруг рудопроявления и содержание в поверхностных водах широкого спектра элементов выше фоновых концентраций (Перельман, Сауков, 1957; Овчинников, 1965; Kitano, 1973; Перельман, 1982; Колотов и др., 1983; Плотников, Рогинец, 1987; Шварцев, 1998). Данные уральских ученых свидетельствуют о том, что состав воды в современных условиях формируется главным образом под влиянием антропогенной деятельности. Ее хорошее качество в настоящее время сохраняется только в верховьях рек. Ниже первого крупного населенного пункта (Шахов, 1995) и горнопромышленного комплекса (Черняев, Напримеров, 1995) оно резко ухудшается.

Чтобы показать отрицательное воздействие техногенных систем оловорудных месторождений Дальнего Востока на природные воды в

настоящее время, автором были отобраны и проанализированы гидрохимические пробы (табл. 6) шламовых, рудничных и дренажных вод (Зверева, 2000, 2004; Зверева, Кравченко, 2003 а, б; Зверева, Строева, 2003). В пробах методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе марки Plasmequant-110 был определен широкий спектр элементов. Содержание Sb, Se, Hg, Bi, Cd, Ag, Co, Cr, Ni, Pb и Cu в ряде проб оказалось ниже предела определения. Полученные результаты (табл. 6) показали, что большая часть исследуемых образцов вод относятся к числу близонейтральных, рН которых изменяется от 6,0 до 7,0, а, как известно, такие воды менее минерализованы, чем кислые. Следует заметить, что отбор гидрохимических проб в Кавалеровском районе (строки 1-6) осуществлялся в июле, когда отмечались ежедневные грозовые (ливневые) дожди, которые, вероятно, способствовали разбавлению этих вод и увеличению их щелочности. Из таблицы (строки 5, 6) видно, что содержание Zn в рудничных водах м. Хрустального и озерных (расположено ниже штолен) выше фоновых в 30-80 раз, а Mn — 30-60. Содержание Fe, Mn и Al во всех гидрохимических пробах шламовых вод Кавалеровского района (строки 1-3) выше фоновых, «эталонных» и кларковых в 10-120 раз, Zn — 10-80. Фоновые, «эталонные» и кларковые данные для рассматриваемых элементов близки, а поэтому там, где они имеются, можно сравнивать только с фоновыми значениями. Следует отметить, что гидрохимический фон грунтовых вод Комсомольского района (Критерии и методика..., 1982) для рассматриваемого спектра элементов близок к данным по Кавалеровскому району. Повторно отобранные гидрохимические пробы (Кавалеровский район, август 2003 г. — более засушливое время) имеют рН немного ниже, чем предыдущие — 5,0-6,5 (строки 7-9). Содержание большинства определяемых элементов в этих пробах выше предыдущих (2001 г.) и превышают фоновые значения для рудничных вод: Pb до 50 раз, Zn, Cu, Cd, Fe, Al — 10-1000, Mn — 100-500. В пробах 2003 г. (строки 7-10) и 2004 г. (строки 15-20) определялся также As, содержание которого находится в пределах 0,02-0,06 и 0,15-0,64%, что превышает фоновые в 10-300 раз.

Гидрохимические пробы рудничных и озерных вод обогащены Li, и Sr, но, к сожалению, данных по содержанию Li в литературных источниках нет, а поэтому сравнивать имеющиеся результаты не с чем. Сравнение данных по Sr в рудничных (строки 6, 10, 14, 15, 18), озерных и дренажных (строки 5, 12, 16), а также в шламовых водах (строки 1, 2, 7-9, 13, 17) показывает, что в исследуемых образцах содержание элемента превышает значения «эталонных» и кларковых в 2-30 раз.

В Комсомольском районе техногенные воды также отбирались дважды в 2002 г. (строки 11-14) в сентябре и в 2004 г. (строки 15-20) в июле. Величины рН этих проб близки между собой (5,0-5,5) и немного ниже, чем в Кавалеровском районе. При детальном рассмотрении

результатов видно, что самые высокие концентрации токсичных элементов Cu и Cd в рудничных водах медно-оловянного м. Фестивального (строка 15) и превышают фоновые в 75000 и 2600 раз, а Zn, Mn, Fe и Al — в 2700, 7000, 1300 и 1000. В рудничных водах олово-полиметаллического м. Перевального (строка 14) содержания Zn превышают фоновые в 8600 раз, Cu — 1830, Pb — 1320 и Cd — 10280 раз. Содержания большинства определяемых элементов в повторно отобранных в 2004 г. рудничных водах м. Перевального (строка 18) близки к данным, полученным в пробах 2002 г. (строка 14). Содержание Fe (71,4 мг/л) в данной пробе превышает фоновые в 6500 раз, а в дренажном стоке ниже шламохранилища (строка 12), из которого выпадают гидроксиды железа, еще выше и составляет 139,0 мг/л. В этих водах отмечаются также белесые осадки гидроксидов алюминия, причем содержание элемента превышает фоновые почти в 1000 раз. Содержания других элементов в дренажных водах (строка 12) также значительно повышены: Pb в 10, Cu и Cd в 100 и Zn в 1000 раз. В шламовых водах третьего, действующего в настоящее время, хвостохранилища (строка 13) содержание Zn, Pb и Cd в 1000, а Cu в 250 раз выше фоновых. Данные по Mn для большинства гидрохимических проб Комсомольского района превышают фоновые в 10000 раз и только в рудничных водах м. Перевального — в 100 раз. Практически во всех отобранных пробах повышено содержание Ca и Mg, причем для Mg значения выше фоновых в 2-40 раз, а Ca — в 10-500.

Содержание Sn, главного добываемого элемента изучаемых районов, в исследуемых пробах ниже чувствительности метода — 0,2 мг/л. Олово определялось методом атомно-адсорбционной спектроскопии на приборе марки НТАСНІ 180-50. Как отмечалось ранее (гл. 3), повышенное содержание олова более характерно для кислых вод, а величины рН исследуемых гидрохимических проб ближе к щелочным растворам.

Таким образом, по степени обогащения рудничных вод элементы в Комсомольском районе можно расположить в следующем порядке: Zn>Fe>Cu>Ca>Mg>Al>Pb>Cd>V>Mn (м. Перевальное, 2002-04 гг.) и Cu>Ca>Mg>Zn>Mn>Al>Fe (м. Фестивальное), а в Кавалеровском (м. Хрустальное) — Ca>Mg>Sr>Al>Mn>Fe>Li>Zn (2001 г.) и Ca>Mg>Sr>Mn>V>Al (2003 г.), в последнем ряду содержание Zn, Cu и Fe ниже большинства элементов и близки между собой. По степени обогащения шламовых и дренажных вод элементы располагаются следующим образом: Кавалеровский район — Ca>Mg>Al>Fe>Mn>Sr>Li>Zn (2001 г.), Ca>Mg>Zn>Cu>Fe>Mn>Al>Sr (2003 г.), а Комсомольский — Fe>Mn>Zn>Al, причем содержание Sr, Cu, Pb ниже перечисленных элементов, но близко между собой.

В работе проведено сравнение рудничных и шламовых вод изученных районов с анализами вод медных и полиметаллических

Таблица 6

Химическая характеристика техногенных стоков на месторождениях Кавалеровского и Комсомольского районов

Характер и место отбора пробы	pH	Микроэлементы, мг/л													
		Zn	Cd	Li	Sr	Ba	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	B	Ca	Mg	
Содержание элементов в «эталонных» пресных водах*	-	0,005	0,0002	-	0,050	0,010	0,500	0,005	0,200	0,001	0,003	-	-	-	
Кларк речной воды**	-	0,002	0,00001	-	0,070	0,020	0,040	0,007	0,050	0,007	0,001	-	-	-	
Фоновые условия***	7,3	0,009	0,00005	-	-	-	0,011	0,003	0,010	0,002	0,001	-	7,000	0,120	
Кавалеровский район, 2001 г.															
1. Шламовые воды 1-го хв.	7,0	0,012	<ПО	0,051	0,478	0,018	0,099	0,582	0,052	<ПО	<ПО	<ПО	127,000	13,900	
2. Шламовые воды 2-го хв.	6,5	0,093	<ПО	0,015	0,110	0,013	1,190	0,034	0,822	<ПО	<ПО	<ПО	22,700	4,670	
3. Шламовые воды 3-го хв.	7,0	0,011	<ПО	0,002	0,068	0,024	0,355	0,014	0,142	<ПО	<ПО	<ПО	12,200	2,470	
4. Вода из ручья ниже хв.	6,0	0,036	<ПО	0,022	0,241	0,001	0,198	0,102	0,171	<ПО	<ПО	<ПО	26,700	7,100	
5. Вода из озера ниже штalen	6,0	0,692	<ПО	0,025	0,495	0,013	0,277	0,195	0,594	<ПО	<ПО	<ПО	65,400	25,700	
6. Рудничные воды м. Хрустального	7,0	0,251	<ПО	0,283	2,410	0,027	0,824	0,851	1,090	<ПО	<ПО	<ПО	165,000	60,000	
Кавалеровский район, 2003 г.															
7. Шламовые воды 1-го хв.	6,0	0,078	<ПО	-	0,096	0,006	1,094	0,255	0,383	0,223	<ПО	0,453	14,900	2,710	
8. Шламовые воды 2-го хв.	5,0	5,160	0,031	-	1,010	0,019	0,072	1,190	0,535	6,790	0,025	0,321	270,000	35,500	
9. Шламовые воды 3-го хв.	6,5	0,398	<ПО	-	0,094	0,014	1,490	0,110	1,072	0,045	<ПО	0,198	18,600	3,520	
10. Рудничные воды м. Хрустального	6,5	0,072	<ПО	-	1,030	0,013	0,042	0,247	0,123	0,014	<ПО	0,177	126,000	41,300	
Комсомольский район, 2002 г.															
11. Кл. Долгий	5,0	0,012	0,002	-	0,023	0,011	0,067	17,100	0,011	0,031	<ПО	1,820	5,800	1,020	
12. Дренажный сток 1-го хв.	5,0	3,160	0,022	-	0,623	0,027	139,000	8,740	9,630	0,216	0,089	1,390	103,000	25,200	
13. Шламовые воды 3-го хв.	5,5	9,350	0,051	-	0,165	0,025	14,400	14,500	1,210	0,515	0,904	0,786	49,000	10,100	
14. Рудничные воды м. Перевального	5,5	77,500	0,514	-	0,085	0,011	71,400	0,286	1,890	36,600	1,320	0,550	35,600	11,200	
Комсомольский район, 2004 г.															
15. Рудничные воды м. Фестивального	4,0	24,970	0,133	-	0,554	<ПО	14,800	20,800	17,50	153,000	0,002	0,089	143,000	30,800	
16. Дренажные воды 2-го хв.	5,0	0,141	<ПО	-	0,191	<ПО	0,612	0,857	0,351	0,297	<ПО	0,247	51,200	4,510	
17. Шламовые воды 3-го хв.	5,5	0,076	0,001	0,187	0,256	0,0336	<ПО	2,450	0,083	0,004	<ПО	-	89,100	10,600	
18. Рудничные воды м. Перевального	5,0	60,100	0,349	0,187	0,111	0,0003	32,200	12,100	2,830	48,300	1,200	-	40,300	11,300	

Примечание. Прочерк — элемент не определялся, хв. — хвостохранилище; литературные данные: * — Markert, Fresenius, 1994; Иванов, 1994; ** — Борисова, Еплатьевский, 1992; содержание элементов ниже их предела определения (ПО): В — 0,01; Cd — 0,001; Pb — 0,015; Cu — 0,0015; содержание As в рудничных и шламовых водах хвостохранилища Кавалеровского района (по данным 2003 г.) изменяется от 0,02 до 0,60, а его кларк равен 0,002.

рудников Урала, а также с данными автора по Дальнегорскому району. Поскольку на изученных месторождениях Кавалеровского района Cu, Pb и Zn имеют промышленные содержания, а в Комсомольском районе они добываются попутно, то такое сравнение вполне уместно. Рудничные воды олово-полиметаллического месторождения Перевального Комсомольского района (табл. 6, строка 14, рН 5,5) содержат в 2-40 раз больше токсичных элементов, чем более кислые (рН~3,5) рудничные воды полиметаллических месторождений Приморья (Елпатьевский, 1992), и в тысячи раз больше, чем воды Pb-Zn рудопроявлений Урала с близким значением рН (Плотников и др., 1957). Содержание Cu, Pb и Zn в рудничных водах полиметаллических месторождений Урала близки к таковым для оловорудных, обогащенных галенитом и сфалеритом, если величины рН этих вод совпадают. Содержание Pb выше в шламовых водах Комсомольского района в 10 раз и в рудничных — в 2, а Zn — 10-100 раз, чем в Дальнегорских гидрохимических пробах (данные автора).

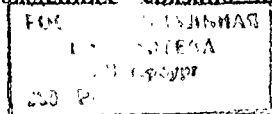
Результаты автора близки к литературным данным (Киселева, 1970; Киселева и др., 1979; Колотов и др., 1979), где показано, что содержания Cu, Pb, Zn, Mn превышают фоновые в 15-40 раз, причем длина потока рассеяния достигает 1,5 км. Н.И. Грехнев (1998) отмечает, что поверхностные воды, дренирующие горнорудные районы юга Дальнего Востока, характеризуются высоким природным геохимическим фоном и отражают в общих чертах химический состав руд разрабатываемых месторождений. Характерной особенностью водных потоков являются кислая среда (рН 4-6), высокая мутность и суммарная минерализация. Расчет объемов солей наиболее распространенных металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe) в выбросах промышленных вод рудников Солнечного ГОКа за 1990 год показал значительные содержания в виде суммарного выноса с месторождений и хвостохранилищ (т/г): Солнечное — 229, Перевальное и Придорожное — около 38, Фестивальное — 68, а суммарное — 368 (Остапчук, Грехнев, 1995).

В работе на основании экспериментальных данных по окислению сульфидов и изучения химического состава гипергенных минералов, моно- и полиминеральных техногенных образований показано, что из техногенной системы рудничными водами выносятся: Cu, Zn, Pb, Fe, Mn, Al, Mg, Ca, S, As, P и Si. Следовательно, гипергенные и техногенные минералы являются качественным и количественным показателями химического состава рудничных и поровых вод, так как они кристаллизуются из насыщенных — концентрированных растворов. Металлы в них находятся в технологически оптимальной форме. В 1990 г. из такой «жидкой руды» на Фестивальном месторождении было признано рентабельным промышленное извлечение меди. Такие сильно минерализованные воды, вытекая круглосуточно, выносят колоссальные объемы фактически концентрированных растворов в природные

поверхностные и грунтовые воды. Самоизлив происходит как в период отработки месторождений и деятельности горно-обогатительных фабрик, так и после их закрытия на протяжении многих десятилетий, а поэтому не может не сказаться на качестве состава водозабора питьевых вод. Из шахты отработанного Карпучинского месторождения (Средний Урал) больше 20 лет происходит самоизлив «кислой» воды с расходом $20 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\text{pH}=3,4$, содержащей $44 \text{ мг/дм}^3 \text{ Cu}$ и 64 — Zn , а при хранении отходов месторождения медно-никелевых руд Седбери в результате инфильтрации и вымывания хвостов в окружающую среду поступает примерно 41000 кг/год токсичных металлов (Грязнов и др., 1995). Шламовые воды хвостохранилищ Урала (Макаров и др., 2003) с $\text{pH}=3,5-6,3$ характеризуются повышенным содержанием металлов, в частности концентрация Cu в них превышает содержание в речной воде в 670 раз.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что потенциально токсичная нагрузка сточных вод зависит от минерального состава руд, вмещающих пород, гипергенных и техногенных процессов. Зная состав гипергенных и техногенных минералов и величины кислотности-щелочности вод, из которых они кристаллизуются, можно говорить не только о спектре токсичных элементов, но и о их возможных концентрациях, так как кислые рудничные воды содержат значительно больше рудных элементов, чем щелочные. Причем рудничные воды высокосульфидных месторождений, особенно тех, которые подверглись гипергенным и техногенным процессам, выносят значительно больше металлов, чем малосульфидных или не затронутых процессами окисления. Шламовые воды, просачиваясь в грунтовые и родниковые воды, несут в себе не только всю гипергенную и техногенную, но и технологическую (в виде органических соединений) нагрузку этих вод. Содержания токсичных элементов — Cu , Zn , Pb , Cd , Mn и др. — в рудничных, шламовых и дренажных водах оловорудных и оловосульфидных месторождений в большинстве своем значительно выше фоновых характеристик. Разбавление этих вод должно быть произведено в сотни и даже тысячи раз, что практически невозможно. Самоочищение вод происходит медленнее из-за разрушения водных биоценозов, чем поступление загрязненных вод рудничных, дренажных и шламовых. Технология очистки сточных вод горно-обогатительных фабрик заключается в отстаивании вод в прудах-накопителях. Небольшое время пребывания стоков в отстойниках дает возможность только для очищения их от грубых механических примесей, но не позволяет седиментироваться тонкому материалу техногенной взвеси, который обычно на порядок и более металлоносен по сравнению с грубыми частицами пород.

Из выше сказанного следует третье защищаемое положение. Изменение минерального состава руд, хвостов и вмещающих пород на оловорудных месторождениях связано с



интенсивным окислением сульфидов, гипергенезом и техногенезом, что приводит к образованию агрессивной гидрохимической среды и нарушению гидрохимического фона района. К числу токсичных элементов, выносимых за пределы техногенной системы, относятся: 1) халькофильные — Cu, Zn, Pb, Cd, As, Sb, Bi, Ag, S; 2) литофильные — Al, Si, Ca, Mg, Na, K, Li, Ba; 3) сидерофильные — Fe, Mn, Co, Ni, P, C.

В результате самопроизвольного стока техногенных вод в природные водоемы, а также выноса тонкодисперсной составляющей хвостохранилищ происходит загрязнение не только вод, но и донных осадков. Гидрохимические пробы Комсомольского района (Грехнев, 1998), характеризующие аллювиальные воды долины р. Лев. Силинки (водозабор пос. Горный), содержат повышенное количество солей Zn (0,20 мг/л в растворе и 0,17 — во взвеси), Cu (до 1,05) и Fe (до 66) в твердом осадке на фильтре. Увеличение содержания тяжелых металлов — Fe, Mn, Zn и Cu — в сухом веществе взвеси в водах р. Силинки отмечается в более поздних работах другого автора (Чудаева, 2002). Содержание Pb в водах местного стока техно-геосистемы в 2,5 раза выше, чем в фоновых условиях, Al — в 3, а Cu, Zn, Cd, Fe, V, Ti — в 1,5-1,8 (Борисова, Елпатьевский, 1992; Елпатьевский, Луценко, 2000). Содержание металлов в осадках рек Приморского края следующее (мг/л): Fe — 0,9-1, Mn — 0,02-0,15, Zn — 0,007-0,11, Cu — 0,0003-0,008, Pb — 0,005-0,23, Cd — до 0,001. В донных осадках илов дальневосточных рек (Грехнев и др., 1998) содержание ряда элементов достигает (%): Pb — до 1-3, Zn — 3, As — 0,1, Cd — 0,03, Sn — 0,6, что сопоставимо с промышленным содержанием руд. Исследования водотоков рек Силинки и Холдами (Остапчук, Грехнев, 1995) показали, что они имеют критическое загрязнение, особенно в пределах 2 км от самого источника (штолен, хвостохранилищ и др.), причем во взвешенном состоянии переносится до 85% объема элементозагрязнителей. В результате содержание загрязнителей в донных осадках может достигать очень высоких концентраций (%): Pb и Zn — до 3, Sn и As — 0,п, Cd, Bi, Sb — 0,0п. Почвы и донные осадки принимают на себя до 70% общих техногенных нагрузок (Крупская, Саксин, 2002).

В многочисленных публикациях показано, что в пределах техногенных систем происходит накопление и распределение токсичных элементов, как в отдельных органах, так и в организме в целом у червей, моллюсков, рыб, грызунов, птиц и более крупных животных (Barets, 1961; Auling, 1974; Heit, 1979; Морозов, 1983; Мур, Рамамурти, 1987 и т. д.). Широко известны случаи отравления людей Cd (Yosumura et al., 1980) в результате употребления зараженной рыбы и воды, что имело место у жителей префектуры Тояма (Япония), где необработанные стоки рудников сбрасывались в мелкие реки, в результате чего питьевые воды были загрязнены. Повышенные содержания As в питьевых водах привели к многочисленным случаям рака кожи на Тайване (Tseng, 1977).

Исследования, проведенные автором, и анализ литературных данных позволили предложить схему (рис. 6), показывающую воздействие оловорудного производства, гипергенных и техногенных процессов на экосферу (воздух, почву, воду, растения и живые организмы, включая человека). В схеме показано, что любое рудное тело или месторождение, существующее в земной коре, под воздействием естественных агентов выветривания подвергается гипергенным процессам, следствием которых являются гипергенные растворы и их продукты — гипергенные минералы. Все это приводит к созданию естественного геохимического ореола, который является барьером, снижающим воздействие гипергенных процессов и их продуктов на экосферу, а поэтому имеет минимальное воздействие на организм человека.

Отработка месторождений открытым (в виде карьера) и закрытым (штольнями) способами приводит к наличию отвалов некондиционных руд и пустых пород, а переработка руды на горно-обогажительной фабрике — отходов обогащения руд, хвостохранилищ, которые сверху закрыты озерами, состоящими из шламовых вод. В результате этого формируется техногенная система, в которой гипергенные процессы происходят более активно, так как доступ агентов выветривания здесь возрастает, и процессы уже называются техногенными, хотя их суть и химическая природа не меняются. Техногенные системы в большинстве случаев имеют не просто большие, а гигантские размеры, распространяясь на площади до нескольких десятков гектаров, и содержат десятки млн. т хвостов и некондиционных руд. Следовательно, масштаб техногенных процессов значительно больше, а скорости выше, чем гипергенных, что приводит к уничтожению почвенного, растительного покрова и к нарушению экологического равновесия в природе. Попадая в атмосферу, почву или водоемы, загрязнители не остаются на месте, а включаются в природный круговорот веществ и удаляются очень медленно при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции. Период полуудаления (или удаление половины от начальной концентрации) элементов следующий: для Zn — 70-510 лет, Cd — 13-110, Cu — 310-1500 и Pb — 740-5900 (Потапов, Потапов, 2004). Скорость самоочищения природных систем значительно ниже, чем их загрязнение, что не позволяет экосистеме вернуться к первоначальному состоянию.

ГЛАВА 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОЛОВОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

При формировании здоровья индивидуума и популяции среда обитания играет большую роль. На конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.) Россия была названа в группе



Рис. 6. Схема гипергенных и техногенных процессов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока

самых загрязненных в экологическом отношении стран на планете, что, несомненно, сказывается на здоровье ее населения (Доклад конференции ООН..., 1992). Всемирной организацией здравоохранения установлено, что здоровье населения зависит (в %): от образа жизни — 50, качества окружающей среды — 20, наследственных особенностей — 20 и развития здравоохранения — 10 (Энциклопедия для..., 2001).

Общеизвестно, что рудные элементы (Sn, Cu, Pb, Zn, As, In, Cd и др.) токсичны (Бондарев, 1976; Вредные вещества..., 1977) и вызывают тяжелые заболевания у людей (табл. 7). Концентрация даже очень необходимых и полезных элементов (Cu, Zn, Ag и т. д.) для нормальной жизнедеятельности организмов не должна превышать пороговые, выше которых элемент становится токсичным, а ниже — в организме возникают патологические изменения, обусловленные недостатком данного элемента.

Непосредственный контакт людей, задействованных в работе горнопромышленного комплекса, с рудой, а населения, проживающего в таких районах, с отходами оловорудной промышленности — техногенными системами, через трофические цепочки, приводит к накоплению в человеческом организме токсичных элементов и совместно

с социальными проблемами способствует росту заболеваемости населения оловорудных районов. Влияние социальных проблем на здоровье людей автором не отвергается, но в данной работе этот аспект не рассматривается.

Большая часть территории Кавалеровского района (рис. 7) по показателям почв и донных осадков имеет умеренно опасный и опасный экологические уровни (Бураго, Шлыков, 1997), а Комсомольский район (рис. 8) по состоянию воздушного и водного бассейнов относится к площадям с критической и катастрофической экологической обстановкой (Мирзаханова и др., 2003). Рядом исследователей (Кику и др., 1996, 1997; Иванов, 1998) было проведено районирование территории Приморского края с использованием кластерного анализа, балльной оценки и шкалы сигмального отклонения, что позволило объединить населенные пункты и районы края в 5 групп в соответствии с экологической ситуацией, а к 6-й группе отнесены относительно благоприятные районы. Кавалеровский район (60,36 балла) характеризуется напряженной экологической ситуацией, относится к 3-й группе и является территорией медико-экологического неблагополучия.

В настоящей главе проведен анализ статистических данных заболеваемости (1991-2001 гг.) детского и взрослого населения исследуемых районов, а каких-либо специальных медицинских

Таблица 7

**Характеристика токсичности некоторых элементов руд
(Вредные вещества..., 1977; Иванов, 1995-1997)**

Элемент	Заболевания, которые вызывает данный элемент
Fe	Разновидности пневмокониоза, бронхиты, сухой плеврит
S	Общая высокая токсичность
Sn	Болезни органов пищеварения и поджелудочной железы, язва желудка и двенадцатиперстной кишки, гастрит, дуоденит, психические расстройства, бронхит
Zn	Желудочно-кишечные расстройства, ОРЗ, карнес зубов, заболевания крови
Cu	Желудочно-кишечные заболевания, расстройства нервной системы, нарушение функций почек
Pb	Легочные заболевания и изменения в нервной системе, крови и сосудах, заболевания кожи
As	Заболевания нервной системы, печени, почек, кишечника, сердца, кожи
Sb	Нарушение обмена веществ, функциональные расстройства нервной системы
Cd	Заболевания сердечно-сосудистые, желудочно-кишечные, печени, почек, ОРЗ
Se	Поражение печени, почек, расстройства нервной системы, воспаление суставов
Ga	Изменения в желудочно-кишечном тракте и кровеносных сосудах
In	Боли в суставах и костях, нарушение белкового обмена и функций нервной системы
Al	Общая высокая токсичность

исследований не проводилось. Данные по заболеваемости населения были собраны в районных больницах и Медико-статистическом центре г. Владивостока. Заболеваемость рассматривается во взаимосвязи с изменением численности населения и характеризуется интенсивным показателем или уровнем заболеваемости, который рассчитывается по следующей формуле (где n — 1000, 10000 или 100000 человек):

$$\% = \frac{\text{число зарегистрированных заболевших } x \text{ и чел.}}{\text{численность населения за год}}$$

Сравнительный анализ данных проведен по 24 видам заболеваний — заболевания органов пищеварения и дыхания, поджелудочной железы, крови и кровеносных органов, хронический бронхит, аллергический ринит, нарушение обмена веществ, хронические ревматические болезни сердца и др. С целью наглядности изменения показателя интенсивности за рассматриваемый период времени было проанализировано около 150 графиков (табл. 8). Проведено сравнение показателей интенсивности заболеваемости взрослого и детского населения Комсомольского и Кавалеровского оловорудных районов с соответствующими показателями по Приморскому краю в целом. Проведенный анализ числа зарегистрированных больных, с учетом численности населения в исследуемых районах, выявил следующую картину. К наиболее распространенным заболеваниям в оловорудных районах относятся (в %): болезни органов пищеварения, которыми болеет в Комсомольском районе до 20 детей и взрослых, а в Кавалеровском — соответственно до 70 и 40; органов дыхания — в Комсомольском районе до 70 детей и 20 взрослых, а в Кавалеровском — до 60 детей и 20 взрослых и болезни нервной системы — до 17 детей и 10 взрослых в обоих районах.

Кроме того, на основании числа зарегистрированных больных, без учета численности населения, проанализировано 37 диаграмм (рис. 9) ежегодной заболеваемости детского и взрослого населения Комсомольского и Кавалеровского районов. Диаграммы рассчитывались в процентном соотношении от общего числа зарегистрированных больных к конкретному виду заболеваемости. На этих диаграммах показаны в процентах наиболее распространенные заболевания органов пищеварения и дыхания, болезни кожи и подкожной клетчатки, нервной системы, психические расстройства, а все остальные — входят в категорию прочие заболевания. Болезни органов пищеварения в Кавалеровском районе находятся на высоком уровне и составляют в процентах у взрослых практически постоянно 37-44, а у детей — 29-46, исключая 1993 г., когда значения были немного ниже — 31 и 15 соответственно. В Комсомольском районе это заболевание имеет меньший уровень — у взрослых 10-22, а у детей 6-17. Болезни органов дыхания — это также широко распространенные заболевания в исследуемых районах. Здесь

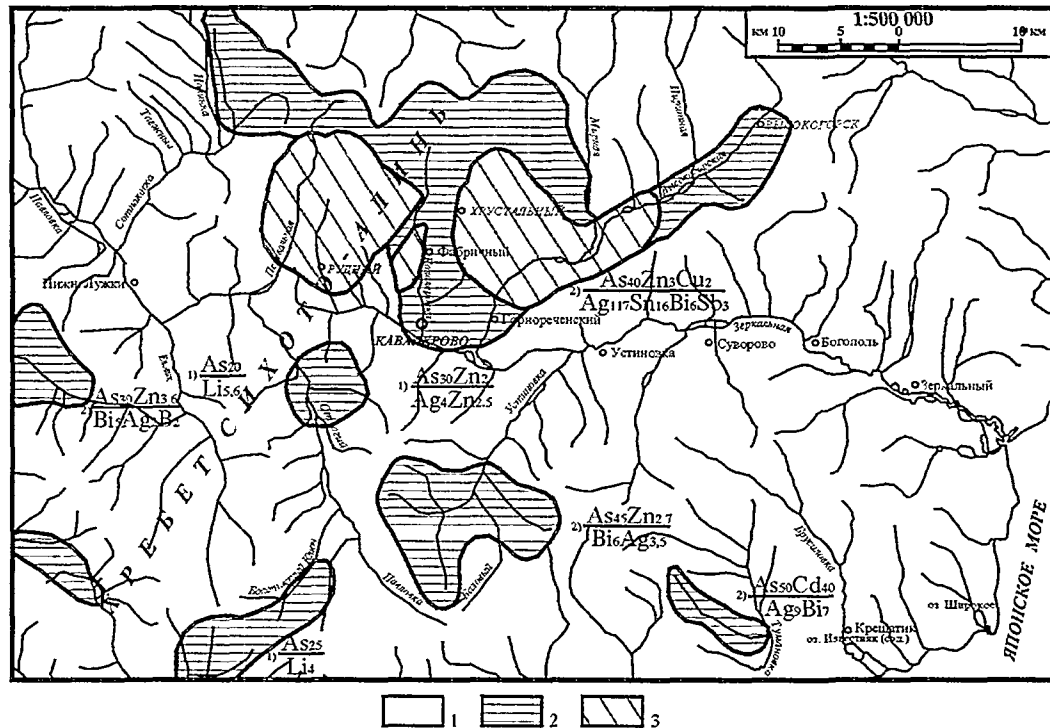


Рис. 7. Геоэкологическая схема Кавалеровского района (по данным А.И. Бураго, С.А. Шлыкова, 1997).

1-3 - уровень опасности (по почвам и донным осадкам): 1 - допустимый, 2 - умеренный, 3 - опасный. Состав загрязнителей природно-геологической среды по компонентам: 1) в почвах, 2) в донных осадках - 1) $\frac{As_{20}}{Li_{14}}$, 2) $\frac{As_{40}Zn_{13}Cu_2}{Ag_{117}Sn_{16}Bi_6Sb_3}$. Цифровыми индексами при символах химических элементов указаны их средние концентрации: числитель - в единицах ПДК, ОДК; знаменатель - в геофонах региона.

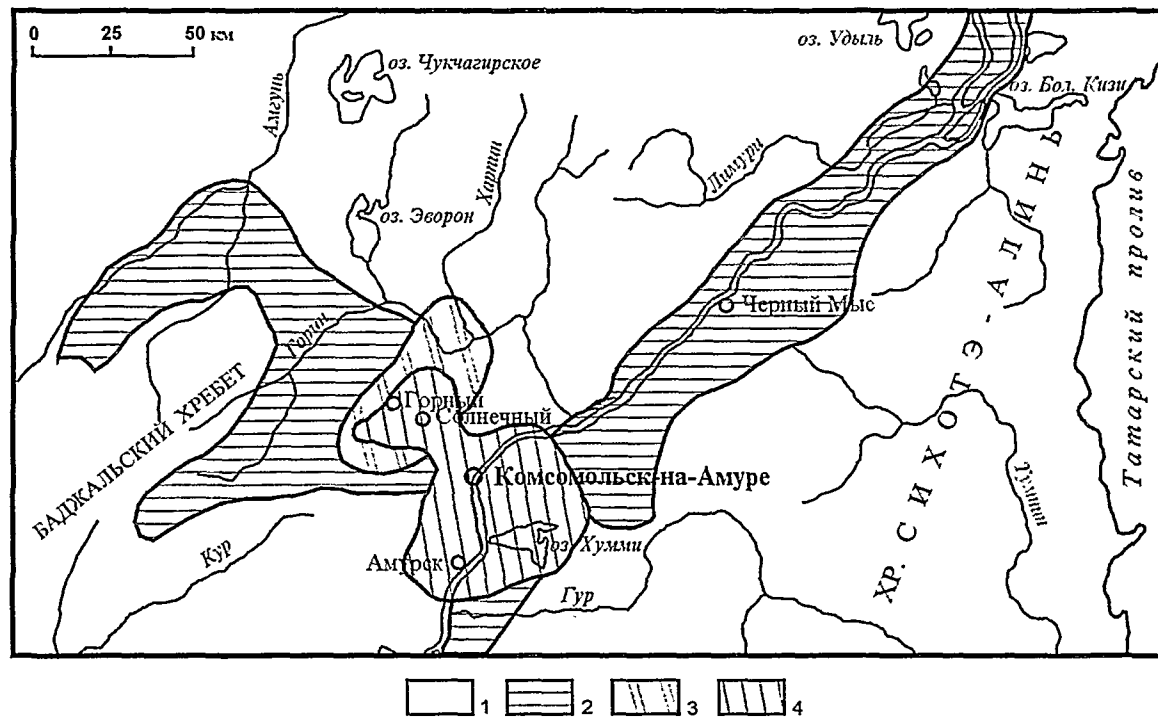
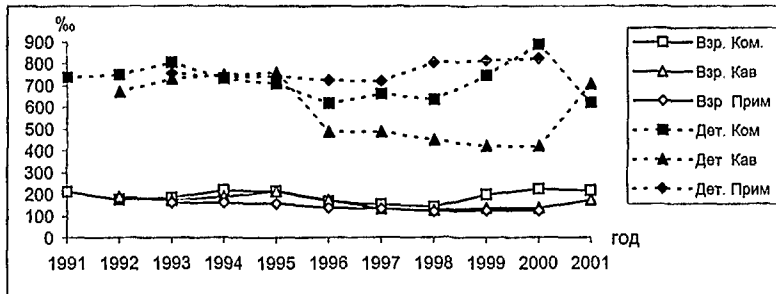


Рис. 8. Геоэкологическая схема Комсомольского района и прилегающих территорий (по данным З.Г. Мирзехановой, И.Д. Дебелой, В.А. Булгакова, 2003).
 1-4 - экологическая ситуация (по показателям водного и воздушного бассейнов):
 1 - удовлетворительная, 2 - напряженная, 3 - критическая, 4 - катастрофическая.

Таблица 8. Болезни органов дыхания

Год	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Заболееваемость:											
Взр. Ком.	211,5	176,4	183,6	218,4	214,7	168,1	152,0	141,4	198,2	224,1	217,6
Взр. Кав.		189,8	172,6	189,1	215,0	173,5	133,2	126,1	136,4	136,4	172,6
Взр. Прим.			160,7	161,5	157,6	137,7	132,8	120,4	124,0	124,0	124,3
Дет. Ком.	738,5	751,0	805,7	733,0	709,9	618,6	662,6	635,4	746,1	889,7	621,3
Дет. Кав.		672,8	731,0	749,1	760,7	488,6	488,6	449,8	422,2	422,2	707,2
Дет. Прим.			756,9	740,4	743,8	725,6	721,6	806,1	815,5	825,1	



Примечание: пустая ячейка в таблице - данные в Медико-статистическом

центре отсутствуют;

Взр. Ком., Дет. Ком. - заболеваемость взрослого и детского населения Комсомольского района (г. Солнечный, пос. Горный и др.);

Взр. Кав., Дет. Кав. - заболеваемость взрослого и детского населения Кавалеровского района (пос. Кавалерово, Фабричный и др.);

Взр. Прим., Дет. Прим. - заболеваемость взрослого и детского населения Приморского края.

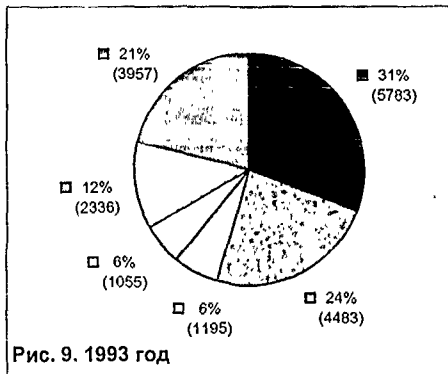


Рис. 9. 1993 год

Примечание:

- - болезни органов пищеварения;
 - ▣ - болезни органов дыхания;
 - ▢ - болезни нервной системы;
 - ▤ - болезни кожи и подкожной клетчатки;
 - ▥ - психические расстройства;
 - ▧ - прочие (болезни эндокринной системы, расстройства питания и иммунитета; крови, системы кровообращения, ВПР).
- В скобках - число зарегистрированных больных.

картина иная — в Кавалеровском районе процент заболеваемости ниже у взрослых (14-24) и у детей (30-64), чем в Комсомольском (35-50 и 59-67 соответственно). Болезни нервной системы проявляются в данных районах примерно на одном уровне: в Кавалеровском районе у взрослых 6-13 и у детей 7-12, за исключением 1999-2000 г. (2-3), а в Комсомольском — 5-17 и 6-10 соответственно, за исключением 2000-2001 г. у детей (4-5). Психические расстройства у взрослых составляют в Кавалеровском районе 7-12, а в Комсомольском — немного меньше, 5-9. Болезни кожи и подкожной клетчатки имеют следующие показатели: в Кавалеровском районе у взрослых 3-5 и у детей 4-8, а в Комсомольском — соответственно 4-13 и 4-14. Прочие заболевания составляют примерно равные проценты: в Кавалеровском районе у взрослых 12-21, у детей 6-14, а Комсомольском — соответственно 11-22 и 7-14.

Проведенный анализ заболеваемости населения Дальнего Востока позволил сделать следующие выводы. Уровень детской заболеваемости населения в исследуемых районах за рассматриваемый период времени практически для всех болезней значительно превышает уровень взрослой. Интенсивные коэффициенты заболеваемости в Кавалеровском районе выше, чем в Комсомольском и значительно выше или находятся на уровне данных по Приморскому краю. Величина интенсивного коэффициента заболеваемости детского и взрослого населения (1991-2001 г.) для большинства рассмотренных болезней имеет некоторый рост, как в исследуемых районах, так и на Дальнем Востоке в целом.

ГЛАВА 7. МЕРОПРИЯТИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ОЛОВОРУДНЫХ РАЙОНОВ

Анализ работы горнопромышленных комплексов и созданных техногенных систем, которые способствуют распространению токсичных элементов в природных составляющих, показывает, что в таких районах необходимо до начала разработки месторождения проводить оценку геоэкологического воздействия будущего горнорудного комплекса. Раздел «Охрана окружающей среды» должен стать неотъемлемой частью всех стадий геолого-экономической оценки месторождения, чтобы получить достоверную информацию и провести правильную оценку воздействия будущего горнорудного комплекса на окружающую среду и здоровье людей, проживающих в таких районах. Следовательно, после проведения поисково-оценочных работ при определении экономической целесообразности разработки месторождения, в отчетах должна содержаться необходимая информация по экологической допустимости создаваемого горнорудного предприятия. На этапе проектирования горнодобывающих и перерабатывающих предприятий следует оценить количество солей металлов и потенциальную кислотность извлекаемых из

недр и перемещаемых в отвалы «пустых пород» и отходов руд, складываемых в шламохранилищах, что позволит предусмотреть необходимую мощность и емкость техногенных геохимических барьеров, способных перехватывать поток выносимых компонентов. При оценке экономичности способов разработки месторождения (открытой или подземной) необходимо учитывать и затраты на нейтрализацию их токсического воздействия на окружающую среду.

Горнорудная промышленность должна использовать шламовые воды по замкнутому циклу, по возможности уменьшать концентрации используемых органических соединений и применять менее токсичные из них. Отстойники должны иметь емкость, обеспечивающую достаточное время для седиментации подавляющей части взвешенного материала, и быть оборудованы приспособлениями для очистки накапливающихся отходов. Необходимо использовать технологии с максимальным комплексным извлечением рудных элементов.

Отходы горнорудного производства важно хранить грамотно, и своевременно осуществлять их утилизацию. Самопроизвольными процессами миграции солей металлов с потоками, вытекающими из техногенных тел, можно управлять, для этого необходимо знать основные закономерности процессов окисления, растворения и переноса. Проведение соответствующих рекультивационных работ, в условиях повышенной антропогенной нагрузки, позволяет нейтрализовать негативные явления (Blowes, Jamber, 1991; Бортникова, 2001; Кораблев, 2002; Луговская и др., 2003 и т. д.). Дешевым техническим средством, предотвращающим вынос металлов с дренажным стоком, является создание искусственных геохимических барьеров из карбонатных пород в виде фильтрующих дамб, углубленных в рыхлые отложения для перехвата поверхностного стока и подземного дренажа, приуроченных к тальвегам низкопорядковых водотоков, обычно занимаемых под отвалы и шламохранилища. Использование экран-барьера, состоящего из глин, а в качестве среднего слоя применяется смесь торфа и пиритных огарков, и обеспечивающего защиту подземных вод во время всего срока эксплуатации шламохранилищ, что автоматически будет формировать новые рудные тела. Возможна реализация геохимического потенциала рудничных вод к самоочищению, заложенная в них присутствием металлов с переменной валентностью. Усиление аэрации стоков путем создания каскада с широкими сливами позволит интенсифицировать процесс окисления закисного железа и, как следствие, сорбционное извлечение из растворов рудных элементов с помощью взвеси и осадков гидроксидов железа.

Заслуживает внимания использование микробиологических методов. Для переработки сульфид- и сульфатсодержащих отвалов используют *Thiobacillus thiooper*, *Thisphaera pantotropha*, *T. Denitrifians*,

Thiobacillus ferrooxidans и др. (Королев и др., 1997; Яхонтова, Зверева, 2000). С деятельностью микроорганизмов связывается и окисление марганца в природных средах с рН ниже 9. Для трансформации металлов из вод шламовых озер возможно использование водорослей и растений.

Геоэкологический подход к использованию полезных ископаемых диктует необходимость пересмотра всей стратегии их добычи, а также более полного и рационального извлечения с последующей комплексной переработкой и утилизацией всех извлекаемых компонентов с помощью усовершенствованных технологий (Крупская, Саксин, 2002). В настоящее время необходимо сокращать объемы хвостохранилищ до минимальных размеров, за счет более полного извлечения широкого спектра токсичных элементов в результате повторной переработки хвостов с помощью новейших технологий (Резниченко и др., 1988; Мельниченко, 2002; Смолдырев, 2002). Далее отходы следует складировать во вновь создаваемые хранилища, с подготовленным искусственным геохимическим барьером, в исследуемых районах карбонатным, учитывая величины рН поровых растворов. Затем шламовые озера необходимо осушить, а хвосты закрыть сверху слоем почвы и засадить растительностью, что прекратит загрязнение атмосферы.

Следовательно, нарушение экологического равновесия в природе — накопление токсичных элементов в воздухе, почве, растительности, воде и живых организмах является следствием гипергенных и техногенных процессов (4-е защищаемое положение). Только знание закономерностей формирования техногенной системы и процессов, в ней происходящих, позволит управлять ими с помощью различных методов рекультивации земель, совершенствования технологий переработки отходов и самой добычи руд.

В работе также предложен ряд мероприятий по оздоровлению населения. Проведение санитарно-технических, оздоровительных, лечебно-профилактических, рекультивационных и др. мероприятий улучшит здоровье населения и экологическую обстановку в исследуемых районах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Гипергенные процессы и минералы определяют экологическое состояние территории горнорудного района. Наиболее интенсивно они проявлены на олово-полиметаллических и медно-оловянных месторождениях по сравнению с существенно оловянными (касситеритовыми). В результате этих процессов из зоны гипергенеза выносятся главным образом Sn, Zn, Cu, Pb, Fe, As и S.

2. В зоне гипергенеза и техногенной системе медь и свинец помимо концентрированных форм — собственных минералов — характеризуются рассеянным состоянием, а олово и цинк, обладая высокой подвижностью, практически полностью выносятся.

3. Индикатором экологического состояния горнопромышленной техногенной системы и стадии ее развития являются минеральный состав и ассоциации гипергенных и техногенных минералов и элементов. Начальная стадия характеризуется кристаллизацией водных сульфатов — гипса, халькантита, роценита и др., средняя — массовым образованием гидроксилсодержащих сульфатов — брошантита, познякита, глоккерита и др., а конечная — появлением минералов других классов — питтицита, аллофана, скородита и др. При постоянном выносе Fe, Al и S, на начальной стадии из техногенной системы выносятся главным образом Mg и Ca, на средней — Cu, Zn и Pb, а конечной — Cu, As, P и Si.

4. В техногенной системе нагрузка сточных вод токсичными элементами зависит от минерального состава руд и вмещающих пород, интенсивности гипергенных и техногенных процессов, а также химического состава этих продуктов. Кислые рудничные воды выносят в природные воды больше токсичных элементов, чем щелочные.

5. Изменение минерального состава руд, хвостов и вмещающих оруденение пород на оловорудных месторождениях связано с интенсивным окислением сульфидов, гипергенезом и техногенезом, что приводит к образованию агрессивной гидрохимической среды и нарушению гидрохимического фона района. К числу токсичных элементов, выносимых за пределы техногенной системы, относятся: 1) халькофильные — Cu, Zn, Pb, Cd, As, Sb, Bi, Ag, S; 2) литофильные — Al, Si, Ca, Mg, Na, K, Li, Ba; 3) сидерофильные — Fe, Mn, Co, Ni, P, C.

6. На основании проведенных исследований и анализа литературных данных, предложена схема воздействия гипергенных и техногенных процессов, происходящих на оловорудных месторождениях Дальнего Востока, показывающая влияние горнопромышленного комплекса на природные составляющие и живые организмы, включая человека.

7. Нарушение экологического равновесия в природе — накопление токсичных элементов в воздухе, почве, растительности, воде и живых организмах — является следствием гипергенных и техногенных процессов. Знание закономерностей формирования техногенной системы и процессов, в ней происходящих, позволит управлять ими с помощью различных методов рекультивации земель, совершенствования технологий переработки отходов и самой добычи руд.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Постникова (Зверева) В.П. Ламыкин Е.В. Минеральные формы и элементы-примеси гидроокислов железа оловорудных зон Комсомольского района // Минерагения олова. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 163-170.

2. Постникова В.П. Об адсорбционных свойствах гидрата окиси железа // Минералогические исследования на ДВ. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 101-103.

3. Постникова В.П., Чудаев О.В., Нарнов Г.А. Тосудит Комсомольского района // Геология, магматизм и рудогенез зоны перехода от континента к океану. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 174-176.

4. Яхонтова Л.К., Нестерович Л.Г., Грудев А.П., Постникова В.П. Новые данные об окислении галенита и сфалерита // Докл. АН СССР. 1980. Т. 250, № 3. С. 718-721.

5. Яхонтова Л.К., Нестерович Л.Г., Постникова В.П., Лебедев В.Л. Электрохимический механизм окисления сульфидов месторождения Фестивального // Минералы — индикаторы петрогенезиса. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 161-167.

6. Яхонтова Л.К., Постникова В.П., Сидоренко Г.А., Власова Е.В. О медьсодержащих монтмориллонитовых минералах ряда сапонит-нонтронит // Минерал. журн. 1980. Т. 2, № 5. С. 80-84.

7. Яхонтова Л.К., Нестерович Л.Г., Постникова В.П. Электрохимическое исследование окисления станнина // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1981. № 5. С. 49-52.

8. Яхонтова Л.К., Постникова В.П., Власова Е.В., Сергеева Н.Е. Новые данные о позняките, серпиерите и вудвардите // Докл. АН СССР. 1981. Т. 256, № 5. С. 1221-1226.

9. Постникова В.П. Первая находка ктенасита и роуволфита в Советском Союзе // Магматизм и металлогения Дальнего Востока. Научно-практическая конференция на Дальнем Востоке. Владивосток, 1982. С.112.

10. Постникова В.П., Яхонтова Л.К. Минералогия зоны гипергенеза оловорудных месторождений Комсомольского района. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. 122 с.

11. Яхонтова Л.К., Постникова В.П., Сергеева Н.Е., Юдин Р.Н. Новые данные о редких сульфатах меди // Вестн. МГУ. 1984. Сер. 4. № 3. С. 41-46.

12. Постникова В.П., Цыпурский С.И., Сидоренко Г.А., Мохов А.Г. Яхонтовит — новый медьсодержащий смектит // Минерал. журн. 1986. Т. 8, № 6. С. 80-84.

13. Постникова В.П. Редкие гидроксиды марганца из Белогорского месторождения // Минерал. журн. 1987. Т. 9, № 2. С. 81-84.

14. Постникова В.П. Минералы зоны гипергенеза как поисковый критерий оловорудных месторождений // Минералогия — народному хозяйству. VII съезд Всесоюзного минералогического общества. Л.: Наука, 1987. С. 67.

15. Постникова В.П. Концентрации рудных элементов в минералах зоны гипергенеза как поисковый критерий оловорудных

- месторождений // Минералогия месторождений Дальнего Востока. Владивосток, 1988. С. 110-122.
16. **Постникова В.П., Яхонтова Л.К.** Глоккерит, гизингерит и питтцит из зоны гипергенеза оловорудных месторождений Дальнего Востока. // Минерал. журн. 1990. Т.12, № 1. С. 63-66.
17. **Постникова В.П., Яхонтова Л.К.** Ассоциации элементов в гидроксидах железа как поисковый критерий оловорудных месторождений олова и вольфрама на Дальнем Востоке // Минеральные ассоциации месторождений олова на Дальнем Востоке. Владивосток, 1990. С. 67-71.
18. **Постникова В.П.** Морфология и минералогия зоны гипергенеза оловорудных месторождений Кавалеровского района (Приморье) // Минералого-геохимические индикаторы рудоносности и петрогенезиса. Владивосток, 1996. С. 142-158.
19. **Постникова В.П., Баринов Н.Н.** Медистый фосфат-арсенат алюминия из зоны гипергенеза Фестивального месторождения // Минералого-геохимические индикаторы рудоносности и петрогенезиса. Владивосток, 1996. С. 158-161.
20. **Постникова В.П.** Продукты техногенеза оловорудных месторождений как индикатор экологической обстановки // Важнейшие промышленные типы россыпей и месторождений кор выветривания, технология оценки и освоения. XI Международное совещание по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. Москва, 1997. С. 94.
21. **Постникова В.П.** Экологическая минералогия оловорудных месторождений Дальнего Востока — состояние и перспективы // Проблемы экологической минералогии и геохимии. Годичное собрание минералогического об-ва РАН. Санкт-Петербург, 1997. С. 64.
22. **Зверева В.П.** Техногенная минерализация зоны гипергенеза оловорудных месторождений // Новые данные по магматизму и металлогении Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 145-154.
23. **Зверева В.П.** Пороки системы разработки руд и их экологические последствия // Вестник ДВО. 1999. № 2. С. 24-32.
24. **Зверева В.П.** Экологические последствия техногенеза на оловорудных месторождениях Дальнего Востока // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 263-274.
25. **Зверева В.П.** Техногенное минералообразование в зоне гипергенеза оловорудных месторождений // XII Международное совещание по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. Москва, 2000. С. 142-143.
26. **Зверева В.П.** Экологические последствия гипергенеза и техногенеза на оловорудных месторождениях // Геология и горное дело в Приморье в прошлом, настоящем и будущем. Конференция, посвященная

00-летию Приказа рудокопных дел и 50-летию геологической службы Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 29-31.

27. Яхонтова Л.К., Зверева В.П. Основы минералогии гипергенеза. Владивосток: Дальнаука, 2000. 331 с.

28. Зверева В.П. Морфология и минералогия зоны гипергенеза полиметаллических месторождений Дальнегорского рудного района (Приморье) // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2001. Вып. 2, ч. 1. С. 180-190.

29. Ханчук А.И., Зверева В.П., Кравченко О.Н., Строева И.А. Эксплуатация угольных электростанций и ее последствия (на примере ТЭЦ-2 г. Владивостока) // Вестник ДВО. 2002. № 4. С. 104-111.

30. Зверева В.П. Гипергенные (техногенные) минералы — показатель экологической обстановки оловорудных районов Дальнего Востока // Роль минералогических исследований в решении экологических проблем. Годичное собрание ВМО. Москва, 2002. С. 60-63.

31. Зверева В.П., Кравченко О.Н. Техногенное воздействие горнопромышленного комплекса и его экологические последствия (Дальнегорский район, Приморье) // IV научный семинар «Минералогия техногенеза — 2003». Российская АН, Уральское отделение. Миасс, 2003. С. 115-221.

32. Зверева В.П., Строева И.А. Экологические последствия техногенеза в Кавалеровском оловорудном районе // Оценка и управление природными рисками. Материалы Всероссийской конференции «Риск — 2003». М.: Изд-во Российск. ун-та дружбы народов, 2003. Т. 2. С. 194-198.

33. Зверева В.П., Кравченко О.Н. Техногенные системы оловорудных месторождений Дальнего Востока России и способы их рекультивации // Вестник ДВО. 2003. № 3. С. 78-88.

34. Зверева В.П. Техногенные системы оловорудных месторождений Дальнего Востока, их рудничные и шламовые воды // V научный семинар «Минералогия техногенеза — 2004». Российская АН, Уральское отделение. Миасс, 2004. С. 153-164.

35. Зверева В.П. Экологические последствия формирования золоотвалов ТЭЦ // Геоэкология. 2005. № 1. С. 30-34.

36. Зверева В.П. Экологические аспекты техногенных систем оловорудных месторождений Дальнего Востока // VI научный семинар «Минералогия техногенеза — 2005». Российская АН, Уральское отделение. Миасс, 2005. С. 265-274.

37. Зверева В.П., Афанасьева Т.Б., Баринов Н.Н. и др. Техногенные сульфаты оловорудных месторождений Дальнего Востока // Записки Российского минералогического общества. 2005. № 4. С. 101-104.

Валентина Павловна ЗВЕРЕВА

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ
ГИПЕРГЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
НА ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Автореферат

Изд. лиц. ИД № 05497 от 01.08.2001 г. Подписано к печати 22.09.2005 г.
Формат 60x84/16. Печать офсетная.
Усл. п. л. 3,0. Уч.-изд.л. 2,81. Тираж 100 экз. Заказ 150

Отпечатано в типографии ФГУП Издательство «Дальнаука» ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7

РНБ Русский фонд

2007-4

9630



28 ФЕВ 2007