

РГБ ОА

20 НОЯ 2000

На правах рукописи



ГУБИНА Татьяна Александровна

**МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ
БАСЕЙНА РЕКИ БЕЗЫМЯННОЙ
(АРХИПЕЛАГ НОВАЯ ЗЕМЛЯ)**

*Специальность 04.00.20 - минералогия,
кристаллография*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

**Санкт-Петербург
2000**

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном горном институте имени Г.В.Плеханова (техническом университете).

Научный руководитель:

**доктор геолого-минералогических наук, профессор
*Ю.Б.Марин***

Официальные оппоненты:

**доктор геолого-минералогических наук, профессор
*Ю.В.Лир***

**кандидат геолого-минералогических наук, старший
научный сотрудник *С.В.Петров***


***Ведущее предприятие:* Всероссийский научно-исследовательский институт «Океангеология», Санкт-Петербург.**

Защита диссертации состоится «23» июня 2000 г. в 15 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д 063.15.04 при Санкт-Петербургском государственном горном институте имени Г.В.Плеханова (техническом университете) по адресу: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. 1206.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного горного института.

Автореферат разослан «23» мая 2000 года.

**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета
доктор геол.-минер. наук,
доцент**

**М.А.ИВАНОВ**
29 (2 P31-4 Арх-СН, 99 Н03) 457,

Актуальность работы. Архипелаг Новая Земля является новым перспективным металлогеническим регионом европейского северо-запада России и невостребованным до сих пор резервом минерально-сырьевой базы страны. В 1991-92-х годах геологами Полярно-морской ГРЭ на Южном острове архипелага Новая Земля, в нижнем течении р.Безымянной были обнаружены крупные геохимические аномалии, а впоследствии - полиметаллическое месторождение Павловское и несколько рудопроявлений. В результате оценки минеральных ресурсов архипелага, проведенной ПМГРЭ совместно с ВНИИ Океангеология (г.Санкт-Петербург), Безымянский полиметаллический рудный узел определен как один из наиболее масштабных сырьевых объектов Новой Земли, прогнозные ресурсы которого оценены десятками миллионов тонн руды. Однако до сих пор вещественный состав руд изучен слабо, отсутствует сколь-нибудь детальная характеристика главных рудных минералов и изменчивости полиметаллической минерализации, которая позволила бы оценить физико-химические параметры рудообразования, его зональность, формационную принадлежность а, следовательно, и перспективы оруденения.

Цель работы. Целью работы являлось получение минералого-геохимической характеристики полиметаллического оруденения бассейна р.Безымянной.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) изучение изменчивости состава и свойств рудных минералов, последовательности минералообразования и эволюции рудного процесса в пространстве и времени;
- 2) изучение изотопного состава свинца главных рудных минералов;
- 3) оценка перспектив оруденения на основе полученных данных;
- 4) изучение минералогии зоны окисления, поведения основных компонентов и элементов-примесей при замещении главных рудных минералов вторичными и построение модели миграции токсичных металлов в условиях зоны гипергенеза Павловского месторождения.

Фактический материал и методы исследования. Материалом для исследования послужили пробы пород и руд, отобранные ПМГРЭ в 1993-98гг. Поставленные задачи решались с помощью комплекса современных методов минералого-геохимического изучения вещества. В процессе работы были проведены: исследование в образцах, шлифах (ок.150), аншлифах

(ок.200) и протолочках минерального состава и взаимоотношений минералов в рудах и вмещающих породах с описаниями, зарисовками и фотографиями; микронзондовое изучение взаимоотношений минералов, закономерностей распределения элементов-примесей в рудных минералах и перераспределения основных компонентов и элементов-примесей при процессах замещения сфалерита, галенита, пирита, а также состава акцессорных и вторичных минералов; микрорентгеноспектральные определения (30 анализов), профильное сканирование зерен минералов (45 профилей), количественные определения - более 500 э/о; отбор 39 мономинеральных проб мелкой (0,1-0,2мм) фракции пирита, галенита, сфалерита; изучение состава рудных минералов методом количественного спектрального анализа (всего выполнено 417 э/о); изучение рентгеновскими методами политипии и параметра элементарной ячейки сфалерита (28 проб), а также минерального состава зоны гипергенеза (17 проб); исследование изотопного состава свинца рудных минералов (23 пробы); обработка результатов спектрального анализа 5294 проб рыхлых отложений, построение комплекта моноэлементных и полиэлементных геохимических карт, вычисление статистических параметров, проведение факторного, корреляционного анализов содержаний химических элементов; полуколичественный спектральный анализ донных и рыхлых отложений (21 проба); анализ растворенных форм тяжелых металлов в воде (19 проб).

Научная новизна работы. Впервые дана минералогическая характеристика нового полиметаллического узла, расположенного в пределах перспективной металлогенической провинции европейского северо-запада России, которая позволила выявить особенности оруденения как в региональном плане, так и в сравнении с крупными полиметаллическими объектами мира. Изучен изотопный состав свинца, выявлена изменчивость состава и свойств рудных минералов, что позволило проследить эволюцию минералообразования во времени и пространстве. Впервые на Новой Земле обнаружен кимрит, выяснены условия нахождения этого редкого минерала. Выявлены основные тенденции поведения кадмия при замещении сфалерита смитсонитом, а также охарактеризовано поведение тяжелых металлов при окислении руд Павловского месторождения.

Практическая значимость. Работа является частью активно проводимого в настоящее время комплексного геологического изучения Новой Земли. Результаты исследования используются в процессе проведения поисково-оценочных работ на полиметаллических объектах бассейна р.Безымянной, в том числе количественные данные о содержании и форме нахождения кадмия, серебра и других компонентов в рудных минералах при оценке комплексности руд. Разработка модели миграции токсичных элементов в прибрежной зоне архипелага Новая Земля позволит в дальнейшем оценить их влияние на экосистемы Западно-Арктического шельфа, что определит систему природоохранных мероприятий в регионе при проектировании освоения крупного полиметаллического объекта.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований были представлены на научных конференциях студентов и молодых ученых СПбГТИ «Полезные ископаемые России и их освоение»(Санкт-Петербург, 1997-99), на XIII Геологическом съезде Республики Коми «Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: новые результаты и новые перспективы» (Сыктывкар, 1999), в ходе работы Пятой научной студенческой школы «Металлогения древних и современных океанов - 99. Рудоносность гидротермальных систем» (Миасс,1999), на международной конференции «Полезные ископаемые - формирование, прогноз, ресурсы» (Санкт-Петербург, 1999), на IX съезде Минералогического общества «Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века» (Санкт-Петербург, 1999), на II минералогическом семинаре «История и философия минералогии», (Сыктывкар, 1999). Основные результаты диссертационной работы докладывались также на заседаниях кафедры минералогии, кристаллографии, петрографии СПбГТИ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ.

Объем и структура работы. Диссертация имеет объем 178 страниц и состоит из введения, 5 глав и заключения. Содержание иллюстрировано 32 рисунками, 27 таблицами. Список цитированной литературы содержит 136 наименований. В главе 1 дана общая характеристика геологии и минералогии Новой Земли, рассмотрены общие закономерности размещения рудных формаций Вайгач-

Новоземельской структурно-минерагенической зоны. В главе 2 приводятся результаты проведенного автором исследования минералогии эндогенного оруденения. В главе 3 приведены результаты исследования изотопного состава свинца рудных минералов, сделаны выводы относительно физико-химических условий минералообразования, генезиса месторождения, зональности, масштабности и перспектив оруденения. В главе 4 рассматриваются условия гипергенного минералообразования в криолитозоне; построена модель миграции кадмия в системе месторождение-река-море. В главе 5 рассматриваются ландшафтно-геохимические условия миграции химических элементов, а также геохимия рыхлых отложений района месторождения Павловское и донных отложений р.Безымьянная в пределах этого месторождения.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность своим научным руководителям - профессору Ю.Б.Марину и профессору В.В.Гавриленко, а также главному геологу ПМГРЭ А.П.Каленичу за предоставленные материалы и консультации. Полезным было обсуждение отдельных вопросов работы с сотрудниками кафедры МКП СПбГИ В.А.Романовым, И.М.Гайдамако, В.В.Смоленским; а также Г.В.Овчинниковой, Л.К.Левским (ИГГД); сотрудниками СПГГУ Е.А.Ольховой, М.Г.Болдыревой. Большую помощь в работе оказали Б.Г.Ванштейн и М.А.Садиков (ВНИИ Океангеология), А.В.Козлов (каф. МПИ СПбГИ) и многие другие. Аналитические работы выполнены И.М.Гайдамако (СПГИ, микрозондовые исследования), Н.Г.Соколовой (СПГИ, рентгеновские исследования), Л.А.Тимохиной (СПГГУ, спектральный анализ), М.А.Яговкиной (МНТК "Механобр-Аналит", рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ), Ю.Л.Крецером и Н.С.Рудашевским (МНТК "Механобр-Аналит", микрозондовые исследования), И.М.Васильевой (ИГГД, изотопные исследования). Всем им автор выражает свою искреннюю признательность и благодарность за содействие и доброжелательное отношение.

Работа проводилась при финансовой поддержке правительства Санкт-Петербурга (грант "Кандидатский проект" за 1998 и 1999 гг.), РФФИ и ФКЦ "Интеграция".

Основные результаты исследования сформулированы в виде следующих защищаемых положений:

1. Структурно-текстурные особенности полиметаллического оруденения бассейна р.Безьямной, последовательность образования, вариации состава и соотношений элементов примесей, данные по изотопному составу свинца рудных минералов свидетельствуют о длительном, полихронном и полигенном характере рудного процесса и позволяют предполагать крупные масштабы оруденения.

Полиметаллическая минерализация локализована в осадочных отложениях палеозоя, на участке сочленения одной из наиболее крупных структур Пайхойско-Новоземельской складчатой области - Северноновоземельского антиклинория с сопредельными отрицательными структурами - Баренцевским синклинорием и Кармакульским перегибом, а также в зоне влияния крупных региональных разрывных нарушений - Главного Новоземельского разлома и Байдарацкого глубинного разлома древнего заложения. Интрузивные образования имеют ограниченное распространение и представлены двумя фазами базитового магматизма: силлами и дайками габбро-диабазов позднего девона и субщелочными долеритами мезозоя. Главной продуктивной толщей является грибовская свита органогенных известняков нижнего девона. Рудные тела слагают линзообразные залежи среди известняков и песчаников в сводах и на крыльях антиклинальных структур, а также секущие жилы и тела со сложной морфологией (Каленич, 1996).

Главными рудными минералами являются сфалерит, галенит и пирит, в ряде случаев в качестве акцессорных минералов отмечаются халькопирит, пирротин, миаргирит, пираргирит, буланжерит, геокронит, грейтонит, шульцит. Нерудные минералы представлены кальцитом, доломитом, кварцем. К наиболее специфичным образованиям района относятся углистое вещество и кимрит ($BaAl_2Si_2O_8 \cdot H_2O$). На месторождении проявлена зона окисления сульфидных руд. Полиметаллическая минерализация распространена на обширной территории и проявлена в нескольких объектах разного масштаба. При этом сохраняется постоянство качественного состава руд (пирит, сфалерит, галенит), количественные соотношения рудных минералов различны. Выделяется несколько типов руд: массивные серно-колчеданные

руды (галенит-сфалерит-пиритовые), брекчиевые прожилково-вкрапленные галенит-сфалерит-пиритовые руды, гнездово-вкрапленные кварц-сульфидные руды (галенит-сфалеритовые), а также сфалерит-галенитовые, сфалеритовые, галенит-сфалеритовые и галенитовые. На рис.1 представлена схема расположения месторождений и рудопроявлений и доминирующий минеральный тип руд на каждом участке.



Рис.1 Схема расположения полиметаллических проявлений бассейна р.Безымянной

Размер кружка соответствует масштабу объекта. Сплошная заливка - преимущественно пиритовые, вертикальная штриховка - сфалеритовые, горизонтальная - галенитовые руды

Содержание примесей в рудных минералах в целом невелико. Максимальное значение содержания примесей в пирите 1,7, в сфалерите - 3,9, в галените - 1,0%. Вместе с тем отмечаются вариации состава и количества элементов-примесей рудообразующих сульфидов в рудах разных объектов и внутри отдельных объектов. В частности, увеличивается содержание Ag, Co, Tl в пирите из рудопроявления, локализованном в песчаниках С1m1 по сравнению с пиритом месторождения Павловское; содержание Cd, Fe, Mn, Ga, Ge, Ag, Bi, Sb, Co в сфалерите заметно варьирует в зависимости от типа руд, генерации минерала и положения в пространстве; содержание Ag, Co, Bi, Sb в галените закономерно изменяется в разновозрастных образованиях.

В результате минералого-геохимического изучения руд и взаимоотношений минералов построена схема последовательности минералообразования сульфидных руд Павловского месторождения (табл.). Выделено несколько стадий минералообразования и генераций сульфидов.

В первый, колчеданный этап рудогенеза кристаллизуется скорлуповато-зональный, почковидный пирит. В процессе диагенеза или метаморфической перекристаллизации пирит первой генерации превращается в хорошо ограненные кубические кристаллы пирита второй генерации. Начало второго, полиметаллического этапа ознаменовано дроблением и предрудным кислотным выщелачиванием пирита. Затем последовательно отлагаются доломит, а также сфалерит и галенит первой генерации. Через некоторое время в отдельных участках рудного узла проявляется повторный импульс тектонической активности, выраженный в дроблении и трещиноватости ранних рудных минералов и гидротермальной деятельности - следует отложение сфалерита второй генерации. В участках, приуроченных к тектоническим нарушениям в рудах и вмещающих известняках метасоматическим способом в ассоциации с кварцем отлагается кимрит - редкий минерал, образующийся в обстановке высокого давления и температуры (4,5-5,5 кбар, около 400°C). Затем следует кристаллизация галенита второй генерации. Вероятно, с поздним галенитом связаны сульфосоли свинца, серебра, сурьмы, мышьяка, известные на Павловском месторождении (Муляр, 1992, 1993). Параллельно с образованием сульфидов цветных металлов происходит переотложение и перекристаллизация раздробленного пирита - образуется пирит третьей генерации. После сфалерита второй генерации кристаллизуется поздний почковидный, скорлуповато-зональный пирит четвертой генерации. На заключительной стадии минералообразования последовательно отлагаются кальцит и углистое вещество. В кварц-сульфидную стадию образуются гнездово-вкрапленные арагонит-доломит-галенит-сфалерит-кварцевые жилы. Сфалерит и галенит, наблюдаемые здесь, отнесены к третьей генерации. Они выполняют полости в кварце, вероятно, после образования кварца и доломита. Самым поздним кристаллизуется арагонит, образуя корочки на поверхности галенит-сфалерит-кварцевых агрегатов.

В пределах объектов Восточной перспективной территории отмечается сокращение числа одновременных парагенезисов. Пирит первой генерации здесь также является более ранним рудным минералом. Его строение характеризует сочетание катакластической, коррозионной, реликтовой структур. Скорлуповато-зональный, почковидный пирит не характерен. В процессе формирования сульфидов свинца и цинка происходит переотложение пирита - образуется мелкокристаллический, часто идиоморфный пирит второй генерации. Затем последовательно кристаллизуются доломит, сфалерит, халькопирит, галенит, буланжерит.

С целью изучения эволюции рудообразования во времени был исследован изотопный состав свинца галенита, сфалерита и пирита из разных участков Безымянского рудного узла (рис.2). В координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ все экспериментальные точки расположены на кривой эволюции изотопного состава свинца, построенной по модели Стейси-Крамера с модельным возрастом 200-340 млн.лет.

Изотопные отношения свинца галенита и пирита Павловского месторождения в пределах эллипсов ошибок расположены в одной точке, что является индикатором масштабности объекта (Неймарк и др., 1991). Северное и Андреевское рудопроявления более ранние по сравнению с Павловским месторождением.

Все экспериментальные точки находятся на кривой орогена; такой тип рудного свинца обязан своему происхождению эффективному механизму смешения разнородного свинца.

При оценке перспектив Безымянского рудного узла были выявлены факторы, которые могли способствовать концентрации металлов в данных геологических условиях:

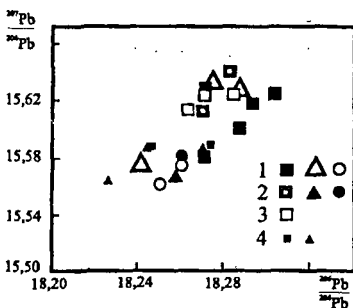


Рис.2 Изотопный состав свинца рудных минералов
1-месторождение Павловское, 2-4-рудопроявления: 2-Андреевское, 3-Северное, 4- Восточное. Квадрат-галенит, кружок-пирит, треугольник-сфалерит.

1. Размещение полиметаллической минерализации бассейна р.Безымянной контролируется тектоническими факторами - приуроченностью полиметаллического оруденения к субмеридиональным разрывным нарушениям, оперяющим крупные региональные разломы земной коры.

2. В составе рудных минералов отмечается присутствие магматогенных элементов, не характерных для вмещающих пород, которые могли быть привнесены из глубины "трансмагматическими флюидами мантийного происхождения" (As, Sb, Bi) и заимствоваться из остаточных растворов базитовых магм (Ni, Co).

3. В составе и строении минеральных индивидов проявлены признаки, свидетельствующие об интенсивности и длительности процессов минералообразования на данном объекте. Для руд характерно наличие в минеральных индивидах микронеоднородностей и неравновесных взаимоотношений минералов в рудах.

4. Данные по изотопному составу свинца рудных минералов свидетельствуют об "орогенном" типе рудного свинца, который обязан своему происхождению эффективному механизму смещения свинца из разных источников. Изотопные отношения свинца галенита и пирита в пределах эллипсов ошибок расположены в одной точке, что является индикатором масштабности объекта.

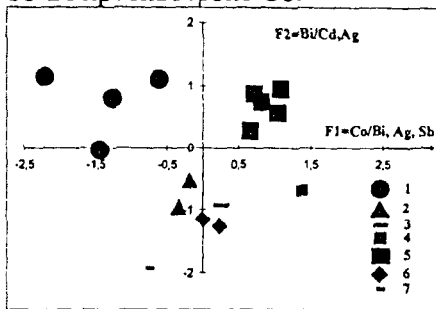
Перечисленные признаки позволяют предполагать значительные масштабы оруденения в изучаемом районе. Полученные за последние годы материалы по различным типам крупных и уникальных месторождений редких и благородных металлов свидетельствуют о том, что формирование оруденения является следствием длительного развития флюидных систем глубинного заложения, посредством которых осуществляется мантийно-коровое взаимодействие и происходит интенсивное перераспределение вещества в земной коре (Рундквист, 1997, 1998; Маракушев, 1997 и др.). При анализе особенностей размещения и эволюции крупных и уникальных редкометалльных, золоторудных, полиметаллических и других месторождений установлена их приуроченность к региональным долгоживущим сквозным разломам земной коры (Фаворская и др., 1974; Гавриленко, Марин, 1999) и, как правило, длительная и сложная история рудообразования в связи с наследованием зон временной проницаемости (Петровская, 1981).

Из типоморфных особенностей минералов учитываются нестандартные ассоциации элементов-примесей и изотопные отношения, а также проявление в составе и строении минеральных индивидов характеристик, свидетельствующих об интенсивности и длительности процессов минералообразования (Гавриленко и др., 2000).

2. Изменчивость состава и свойств сульфидов в пределах Безмянского рудного узла позволяет выявить скрытую минералого-геохимическую зональность, заключающуюся в закономерной смене на территории узла глубинных, и относительно древних, участков рудоносной системы «апикальными» и слабо эродированными.

Сфалерит, галенит и пирит являются главными рудными минералами изучаемых объектов. Галенит часто находится в подчиненном количестве по отношению к сфалериту и пириту. Он развит в виде прожилков и гнезд среди сульфидов и нерудных минералов, нередко цементирует обломки кристаллов сфалерита, пирита и является самым поздним эндогенным минералом. В качестве примесей в галените отмечаются серебро, сурьма, висмут, кобальт, олово, кадмий, цинк, мышьяк. Распределение их в разных участках рудного узла и разных типах руд неравномерное (рис.3). Структура геохимических связей примесей галенита носит дипольный характер: группе Ag-Sb-Bi противостоит Co.

Рис.3 Диаграмма факторного анализа состава галенита
 1-3 разные типы руд Павловского месторождения: 1-гнездово-вкрапленные кварц-сульфидные руды, 2 - массивные колчеданно-полиметаллические, 3 - брекчиевые прожилково-вкрапленные колчеданно-полиметаллические, 4-7 - рудопроявления: 4,5 - Северное, 6 - Андреевское, 7 - Восточное



Анализ распределения примесей в галените с учётом данных по изотопному составу свинца позволил установить следующую закономерность - содержание кобальта, сурьмы, серебра отчетливо коррелируется с возрастом рудообразования - содержание кобальта

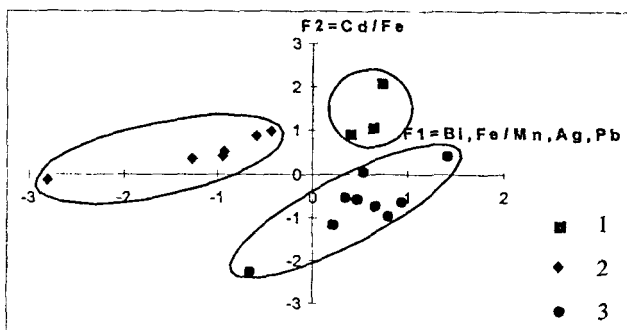
закономерно падает от древних проявлений к молодым, серебра и сурьмы - возрастает.

Эта закономерность соответствует известному ряду осевой (фронтальной) зональности первичных ореолов месторождений колчеданной формации: Mo-Co-Cu-Zn-Pb-Ag-Ba₂ (Овчинников, 1990). Обращает на себя внимание и корреляция содержания серебра и сурьмы. Значение отношения Ag/Sb варьирует в пределах 0,11-6,05, причем на разных рудопроявлениях оно различно. Вероятно, серебро в галените присутствует не только в изоморфной форме, но и представлено механической примесью сульфосолей серебра, свинца, сурьмы и висмута. Это допущение сопоставляется с данными по химизму галенита из многих месторождений, например, месторождений галенит-сфалеритовой формации Восточного Забайкалья (Добровольская и др., 1971, 1973). В пределах изучаемой территории известны находки сульфосолей - миаргирита, пираргирита, буланжерита, геокронита, шульцита, грейтонита, которые характерны для верхних уровней оруденения и продуктивных ассоциаций малоглубинных месторождений (Петровская, 1981).

Сфалерит в разных проявлениях заметно различается по форме выделений, окраске, восприимчивости к травлению, цвету, содержанию элементов-примесей и типу включений. Сфалерит Северного, Перьев относительно обогащен железом, в то же время здесь отмечается пониженное содержание кадмия. Разнообразие примесей характерно для сфалерита Андреевского проявления, типоморфными являются примеси кобальта и сурьмы. Отмечено определенное сходство этого проявления по богатству примесного состава сфалерита с одним из участков Павловского месторождения (центральный блок), однако здесь типоморфными примесями являются другие элементы (германий, галлий). Изменчивость примесного состава сфалерита проявляется в его цвете, который изменяется от соломенно-желтого до темно-коричневого, сфалерит различных генераций и участков характеризует неоднородность окраски - он может быть равномерно окрашенным, а также пятнистым, зональным. Изменчив также характер включений в сфалерите из разных участков рудного узла. В рудах выделяется два морфологических типа сфалерита - скорлуповато-зональный и

кристаллически-зернистый. На диаграмме факторного анализа показано различие состава этих типов (рис.4).

Рис.4 Диаграмма факторного анализа состава различных морфологических типов сфалерита
 1- скорлуповато-зональный, 2 - частично перекристаллизованный кристаллически-зернистый, 3 - кристаллически-зернистый сфалерит.



Скорлуповато-зональный сфалерит отлагался при температуре ниже 200°C (оценка произведена с использованием дефектов стехиометрии (Таусон, Чернышев, 1981)); температура метаморфической перекристаллизации кристаллически-зернистого оценена в 330-450°C (кадмиевый геотермометр (Bethke, 1971; Гелетий и др., 1980)). Кислотность-щелочность среды минералообразования кристаллически-зернистого сфалерита оценена по соотношению кадмия и цинка в сфалерите (Доронин, 1984) интервалом значений рН 4,03-4,51.

Таким образом, в результате изучения типоморфных особенностей галенита и сфалерита выявлена зональность оруденения, выраженная в закономерной смене в пространстве с юго-запада на северо-восток апикальных, более молодых частей рудовмещающей постройки корневыми, более древними. Эти выводы подтверждаются результатами минераграфического изучения руд - отмечается тенденция сокращения количества разновременных генераций минералов в рудопроявлениях Восточной перспективной территории, что характерно для флангов и глубоких горизонтов рудных полей (Петровская, 1981). В структурном рисунке руд Павловского месторождения часты крустификационные, натечные мотивы, а в качестве аксессуарных минералов встречаются сульфосоли серебра, свинца, сурьмы, мышьяка. В пределах Восточной перспективной территории для руд характерны кристаллобластические структуры, вкрапленные,

прожилковые, полосчатые текстуры, в качестве акцессорного минерала часто встречается халькопирит.

Особенности состава продуктивных ассоциаций, как и руд в целом, отражают существенное влияние геохимической специфики рудного района. Обработка данных геохимического опробования рыхлых отложений в районе Павловского месторождения на площади около 100 км² показала, что в районе значительно (на 1-2 порядка) повышен геохимический фон ряда элементов, таких как Ag, Cd, As, Bi, Sb, Hg, Ta. Рудный процесс охватывает огромные объемы вмещающих пород и сопровождается выносом из карбонатных пород Са с параллельным привносом ряда халькофильных и сидерофильных элементов. Геохимические карты рудного поля, построенные по результатам опробования элювиально-делювиальных образований, показали его значительную неоднородность. В ряде случаев опробование не вышло за пределы участков с аномально повышенным содержанием Ag, Zn, Pb.

3. В условиях зоны окисления Павловского месторождения происходит переход ряда токсичных металлов (свинца, цинка и кадмия) в подвижное состояние. Частично они входят в структуру новообразованных минералов, однако значительная их масса мигрирует с грунтовыми и поверхностными водами. В дальнейшем эти металлы фиксируются на щелочном барьере в зоне смещения речных и морских вод.

Павловское рудное поле было обнаружено по аномалиям тяжелых металлов (свинца, серебра, кадмия и других), установленным при геохимическом опробовании территории; находится оно в пришельфовой полосе Баренцева моря, поэтому вопросы геохимии токсичных металлов, в частности, свинца и кадмия, приобретают важное значение для оценки возможностей его использования. С тем, чтобы проследить основные тенденции поведения кадмия в зоне гипергенеза, были изучены геохимические условия, в которых протекает процесс окисления.

Мощность зоны окисления серно-колчеданных руд Павловского месторождения невелика - как правило, не более 0,7 м. В этой зоне совмещены минеральные ассоциации, развивающиеся в обычных условиях в разных частях профиля гипергенеза: кварц,

гипс, ангидрит, мельниковит, англезит, церуссит, смитсонит, гетит, копиапит, цинк-копиапит, ярозит, плюмбоярозит, мелантерит, роценит, самородная сера, барит, гидрослюда, кальцит, доломит. Некоторые из этих минералов (копиапит, мелантерит) являются т.н. геологическими потенциометрами среды минералообразования и существуют только при низких значениях pH (Яхонтова, Грудев, 1987).

Основными минералами-концентраторами кадмия в рудах Безмянского рудного узла являются сфалерит и галенит, в которых кадмий содержится в виде изоморфной примеси и, вероятно, ультратонких включений гринокита. Содержание кадмия в сфалерите достигает 0,6%, в галените 0,04%, в цинковых рудах - 0,16%. Микронзондовые исследования показали, что при окислении главного минерала-носителя кадмия - сфалерита на фронте замещения сфалерит-смитсонит возникает ряд любопытных явлений. Геохимически кадмий подобен цинку, и в процессе окисления сфалерита эти элементы ведут себя сходным образом, однако в результате профильного сканирования было установлено, что кадмий является более мобильным, по сравнению с цинком, и уходит из "минерала-хозяина" раньше, чем начинает снижаться содержание цинка и серы. Более быстрый выход иона кадмия из кристаллической решетки сфалерита обусловлен тем, что кадмий более основной элемент, он имеет более низкие окислительный потенциал и энергетические характеристики.

При больших увеличениях было установлено, что при замещении сфалерита смитсонитом возникает переходная зона промежуточного состава. Морфология зоны идентична морфологии смитсонита, т.е. образует каемочные структуры обрастания, мощность её составляет первые микроны. Кадмий обнаруживает тенденцию к накоплению в этой зоне. В сфалерите он содержится в среднем в количестве 0,03%, на порядок его больше в точках, соответствующих 2-24% серы - до 0,8%. Часть кадмия накапливается в смитсоните, а также может сорбироваться лимонитами и гидрослюдами на окислительном и щелочном барьерах.

В сернокислых растворах, которые, как показано выше, присутствуют в зоне окисления и определяют низкие значения pH (<2), сфалерит легко окисляется, скорость этого процесса

увеличивается в результате микрогальванических эффектов на границе сфалерита с другими сульфидами (Оспанов, 1992). По данным Э.Ф.Емлина (1986), вымораживание этих растворов способствует осаждению в виде гидросульфатов меди, железа, иногда кальция, а в остаточном рассоле накапливаются кадмий и алюминий, поскольку их сульфатные растворы имеют минимальную криогидратную температуру.

Таким образом, кадмий концентрируется и продолжает миграцию в растворенных формах (вероятно, в виде $CdSO_4$) в грунтовых, поверхностных, а затем и речных водах. По данным гидрогеохимического опробования в водах р.Безымянная концентрация кадмия достигает 0,1мкг/л. Относительно низкое соотношение Zn/Cd говорит о том, что кадмий более устойчив в ионной форме, а цинк частично осаждается или вовлекается в другие формы миграции (Емлин, 1986). Максимальное значение этого отношения отмечается в точке опробования, расположенной в нижнем течении руч.Ветвистый, в пределах месторождения Павловское, ниже по течению оно резко уменьшается за счет снижения концентрации цинка. В донных осадках р.Безымянной кадмий отсутствует.

Концентрация кадмия в воде дельты р.Безымянной увеличивается по мере приближения к губе Безымянной, достигая максимума в самой последней точке опробования - 0,7мкг/л, одновременно резко понижается величина Zn/Cd отношения, несмотря на общее увеличение содержания цинка. Достигая моря, сульфатные растворы через некоторое время смешиваются с морской водой. Осаждение кадмия происходит на шельфовом барьере, а затем он может выпадать в виде труднорастворимого карбоната - отавита (по экспериментальным данным И.А.Андреевой (1996), изучавшей пределы насыщения Cd , Pb , Zn , Cu различных геохимических типов донных осадков Баренцева моря, наиболее активно кадмий сорбируется ракушняком и пелитоморфным известняком).

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Губина Т.А Исследование распределения токсичных элементов в сульфидной минерализации береговых обнажений Баренцева моря (архипелаг Новая Земля) // Тезисы докладов научной конференции студентов и молодых ученых СПбГИ(ТУ)

“Полезные ископаемые России и их освоение”, Санкт-Петербург, 1997. С.9

2. Губина Т.А. Новые данные о минералогии и геохимии полиметаллического оруденения Новой Земли // Тезисы докладов научной конференции студентов и молодых ученых СПбГГИ(ТУ) “Полезные ископаемые России и их освоение”. Санкт-Петербург, 1998. С. 11

3. Губина Т.А., Гавриленко В.В., Каленич А.П., Гайдамако И.М. Особенности состава рудных минералов полиметаллических проявлений района реки Безымянной (архипелаг Новая Земля) // Труды XIII Геологического съезда Республики Коми, т.4, ИГ КНЦ УрО РАН, Сыктывкар, 1999, С.22-23

4. Губина Т.А. Изменчивость конституционных свойств сфалерита из полиметаллических проявлений бассейна реки Безымянной (архипелаг Новая Земля) // Металлогения древних и современных океанов - 99. Рудоносность гидротермальных систем. Материалы Пятой научной студенческой школы. Миасс: Имин УрО РАН, 1999.С.102-106

5. Каленич А.П., Губина Т.А., Гавриленко В.В. Полиметаллический рудный район на Новой Земле // Материалы международной конференции “Полезные ископаемые - формирование, прогноз, ресурсы”, СПбГГУ, 1999, с.49-50

6. Гавриленко В.В., Губина Т.А., Гайдамако И.М. Исследование процессов изменения сфалерита в зоне гипергенеза Павловского месторождения (архипелаг Новая Земля) // Материалы IX съезда Минералогического общества при РАН “Минералогическое общество и минералогическая наука на пороге XXI века”, С.-Петербург, 1999.С.217-218

7. Губина Т.А. Изменчивость конституционных особенностей сфалерита из полиметаллических проявлений бассейна реки Безымянной (архипелаг Новая Земля) // Труды молодых ученых СПбГГИ(ТУ), Санкт-Петербург, СПбГГИ(ТУ), 1999. С.3-5

8. Губина Т.А. К истории минералогических исследований Новой Земли // Материалы II минералогического семинара “История и философия минералогии”, Сыктывкар, Геопринт, 1999. С.88-89

9. Губина Т.А. Изменчивость состава и морфологии сфалерита из полиметаллических проявлений Новой Земли. Записки Всероссийского минералогического общества, 2000, №2. С.59-63

РИЦ СПГГИ. 19.05.2000. З.234. Т.100 экз.

199106 Санкт-Петербург, 21-я линия. д.2.