Южно-Уральский государственный университет

Филиал в г. Миассе

**Геологический факультет**

Специальность 020303 ГЕОХИМИЯ

Кафедра Минералогия и геохимия

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

**Состав и текстурно-структурные особенности руд Юбилейного колчеданного месторождения, Южный Урал**

Студент Целуйко Александр Сергеевич

Заведующий кафедрой д.г.-м.н. Е.В. Белогуб

Руководитель проф., д.г.–м.н. В.В. Масленников

Рецензент к.г.-м.н. Н.Р. Аюпова

Миасс

2013

**Оглавление**

**Введение** 2

**Глава 1. Изученность месторождения** 5

**Глава 2. Методы изучения руд** 6

**Глава 3. Геологическая позиция, строение района и месторождения.** 9

3. 1. Геологическое положение и строение месторождения 9

3.2 Позиция, форма и залегание рудных тел 12

**Глава 4 Текстурно-структурные особенности и минералы генетических типов руд Юбилейного месторождения** 13

4.1 Руды второго рудного тела Юбилейного месторождения. 13

4.2 Трубы «черных курильщиков» и их фрагменты. 14

4.2.1 Структуры, текстуры и зональность труб «черных курильщиков» 14

4.2.2 Минеральные особенности труб «черных курильщиков» 22

4.3 Углеродистое вещество цементирующей массы обломков труб «курильщиков» 31

4.4 Биоморфные серноколчеданные руды 34

4.5 Сульфидные ритмиты 36

4.6 Полосчатые сфалерит-пирит-халькопиритовые руды 45

4.7 Сфалерит-борнит-халькопирит-пиритовые руды 47

4.8 Кремнистые пелитолиты 49

4.9 Госсаниты и гематит-карбонатные породы 52

**Глава 5. Типохимизм сульфидов Юбилейного месторождения** 56

5.1 Элементы-примесей пирита 56

5.2 Элементы-примесей халькопирита 61

5.3 Элементы-примесей сфалерита 63

5.4 Элементы-примесей борнита 64

5.5 Ассоциации химических элементов 65

**Глава 6. Модель минералого-геохимической эволюции колчеданных руд Юбилейного месторождения** 67

**Заключение** 71

**Список литературы** 74

**Приложение** 76

### Введение

**Актуальность.** Южный Урал – крупнейший в мире колчеданоносный район, содержащий все типы колчеданных месторождений (уральский, бесcи, куроко, кипрский). Последние исследования этих месторождений показали их сложное донное происхождение, в котором гидротермально-осадочные процессы рудообразования переплетены с процессами гальмиролиза, биогенеза, диагенеза, катагенеза и метаморфизма, которые определяют облик и состав руд. Для выявления особенностей эволюции колчеданообразующих систем, анализа процессов и обстановок минералообразования на Юбилейном месторождении выделены генетические типы и/или рудные фации. Генетический тип руды – это однородная по текстуре, структуре, минеральному и химическому составу руда, обладающая определенными генетическими признаками [Ботвинкина, 1974]. В отношении фаций автор придерживается определения, используемого Масленниковым В.В. и Зайковым В.В. [Зайков, Масленников, 2002]: рудная фация– это часть геологического тела, включающая один или несколько типов руд, отличающуюся от другой части этого рудного тела по текстурным, структурным, минеральным, химическим и другим генетическим особенностям, отражающим специфические условия колчеданообразования. Изучение изменений текстурно-структурных и минеральных особенностей в различных генетических типах руд и фациях позволяет выявить общие закономерности в эволюции колчеданных руд. Актуальность работы обусловлена необходимостью реконструкции процессов формирования и преобразования колчеданных руд в связи с совершенствованием новой минералого-геохимической модели колчеданнообразования в древних рудообразующих системах черных курильщиков, формировавшихся в основании островодужных комплексов. В таких обстановках черные курильщики и продукты и их разрушения обнаружены впервые и результаты их изучения являются важной вехой в развитии теории колчеданообразования.

Изученные типы руд не являются преобладающими на месторождении, но именно они отражают процессы разрушения и преобразования первичных гидротермальных руд.

**Цель**: Реконструкция минералого-геохимической эволюции колчеданообразующей системы преддугового палеобассейна на примере Юбилейного цинково-медно-колчеданного месторождения.

**Задачи:**

1) изучить текстурно-структурные особенности и последовательность формирования минеральных индивидов и их агрегатов применительно к каждому типу руд;

2) диагностировать редкие минералы и выделить минеральные ассоциации в каждом типе руд (особое внимание уделить распределению теллуридов и самородного золота, как минералов-индикаторов физико-химических условий формирования руд);

3) Определить типохимизм генетических разновидностей пирита, халькопирита, сфалерита и борнита для оценки основных тенденций химической эволюции колчеданных руд;

4) представить общую модель минералого-геохимической эволюции рудообразующей системы Юбилейного месторождения.

Фактический материал представлен более 100 образцами руд и пород Юбилейного месторождения, отобранными в июне 2012 года в карьере и на рудном складе рудника «Хайбуллинского» из которых сделаны 200 шлифованных пластин и более 100 аншлифов на эпоксидной смоле.

Полевые работы проводились в начале июня 2012 года на карьере «Юбилейный», в котором отрабатывается Юбилейное цинково-медноколчеданное месторождение.

Лабораторные исследования проводились на базе Института Минералогии УрО РАН и Южно-Уральского Государственного Университета с перерывами с июля 2012 года по июнь 2013 года.

Автор выражает огромную благодарность своему научному руководителю и наставникам д. г.-м. н., проф. Масленникову В. В. и к. г.-м. н. Аюповой Н., а также за консультации и помощь в работе д. г.-м. н. Белогуб Е. В., к. г.-м. н. Масленниковой С. П., к. г.-м. н. Новоселову К. А., Лебедевой С. М., Котлярову В. А., профессору, д. н. Р. Ларжу, аспиранту Блинову И.А., работникам химической лаборатории шлифовальной мастерской Ивановой Н. П., Кустовой Е. В., Кислюк И. В и Аюпову Р. А. Институт минералогии УрО РАН.

### Глава 1. Изученность месторождения

Юбилейное медно-цинково-колчеданное месторождение находится на Южном Урале в Западно-Магнитогорской палеовулканической зоне, в Бурибайском рудном районе. Месторождение Юбилейное в административном плане расположено в Хайбулинском районе республики Башкортостан. Месторождение открыто в 1966 г. Первые признаки колчеданного оруденения на участке были выявлены в 1959-I960 гг., когда при геологической съемке масштаба 1: 50000 одной из картировочных скважин под юрскими отложениями были вскрыты обеленные диабазы. В 1962 г. В.А. Прокин, основываясь на наличии положительных магнитных аномалий, фиксирующих основные эффузивы, и с учетом геолого-структурных особенностей и геохимических данных, выделил при составлении прогнозно-металлогенической карты района Петропавловский перспективный участок. Важное значение для дальнейших поисков имели работы М.Н. Долгого (1962-1964 гг.) по уточнению геологических карт масштаба 1: 50000. При их выполнении картировочными скважинами были выявлены зоны гидротермальных изменений с сульфидами на Хворостянском участке в 800 м к югу от позднее разведанных рудных залежей. В 1965 г. при прослеживании этих зон на северо-запад получены первые подсечения медно-цинковых колчеданных руд месторождения. Месторождение изучали Г.К. Долматов, В.В. Воробьев. В.В. Какаулин, В.А. Прокин, И.Б. Серавкин, Ю.А. Болотин, О.В. Минина, Е.В. Попов, М. И. Исмагилов, И.В. Викентьев и др. [Медноколчеданные.., 1988].

В настоящее время добыча руд ведется ООО «Башкирская медь» (в год добывается 1,4 млн т руды).

### Глава 2. Методы исследования руд

Для достижения поставленной цели использованы следующие методы изучения:

*1) Текстурно-структурный метод* применен для выявления последовательности выделения минералов и минеральных ассоциаций и последующих их преобразований. Текстуры, структуры и минеральные парагенезисы минералов дают возможность судить об условиях, при которых происходило образование руды и ее изменение. Текстурно-структурный анализ проводился как на макроуровне при изучении полированных штуфов руд и пород, а также на микроуровне при изучении аншлифов.

*Текстурой* называется строение руды, обусловленное формой размером и характером срастания минеральных агрегатов [Исаенко, 1975]. Морфологической единицей текстуры является минеральный агрегат. Под минеральным агрегатом следует понимать характерные сростки зерен или коллоидных частиц минералов определенной парагенетической ассоциации. Морфологическими особенностями минерального агрегата являются форма, размеры и структуры. В рудах выделяются макротекстуры, если величина агрегата более 2 мм в поперечнике, и микротекстуры, если величина агрегата менее 2 мм. Микротекстуры возможно изучать только под микроскопом.

*Структурой* называется строение минерального агрегата, обусловленное формой, размерами и характером срастания минеральных зерен [Исаенко, 1975]. Морфологической единицей структуры является минеральное зерно, или минеральный индивид. Индивид – это образовавшееся в природе обособление однородного химического вещества, физически отделенное от других естественными поверхностями раздела. Индивидом является как природный кристалл, ограниченный кристаллическими гранями, так и каждое минеральное зерно или другое однородное выделение, отделенное от соседей поверхностями соприкосновения.

В зарубежной литературе применяются различные толкования этих терминов. В американской литературе термин «структура» характеризует макростроение, термин «текстура» – микростроение. Термин «текстура» охватывает все виды срастаний между рудообразующими минералами. А. Эдвардс в монографии «Текстуры руд и их значение» широко применяет термин «текстуры» для различных видов минеральных срастаний: для характеристики внутреннего строения минеральных зерен (текстуры зональные, полисинтетически сдвойникованные и др.); для характеристики внутреннего строения минеральных агрегатов (текстуры зернистые, катакластические, распада твердых растворов и др.); для характеристики срастаний минеральных агрегатов (текстуры полосчатые, крустификационные, колломорфные, слоистые, гнейсовидные и др.).

Немецкие исследователи Шнейдерхен, П. Рамдор, Эльснер различают в рудах следующие типы минеральных срастаний: внутреннее строение зерен, структуры (срастания минеральных зерен и однородных выделений минералов) и текстуры (срастания минеральных агрегатов). П. Рамдор главное внимание обращает на микросрастания минералов. В его работе «Рудные минералы и срастания» под названием структур описываются не только структуры, но также и микротекстуры [Исаенко, 1975].

*2) Оптический метод* – микроскопическое изучение полированных аншлифов на эпоксидной смоле производилось в отраженном и косом освещении на микроскопе Olympus BX-51 с использованием камеры Olympus DP 12 для фотографирования. Всего было изучено около 70 аншлифов и сделано более 2000 микрофотографий руд.

*3) Метод структурного травления* пирита и сфалерита в концентрированной азотной кислоте с порошком флюорита применен для выявления тонкозернистого, секториального, фрамбоидального строения, а также зональности пирита. Для проведения метода на полированный аншлиф наносится несколько капель конц. HNO3 и посыпается порошком флюорита. Время выдержки 1–1,5 минуты. Затем исследуемый образец промывают холодной водой, протирают спиртом и сушат не менее 2–3 часов. Структурное травление халькопирита проводилось на пропитанной царской водкой фильтровальной бумаге, к которой плотно прижималась шашка. Длительность травления определялась визуально. После этого полированный аншлиф промывался водой, протирался спиртом и сушился в течение одного дня. Травления халькопирита позволяют отличить гидротермальный и диагенетический халькопирит, установить двойники и спайность.

*4) Метод LA-ICP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой и микропроботборником)* использован для количественного определения содержания микроэлементов в сульфидах. Получены рассчитанные содержания следующих элементов-примесей: Mg, Al, Si, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Ba, Gd, Hf, Ta, W, Pt, Au, Tl, Pb, Bi, Th, U. При изучении типохимизма сульфидов использовались все элементы кроме: Zr, Gd, Hf, Ta, Pt, Th и U из за их очень низких содержаний, а также основные элементы минерала такие как железо, медь и цинк. Всего обработано более 200 анализов ЛА-ИСП-МС. Анализ проведен В.В. Масленниковым в Центре по изучению генезиса рудных месторождений (CODES) Тасманийского Университета (Г. Хобарт, Тасмания, Австралия). Суть метода заключается в испарении вещества с поверхности аншлифа под действием лазера. Образующийся при этом молекулярный газ доставляется потоком гелия и аргона к индуктивно-связанной плазме. Полученные импульсы каждого элемента с заданным изотопом регистрируются в течение 90 секунд. Для количественного определения содержаний микроэлемента в сульфиде выбирался один из представительных интервалов горизонтальной части тренда зафиксированных импульсов. Затем с помощью программы «LAMTRACE» проводилось сопоставление количества полученных импульсов с импульсами стандарта, имеющего известные содержания данного элемента. Окончательный результат получался за счет нормирования вычисленного значения относительно известного содержания элемента в минерале, полученного каким-либо независимым анализом или рассчитанного через стехиометрическую формулу минерала.

5) *Рентгеноспектральный анализ* выполнен на СЭМ TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.) и на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М (аналитик В.А. Котляров). Всего сделано около 100 анализов самородного золота, теллуридов, селенидов, сульфидов, углеродистого вещества и сульфотеллуридов. Анализ позволил определить состав золота, подтвердить диагностику теллуридов и углеродистого вещества. Задача усложнялась малыми размерами выделений. Моя задача заключалась в нахождении редкой минерализации в рудах и помощь в её нахождении при изучении на электронном микроскопе. По данным анализов рассчитаны формулы.

6) *Спектрофотометрический анализ* выполнен для получения спектров отражения углеродистого вещества в аншлифе на микроскопе-спектрофотометре МСФП-2Р. Применялся для подтверждения диагностики керогена, и в последствии может быть применен для определения степени метаморфизма руд. Диапазон снятия спектров – 400–700 нм, напряжение на ФЭУ: 400, шаг дискретизации: 10 нм, скорость: 3000 нм/мин, рабочий ФЭУ: Hamamatsu. Интерпретация полученных данных проводилась с помощью компьютерной системы MicroMin. В качестве эталона принимался кремний. Стандартные графики спектров отражения были отстроены в программе Microsoft Excel. Всего было получено 30 спектров отражения.

7) *Метод рамановской спектроскопии или комбинационного рассеянья* проведен на рамановском спектрометре Horiba Jobin Yvon HR 320 (аналитик Лебедева С.М.), оборудованным стандартным He-Ne лазером (Pmax-20мВт, =632.8нм, красный цвет) и высокостабильным микроскопом Olympus BX41. Спектры КР были получены в результате сложения 10 промежуточных спектров со временем накопления 20 секунд в диапазоне 100–3000 см-1. Использовалось программное обеспечение Labspec. Получены 11 спектров углеродистого вещества и карбонатов.

### Глава 3. Геологическая позиция, строение района и месторождения.

# 

# **3.1. Геологическое положение и строение месторождения**

Юбилейное месторождение располагается в Западно-Магнитогорской палеовулканической зоне, в Бурибайском рудном районе на северо-западном продолжении Макан-Мамбетовской зоны растяжения (рис. 1) [Масленников, 1999]. Рудное поле месторождения перекрыто мощным (до 230 метров) чехлом рыхлых мезо-кайнозойских отложений.

|  |
| --- |
|  |

**Рис. 1. Схема размещения колчеданных месторождений в Сибайском, Баймакском , Бурибайском и Ивановском рудных районах** (составили В.В. Масленников, В.В. Зайков по материалам Юго-Восточной ГРЭ): 1 – базальтовая формация нерасчлененная; 2 – флишоидные вулканокластические отложения; 3 – андезит-базальтовая формация; 4 – риолит базальтовая формация.

Месторождение формировалось в кальдере крупного вулкана центрального типа, осложнившего строение полуграбена колчеданоносного рифта [Масленников, 1999]. Вмещающие породы связаны с базальт-бонинитовым основанием бимодальной мафической Баймак-Бурибаевской свитой [Spadea, 1998]. Месторождение относится к уральскому типу [Серавкин, 2010]. Балансовые запасы меди составляют 1,64 млн т, цинка – 1,06 млн т [Викентьев, 2011].

На месторождении установлено шесть рудных залежей (рис. 2). Наиболее крупные рудные залежи нижнего литолого-стратиграфического уровня залегают среди базальтов в кровле нижней толщи или тяготеют к границе нижней базальтовой и средней андезит-дацит-риолитовой толщ. Небольшие рудные тела верхнего литолого-стратиграфического уровня залегают среди кислых экструзивных, эффузивных и вулканогенно-осадочных пород нижней риодацитовой толщи.

|  |
| --- |
|  |

**Рис. 2. Продольный меридиональный схематический разрез Юбилейного месторождения** [Медноколчеданные…, 1988]: 1 – юрские и четвертичные рыхлые отложения; 2 – лавы и вулканиты андезито-базальтового состава; 3 – вулканиты и лавы кислого состава; 4 – вторая толща – спилиты и вариолиты; 6 – субвулканические породы: а – дацитовые порфириты, б – липарито-дацитовые порфиры; 7 – метасоматиты; 8 – рудные залежи и их номера; 9 – бурые железняки; 10 – коры выветривания палеозойских пород.

В геологическом разрезе рудного поля и месторождения выделяются пять толщ снизу вверх): 1) диабазовая, 2) базальтовая, 3) дацитовая, 4) андезито-базальтовая, 5) андезито-дацитовая вулканогенно-осадочная. Все толщи относятся к баймак-бурибаевской свите [Медноколчеданные …, 1988].

Породы первой толщи выходят на поверхность палеозойских образований в западной части рудного поля. На месторождении они подсечены в районе второй и четвертой рудных залежей. Толща сложена диабазами, диабазовыми порфиритами с прослоями базальтов. Мощность толщи более 700 метров.

Породы второй толщи выходят на поверхность палеозоя в западной и центральной частях рудного поля. Они представлены спилитами, вариолитами, базальтовыми порфиритами и афиритами. На месторождении породы толщи превращены в серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты, в кровле которых залегают основные рудные залежи месторождения. Мощность толщи 400-800 м.

Породы третьей толщи прослеживаются в виде узкой полосы в центральной части рудного поля, выклиниваясь вблизи его северной и южной части. Они представлены дацитовыми порфиритами и их пирокластами, в подчиненном количестве встречаются диабазовые, андезито-базальтовые порфириты и липарито-дацитовые порфиры. Подавляющая часть дацитовых порфиритов представлена лавобрекчиями. В нижней части толщи породы подвержены интенсивному тектоническому дроблению и гидротермально-метасоматической переработке, в результате чего они превращены в тектоно-метасоматические брекчии. Мощность толщи 250-500 м.

Породы четвертой толщи значительно распространены в юго-восточной части рудного поля, откуда полосой прослеживаются в северо-западном направлении до северного замка брахиантиклинали. Низы толщи сложены лавами базальтового, андезито-базальтового, реже андезитового состава и маломощными прослоями вулканомиктовых отложений основного состава. В верхах толщи развиты тефропесчаники андезито-базальтового состава. Мощность толщи 300–700 м.

Породы пятой толщи завершают разрез вулканогенных образований рудного поля и месторождения. Они развиты в их восточной части и представлены грубообломочными вулканитами андезито-дацитового и смешанного состава, с редкими прослоями лав мелкообломочных вулканомиктовых отложений и тефропесчаников. Мощность толщи достигает 200-250 м.

На месторождении и в рудном поле широко распространены субвулканические породы, относящиеся к нижнедевонскому, среднедевонскому и нижнекаменноугольному интрузивным комплексам и различающиеся составом, морфологией и возрастом [].

Вулканогенные породы рудного поля претерпели метаморфические преобразования, связанные с региональными и рудными процессами. Региональный метаморфизм относится к эпидот-актинолитовой и пупеллиит-пренитовой фациям зеленокаменного метаморфизма [Медноколчеданные…, 1988].

# **3.2 Позиция, форма и залегание рудных тел**

На месторождении на глубинах от 52 до 585 м установлено шесть рудных залежей. Рудные залежи имеют линзовидную, сундучную или пластообразую форму. Некоторые из них могут быть реконструированы как пологие сульфидные холмы [Масленников, 1999]. Руда месторождения содержит 1,5% Сu, 1% Zn и 44% S [Maslennikov et al., 2013]. Рудные тела расположены в синвулканической депрессии и залегают согласно с вмещающими породами. Простирание их северо-северо-западное по азимуту 310-3200 до меридионального, падение северо-восточное под углом 45-550. Верхний контакт колчеданных рудных тел с вмещающими породами резкий, а нижний – пилообразный с постепенным переходом во вкрапленные руды и непромышленную вкрапленность сульфидов. Преобладают массивные и брекчиевидные руды, состоящие из пирита, халькопирита и сфалерита. В рудах хорошо сохранились разнообразные колломорфные, метаколлоидные и эмульсионные текстуры. Редкими минералами в рудах являются мельниковит-пирит, марказит, пирротин, арсенопирит, галенит, а также блеклые руды, борнит, магнетит, гематит, барит, электрум, самородное золото, аргентит, алтаит, гессит, энаргит, бурнонит, германит. [Медноколчеданные .., 1988; Викентьев, 2011]. В рудах Юбилейного месторождения возможно обнаружения разнообразных теллуридов, так как содержание теллура достигает 200 г/т. Во второй и четвертой рудной залежах встречены пиритизированные окаменелости, определенные как кораллы, табуляты и тентакулиты. По своим морфологическим особенностям они напоминают реликты сульфидизированных трубчатых червей [Масленников, 1999].

На выклинках рудных тел руды становятся слоистыми. В их кровле залегают либо гематитизированные базальты, либо вулканомиктовые отложения и гематит-кремнистые породы, переслаивающиеся с рудными слойками. В гематит-кремнистых породах, кроме гематита, магнетита, пирита, борнита и халькозина, магнезиально-железистого хлорита, кальцита, содержатся реликты гематитизированных стекол базальтового состава, содержащие хлорит, гидрослюдисто-смешаннослойные образования и эпидот. Обломки гидрослюдисто-гематитовых пород и колчеданных руд встречаются в тефроконгломератах из надрудных слоистых пачек [Медноколчеданные …, 1988].

### Глава 4. Текстурно-структурные особенности и минералы генетических типов руд Юбилейного месторождения

# 

# **4.1 Руды второго рудного тела Юбилейного месторождения**

В период летней практики в июне 2012 года были изучены руды второго рудного тела, обнаженные на дне карьера «Юбилейный». Были отобраны образцы второго участка, залегающего на горизонтах 198-185 метров с содержанием меди – 2,63 %, цинка 0,29 %, серы 23,97 %. Обнажение длиной 100 метров и высотой 10–15 метров, аз. простирания 340о. Разрез представлен (снизу вверх, рис. 3): богатыми сплошными медноколчеданными рудами с обильными жилами и фрагментами жил кварца и карбоната крустифицированными друзовым халькопиритом в мелкозернистом сульфидном матриксе. Данные агрегаты были диагностированы как фрагменты древних труб «черных курильщиков», представляющие собой рудоподводящий канал гидротермальных растворов. Подобные трубы «черных курильщиков» установлены и описаны на многих колчеданных месторождениях Урала [Масленникова, 2007]. Сплошные руды перекрыты слоистыми сульфидными песчаниками. Сверху разрез перекрыт вулканогенными отложениями кислого состава. На рудном складе также были обнаружены трубы «курильщиков», гематит-карбонатные породы с сульфидной минерализацией, полосчатые пирит-халькопиритовые и пятнистые сфалерит-борнит-халькопирит-пиритовые руды.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Рис. 3 **Схематическая зарисовка обнажения на втором рудном теле карьера «Юбилейный»**: 1 – брекчия труб «черных курильщиков»; 2 – слоистые дистальные сульфидные турбидиты с прослоями кварц-хлоритовых пород и госсанитов; 3 – кислые вулканогенные породы. Горизонт 198-185 метров. Участок разработок №2.  2012 г. |

Таким образом, на Юбилейном месторождении собраны руды и породы различного генезиса: продукты гидротермальной активности в виде труб «курильщиков», мелкообломочные сульфидные отложения (сульфидные песчаники), сильно преобразованные слоистые руды (полосчатые пирит-халькопиритовые руды), продукты смешения и окисления рудокластического, гиалокластического и карбонатного материала (карбонатные госсаниты). Борнитовые руды формируют отдельную группу гипогенного обогащения. Во всех типах руд изучены текстуры, структуры, основные и акцессорные минералы.

### 4.2 Трубы «черных курильщиков» и их фрагменты

# 4.2.1 Структуры, текстуры и зональность труб «черных курильщиков»

Образцы отобраны в сплошных сульфидных рудах. Трубы «черных курильщиков» представляют собой каналы и жилообразные агрегаты, сложенные в центральной части кварцем, карбонатом, иногда друзовым или почковидным сфалеритом (рис. 4). Среднюю часть, представляющею собой стенку канала, слагает друзовый халькопирит. Каналы различны по форме и размерам: эллипсовидной, треугольной и вытянутой форм размером от 2 до 12 см в диаметре. Длина каналов 5–25 см. Каналы покрываются оболочкой из очень неоднородной сфалерит-халькопирит-пиритовой массой с большим количеством нерудного минерала. Часто в одной единой оболочке заключены несколько каналов, что указывает на многоканальность труб.

Во фрагментарном виде сохраняются только халькопиритовые стенки и нерудная центральная часть канала находящиеся в матрице из обломков краевой сфалерит-халькопирит-пиритовой части (рис. 4д).

Трубы «черных курильщиков» относятся к донной гидротермальной фации. В целом, они сложены тонкозернистыми сульфидными агрегатами, что не позволяет описать их полностью на микроуровне. Для микроскопического описания автор диплома использует методику Масленникова В.В. и Масленниковой С.П. разделения труб «черных курильщиков» на зоны А, В, С, в которых выделяются подзоны А1, А2, А3; В1, В2, В3; С1, С2, С3. Зона С представляет собой осевой канал, заполненный в нашем случае нерудными минералами. Зона В сложена друзовым халькопиритом. Зона А состоит из пиритовых тонкозернистых, дендритовидных, колломорфных, почковидных и псевдоморфных агрегатов с развитием нерудных минералов и халькопирита. Для каждой зоны характерны свои минеральные, микротекстурные и микроструктурные особенности.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 4. Трубы «черных курильщиков» Юбилейного месторождения**: а – кварц-пирит-халькопиритовая труба с неравномерной мощностью зоны В; б – сфалерит-карбонат-пирит-халькопиритовая труба с равномерным развитием; в – кварц-пирит-халькопиритовая труба сложной формы и неравномерной мощностью зоны В; г – кварц-пирит-халькопиритовая труба с заросшим халькопиритом осевым каналом; д – фрагменты халькопиритовой оболочки с частично сохранившемся кварцевым осевым каналом; е – заполнение осевого канала гиалокластами, обломками сульфидов и алевритовым осадочным материалом; заметна прогрессивная сортировка. Фото полированных образцов.

Рассмотрим характерные структуры и текстуры зон труб Юбилейного месторождения, а также некоторые минеральные особенности.

**Зона С** представляет собой осевую часть гидротермального канала, которая при затухании гидротермальной деятельности была заполнена нерудными и рудными минералами. Зона С на Юбилейном месторождении сложена кальцитом или кварцем, обычно с включениями халькопирита и сфалерита.

*Нерудные минералы* представлены кварцем и карбонатом. Минералы четко пространственно разделены, в одних трубах есть только кальцит, в других только кварц. Для них характерна гипидиоморфнозернистая и аллотриоморфнозернистая структура, без признаков ориентированного роста. Текстура массивная. Кальцит молочно-белого цвета, иногда темно-серый. Предполагается, что темно-серый карбонат связан с примесью в канале осадочного материала. Кварц белый или прозрачный.

Рудные минералы в зоне С представлены халькопиритом, сфалеритом, пиритом, в меньшей степени блеклой рудой и галенитом.

*Халькопирит* образует друзы и вкрапленники различной степени идиоморфизма, замещает кристаллический и фрамбоидальный пирит вплоть до образования полных псевдоморфоз. Друзовые агрегаты халькопирита образуются в зоне С1, рост кристаллов идет от халькопиритовой стенки к центру осевого канала.

*Сфалерит* образует нарастающие на халькопиритовую стенку агрегаты друзового, почковидного и дендритовидного сфалерита (рис. 5а). Структура гипидиоморфнозернистая и аллотриоморфнозернистая, часто пластинчатая и двойниковая. Сфалерит этой зоны содержит обильную эмульсионную вкрапленность халькопирита («халькопиритовая болезнь»). В косом освещении сфалерит очень темного цвета, бурый, непрозрачный, к краям зерен обычно просвечивает. В соединительных швах между зернами сфалерит в косом освещении светлый, прозрачный. С прозрачным сфалеритом связаны прожилковидные выделения галенита и самородного золота.

*Пирит* образует вкрапленники и друзы гипидиоморфной и идиоморфной формы. Иногда крупные идиоморфные зерна пирита в нерудной матрице формируют порфировую текстуру. Для пирита этой зоны характерна зональность роста, подчеркиваемая тонкими включениями халькопирита и нерудных минералов. Рост друзовых кристаллов направлен от зоны В к центру осевого канала. Кристаллический пирит замещается халькопиритом с образованием сетчатой микротекстуры, фрамбоидальный – с образованием псевдоморфной микротекстуры. Пирит этой зоны не содержит пластинчатые пойкиллиты сфалерита и халькопирита, распространенные в пирите зоны А.

*Блеклая руда и галенит* являются акцессорными минералами в трубах с карбонатным заполнением осевого канала. Образуют преимущественно ксеноморфные включения в сфалерите и халькопирите. Часто галенит и блеклая руда нарастают на крустификационный халькопирит зоны В. Размер выделений до 60 мкм.

Зона С кроме гидротермальной минерализации содержит материал осадочного происхождения. Он представлен алевритовым кварцевым материалом серого и темно-серого цвета, гиалокластами и обломками сульфидов. Иногда осадок и обломки отсортированы по крупности. В некоторых сечениях сечении заметно, что осадком заполнена только часть канала, незаполненная часть сложена гидротермальным кварцем. При микроскопическом изучении в каналах содержащих осадок обнаружен борнит и фрамбоидальный пирит.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 5 Зональность труб «курильщиков»** Юбилейного месторождения: а – дендриты сфалерита в осевом канале; б – копьевидный халькопирит зоны В2; в – почковидные агрегаты колломорфного пирита; г – дедритовый пирит в нерудной матрице; д – замещение почек пирита халькопиритом; е – пойкиллиты сфалерита в кристаллическом пирите. Отраженный свет. Ширина поля зрения на фото а- в 1,2 мм.

**Зона В** представляет собой самую высокотемпературную стенку гидротермального канала. Зона сложена друзовым халькопиритом и имеет замкнутую форму в виде эллипса, треугольную, вытянутую или сложную форму. Мощность зоны может сильно варьировать: от нескольких мм до 3-4 см.

*Халькопирит* является основным минералом зоны В. Подзона В3 сложена ориентированными в сторону осевого канала друзовым агрегатами идиоморфного халькопирита. Пространство между зернами выполнено нерудным минералом. Часто халькопирит обрастает сфалеритом и блеклой рудой. Иногда в халькопирите зоны В3 появляются крупные пластинчатые выделения сфалерита, замещаемые халькопиритом. В сфалерите данной подзоны обнаружены пластинки теллуровисмутита. Подзона В2 сложена крустификационным халькопиритом (рис. 5б). Характерно что в каналах с переменной мощностью подзона В2 проявляет себя только в самой мощной части зоны В и может отсутствовать в маломощных каналах. После травления в парах «царской водкой» халькопирит этой подзоны проявляет ориентированное копьевидное строение с развитием в интерстициях мелких аллотриоморфнозернистых и пластинчатых кристалликов халькопирита, ксеноморфных и изометричных зерен сфалерита и блеклой руды, а также галенита и самородного золота. Зона В1 также сложена халькопиритом, образующем аллотриоморфнозернистые агрегаты без признаков ориентировки. В халькопирите зоны В1 развиты обильные включения идиоморфного и гипидиоморфного пирита, формирующего густовкрапленные и атолловидные микротекстуры. Количество пирита возрастает по мере приближения к зоне А.

*Пирит* в зоне В представлен включениями идиоморфной и гипидиоморфной формы, образующими вкрапленные, густовкрапленные и атолловидные микротекстуры. В подзоне В3 пирит образует зональные друзовидные агрегаты в халькопиритовой матрице. Пирит присутствует во всех подзонах, но наиболее распространен в подзоне В1. Количество пирита увеличивается по мере приближения к зоне А. Для пирита зоны В не характерны радиальные пластинчатые пойкиллиты сфалерита и халькопирита, распространенные в пирите зоны А.

*Сфалерит* представлен пластинчатыми выделениями, нарастает в виде почек на халькопирит зоны В3. Сфалерит образует мелкие ксеноморфные вкрапления в халькопирите и пирите зоны В, часто приурочен к интерстициям в халькопирите зоны В2. В сфалерите зоны В3 обнаружены включения теллуросмутита.

*Блеклая руда и галенит* являются акцессорными минералами зоны В в трубах с карбонатным заполнением осевого канала. Образуют мелкие ксеноморфные включения в халькопирите зон В1 и В3, выполняют интерстиции между кристаллами халькопирита зоны В2. Галенит и блеклая руда зоны В часто ассоциируют с самородным золотом.

*Нерудные минералы* в зоне В представлены кальцитом и кварцем, выполняющими интерстиции между зернами халькопирита.

**Зона А** представляет собой преимущественно пиритовую оболочку каналов и в идеальном случае составляет большую объема трубы «черного курильщика». На Юбилейном месторождении сохраняется в первоначальном облике лишь участками. Исчезновение зоны можно объяснить её разрушением и замещением халькопиритом. В преобразованном виде зона А имеет сфалерит-пирит-халькопиритовый состав, с большим распространением нерудных минералов. Участки реликтовой зоны А сложены почковидным колломорфным, дендритовым и тонкозернистым пиритом и находятся исключительно в нерудной матрице.

*Пирит* образует агрегаты гипидиоморфного и гипидиоморфного кристаллического пирита различной крупности. Текстура вкрапленная, пятнистая. Пирит образует включения и сростки в халькопирите, сфалерите и нерудных минералах с размером зерен до 500 мкм. В реликтовых участках не преобразованной зоны А, пирит слагает почковидные, гроздевидные, дендритовые, колломорфные и тонкозернистые агрегаты (рис. 5в, г). Рост дендритов и почек колломорфного пирита направлен в сторону периферии трубы. Распространен тонкозернистый пирит образующий как плотные сегрегации, так и рассеянную вкрапленность в халькопирите и нерудном минерале. Пирит часто зональный, в центральных частях распространены пойкиллитовые включения сфалерита и халькопирита (рис. 5е). Для пирита зоны А характерно замещение халькопиритом (рис. 5д). Кристаллический пирит замещается халькопиритом в центральных пористых частях зерен, формируя атолловидную микротекстуру, а также в виде прожилок с образованием сетчатой микротекстуры. Колломорфный и тонкозернистый пирит часто замещаются халькопиритом вплоть до образования полных псевдоморфоз. При слабой халькопиритизации обнаруживаются включения самородного золота, колородаита и гессита, при сильной – включения акцессорных минералов отсутствуют. Псевдоморфозы пирита по пирротину редки в зоне А труб Юбилейного месторождения (рис. 9е).

*Халькопирит* образует сплошные и пятнистые агрегаты с аллотриоморфнозернистой структурой. Характерны включения кристаллического пирита различного размера. Халькопирит замещает пирит с образованием реликтовой, сетчатой и псевдоморфной микротекстура. Особенно часто замещается халькопиритом колломорфный и тонкозернистый пирит. В замещенных участках пирита наблюдаются мелкие включения блеклой руды и галенита. Содержание халькопирита в преобразованной зоне А может достигать 50 %.

*Сфалерит* образует включения и прожилки в пирите и халькопирите. Развиты сегрегации, сложенные почковидным или друзовым сфалеритом. Эмульсия халькопирита может как присутствовать так и отсутствовать в сфалерите зоны А.

*Блеклая руда и галенит* образуют редкие мелкие включения в псевдоморфозах халькопирита по пириту.

В трубах «черных курильщиков» на Юбилейном месторождении наиболее полно проявлены текстуры, образовавшиеся в процессе заполнения полостей – это друзовая, дендритовая колломорфная текстуры. Развиты процессы замещения пирита халькопиритом, формирующие сетчатые, коррозионные, атолловидные микротекстуры. Недеформированные и не разрушенные трубы «черных курильщиков» формируют кокардовую и зональную текстуру. В случае, когда руда сложена фрагментами труб, для неё характерна брекчиевая текстура. Для минералов всех зон характерна направленность роста: случае для зоны В и С рост идет в сторону осевого канала трубы (крустификация), а в оболочке трубы - в сторону периферии (инкрустация). Установлено, что для каждой зоны характерны свой набор текстур и структур (табл. 1).

**Таблица 1. Текстуры и структуры труб «черных курильщиков» Юбилейного месторождения**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Зона | Текстуры | Структуры | Микротекс-туры | Микроструктуры |
| А | пятнистая  брекчиевая  массивная | колломорфная  разнозернистая | почковидная  дендритовая  вкрапленная | аллотриоморфнозернистая идиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая,  пойкиллитовая, псевдоморфная,  разнозернистая  замещения  колломорфная |
| В | друзовая | разнозернистая | друзовая  вкрапленная | крупнозернистая  мелкозернистая эмульсионная, аллотриоморфнозернистая |
| С | почковидная  друзовая  обломочная | Аллотриоморфно-зернистая  крупнозернистая | почковидная  друзовая  порфировид-ная  дендритовая  вкрапленная | эмульсионная  фрамбоидальная аллотриоморфнозернистая  сетчатая,  мелкозернистая  тонкозернистая |

Присутствие в трубах «курильщиков» Юбилейного месторождения колломорфного пирита является характерной особенностью колчеданных месторождений уральского и кипрского типа. Отличием от труб «курильщиков» других уральских месторождений является отсутствие марказита.

Особую текстуру образуют полосы и прожилковидные агрегаты халькопирита формирующие брекчиевидно-полосчатую текстуру. Рост полос сфалерит-пирит-халькопиритового состава берет начало из фрагментов друзового халькопирита зоны В. Микроскопически полосы представляют собой агрегаты из аллотриоморфнозернистого, часто двойникового халькопирита с обильными включениями и пойкиллитами сфалерита и пирита, реже распространены галенит и блеклая руда. Пирит образует зернистые и фрамбоидальные агрегаты, часто замещаемые халькопиритом. Сфалерит формирует пойкиллиты в халькопирите. Вероятно, что пирит-халькопиритовые полосы образовались в результате пластических деформаций.

# 4.2.2 Минеральные особенности труб «черных курильщиков»

Изученные трубы по составу можно разделить на два ряда: **медноколчеданный** и **цинково-медноколчеданный**. В преобладающем медноколчеданном ряде можно выделить *кварц-пирит-халькопиритовый* и *карбонат-пирит-халькопиритовый*, в цинково-медноколчеданном – *сфалерит-кварц-пирит-халькопиритовый* и *сфалерит-карбонат-пирит-халькопиритовый* тип труб (рис. 6). Данные типы различаются по редкой и акцессорной минерализации. При карбонатном заполнении в зоне В и А распространены галенит и блеклая руда, при кварцевом – теллуриды. Количество блеклой руды и галенита возрастает от карбонат-пирит-халькопиритовых до сфалерит-карбонат-пирит-халькопиритовых. Особый *карбонат-тальк-сфалерит-пирит-халькопиритовый* тип труб был найден на Юбилейном месторождении Масленниковым В.В. [Maslennikov, 2013]

В *сфалерит-кварц-пирит-халькопиритовом* типе труб (рис. 7) осевой канал заполнен прозрачным кварцем с таблитчатыми и ксеноморфными выделениями халькопирита. Зона В3 сложена крупным копьевидным, угловатым халькопиритом образующие неплотные агрегаты в кварцевой матрице. Характерно обрастание халькопирита сфалеритом, а также крупные пластинчатые и ксеноморфные выделения сфалерита, частично замещенные халькопиритом.

|  |
| --- |
|  |

**Рис. 6. Зональность палеогидротермальных труб Юбилейного месторождения**.

Условные обозначения: 1 – почковидный колломорфный пирит; 2 – идиоморфный и гипидеоморфный пирит; 3 – пластинчатый пирит; 4 – друзовый или почковидный сфалерит; 5 – друзовый халькопирит; 6 – ксеноморный халькопирит; 7 – кварц, кальцит, осадок; 8 –теллуриды (гессит); 9 – золото; 10 – блеклые руды; 11 – наименования зон.

Для сфалерита зоны С и В3 характерна тончайшая эмульсионная вкрапленность халькопирита, в сфалерите зоны В3 обнаружены пластинки теллуровисмутита (рис. 7д). Зона В2 сложена копьевидным халькопиритом и обнаруживается обычно в самой мощной части зоны В. В зоне В1 появляется вкрапленность мелких идиоморфных и гипидиоморфных кристалликов пирита (рис. 7б), а также зерна сфалерита. В халькопирите зоны В1 обнаружены тончайшие пластинки теллуровисмутита, выделения колородаита и самородного золота (рис. 7д). В строении зоны А характерны вариации, зона неоднородна даже вокруг одного канала, состав сфалерит-пирит-халькопиритовый. Для зоны А характерны массивные и вкрапленные текстуры, с реликтами дендритовой и почковидной текстуры колломорфного и тонкозернистого пирита (рис. 7в). Структура халькопирита и сфалерита неравномернозернистая.

Кристаллический пирит зоны А образует мелко- и крупнозернистые выделения идиоморфной и гипидиоморфной формы. Характерны тонкие пойкиллиты сфалерита и халькопирита. По трещинкам в пирите развит халькопирит в котором обнаруживаются выделения колородаита (рис. 7е). В зоне А3 помимо вкрапленности и сегрегаций кристаллического пирита в кварц-халькопиритовой матрице наблюдаются слои обогащенные сфалеритом. Сфалерит образует ксеноморфные выделения размером до 200-300 мкм в срастании с халькопиритом и кварцем, а также образует включения и прожилки в пирите и халькопирите. Для сфалерита характерна эмульсионная вкрапленность халькопирита и тонкие включения пирита. Участками в нерудной и халькопиритовой матрице распространены скопления ксеноморфного и почковидного сфалерита, вероятно фиксирующего места выхода поздних гидротерм. Зоны А2 и А1 первоначально были сложены колломорфным, тонкозернистым и дендритовидным пиритом, который сохранился только в нерудной матрице.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 7. Сфалерит-кварц-пирит-халькопиритовая труба**: а – общий вид канала; б – гипидиоморфные кристаллы пирита в халькопирите зоны В1; в – реликты дендритовидного пирита зоны А в нерудной матрице; г- выделения золота в халькопирите В2; д – пластинка теллуровисмутита в сфалерите зоны В3; е – выделения колородаита в прожилках халькопирита и пирите зоны А. Отраженный свет. Фото а – полированный образец. Ширина поля зрения на фото б-в 1,2 мм.

В *сфалерит-карбонат-пирит-халькопиритовых* трубах (рис. 8а) осевой канал в зоне С3 выполнен белым карбонатом который к краям канала в зоне С1 становится темно-серым. Иногда в зоне С2 отмечается маломощная зона с друзовым халькопиритом, что указывает на краткое возобновление высокотемпературной гидротермальной деятельности. Зона С1 сложена темно-серым карбонатом с дендритовидными выделениями халькопирит-сфалеритового состава с включениями блеклой руды и зонального идиоморфного пирита. В зоне С1 развит крупный почковидный и друзовый сфалерит. В участках стыка кристаллов и почек сфалерита развиты прожилковидные включения самородного золота и галенита (рис. 8б). Для сфалерита характерна обильная эмульсионная вкрапленность халькопирита, в косом освещении он очень темный. Отмечено, что с самородным золотом ассоциирует сфалерит без «халькопиритовой болезни». Иногда в присутствии кристаллов и почек сфалерита в зоне С вырождаются зоны В2 и В1. Для зоны В3 характерны друзовые кристаллы халькопирита в нерудном матриксе, а также обрастание халькопирита сфалеритом и «присыпкой» из мелких кристалликов пирита. Совместно со сфалеритом на халькопирит зоны В3 иногда нарастает блеклая руда и галенит (рис. 8в). Зона В2 сложена копьевидным халькопиритом с редкими включениями идиоморфного пирита, ксеноморфного сфалерита, галенита и блеклой руды. В зоне В1 развит аллотриоморфнозернистый халькопирит с включениями идио- и гипидиоморфного пирита, ксеноморфного сфалерита, галенита и блеклой руды. Количество пирита и сфалерита обычно увеличивается в сторону зоны А (рис. 8г). В зоне А распространена вкрапленность зональных гипидиоморфных и идиоморфных кристаллов пирита в халькопирит-карбонатной матрице. Также развиты почковидные и дендритовидные агрегаты колломорфного и тонкозернистого пирита, находящиеся преимущественно в нерудной матрице (рис. 8д). Очень характерно замещение колломорфного пирита халькопиритом (рис. 8е). В псевдоморфном халькопирите по пириту появляются обильные включения блеклой руды и галенита. В зоне А обнаруживаются зональные зерна пирита, центральная пористая часть которых замещена халькопиритом, с образованием атолловидной микротекстуры. Участками в зоне А появляются обильные почки и зерна сфалерита, с характерной эмульсией халькопирита. В этом типе труб в зоне А в нерудной матрице и в срастании с сульфидами обнаружены прожилковидные выделения барита.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 8. Сфалерит-карбонат-пирит-халькопиритовая труба**: а – общий вид; б – золото-галенитовая ассоциация в сфалерите зоны С; в – обрастание халькопирита зоны В3 блеклой рудой и сфалеритом; г – прослой сфалерита между зонами В и А; различная сохранность колломорфного пирита: ж – дендриты колломорфного пирита в нерудном матриксе; з – замещение колломорфного пирита в халькопирите. Отраженный свет. Фото а – полированный образец. Ширина поля зрения на фото г 1,2 мм.

В *кварц-пирит-халькопиритовых* трубах (рис. 9а) осевой канал заполнен прозрачным или белым кварцем. В зоне С отмечаются обычно только ксеноморфные выделения халькопирита или редкие кристаллы пирита. В зависимости от трубы может присутствовать или отсутствовать зона В2. В зоне В отмечаются редкие включения идиоморфного пирита и ксеноморфного сфалерита, количество которых возрастает в сторону зоны А. Теллуриды в таком типе труб представлены колородаитом, сконцентрированном в зоне В3 и редко в В2 (рис. 9б). В зоне В2 также обнаружены выделения самородного золота (рис. 9в). В зоне В3 при приближении в краю канала увеличивается количество включения пирита с образованием вкрапленной текстуры (рис. 9г). Зона А неоднородна. Преобладают пирит-халькопиритовые массы, в которых кристаллический пирит цементируется аллотриоморфнозернистым халькопиритом и нерудной матрицей (рис. 9д). В халькопирите развиты мелкие включения ксеноморфного сфалерита. Сегрегации и дендриты тонкозернистого пирита распространенные в нерудной матрице. Редко обнаруживаются пластинчатые агрегаты пористого пирита, напоминающие псевдоморфозы по пирротину (рис. 9е).

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 9. Кварц-пирит-халькопиритовая труба**: а – общий вид, заметна различная мощность зоны А; б – выделение колородаита в халькопирите зоны В1; в – прожилковидное золото в халькопирите зоны В2; г – субгедральные кристаллы пирита в халькопирите В1; д – кристаллический гипидиоморфный пирит в нерудной матрице в зоне А3; е – псевдоморфозы по пирротину(?) в халькопирите зоны А. Отраженный свет. Фото а – полированный образец.

В *карбонат-пирит-халькопиритовых* трубах (рис. 10а) осевой канал выполнен белым и темно-серым карбонатом с крупными зональными кристаллами пирита в зоне С2 и С1 (рис. 10б), а также дендритовидными и ксеноморфными агрегатами халькопирита. В зоне В3 распространен друзовый халькопирит (рис. 10в). Зона В2 представлена копьевидными зернами халькопирита. В зоне В1 возрастает количество включения пирита и карбоната, появляются редкие включения галенита и блеклой руды. Блеклая руда обрастает халькопирит на границе зон В и А. Исходная зона А представлена почками и сеграгациями тонко- и мелкозернистого пирита с включениями и выполнением интерстиций халькопиритом и сфалеритом (рис. 10г).. В этого типа труб характерно сравнительно небольшое количество галенита и блеклой руды по сравнению со сфалерит-карбонат-пирит-халькопиритовым типом.

Главной особенностью выделенных минеральных типов труб является их близкое пространственное расположение: в одном крупном штуфе можно обнаружить трубы разных типов. Данный факт можно объяснить разным периодом деятельности труб, некоторые из которых могли проходить сквозь пористые оболочки ранее сформировавшихся.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |

**Рис. 10 Карбонат-пирит-халькопиритовая труба:** а – общий вид; б – зональный идиоморфный пирит зоны С1; в – друзовый халькопирит зоны В3; г – реликт корки тонкозернистого пирита зоны А сохраненного в нерудной матрице. Отраженный свет. Фото а – полированный образец. Ширина поля зрения фото б, г – 1,2 мм, в – 6 мм.

*4.2.3 Акцессорные минералы труб «черных курильщиков»*

Трубы «курильщиков» являются одними из главных концентраторов редкой минерализации в рудах колчеданных месторождений [Масленников, 1999; Масленникова, Масленников, 2007.] В трубах Юбилейного месторождения обнаружены самородное золото, колородаит, гессит и теллуровисмутит. Визуальный микроскопический анализ подтвержден на электронном микроскопе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).

*Самородное золото AuAg* образует ксеноморфные и изометричные выделения размером до 20 мкм в следующих ассоциациях (см. рис. 7г, 8б, 9в): 1) в почковидном и друзовом сфалерите зоны С; 2) в халькопирите зон В2 и В1 в ассоциации с блеклой рудой и галенитом; 3) в колломорфном и тонкозернистом пирите зоны А. По 8 анализам самородного золота в сфалеритовой ассоциации в зоне А и в халькопирите зоны В, определено как относительно низкопробное со средним содержанием серебра в 23.2 мас. % (от 21,12- до 25,91 мас. %). В колломорфном пирите золото среднепробное – в среднем содержание серебра равно 17,68 мас. % (от 17,38 до 17,19 мас. % по результатам трех анализов).

*Колородаит* *HgTe* образует изометричные и ксеноморфные выделения размером до 100 мкм (обычно до 10-20 мкм) серовато-коричневатого цвета в следующих ассоциациях (см. рис. 7е, 9б): 1) в халькопирите зоны В1 и В2; 2) в прожилках халькопирита и сфалерита в кристаллическом пирите зоны А; 3) в массах слабохалькопиритизированного тонкозернистого пирита зоны А.

*Гессит* *Ag2Te* является редким минералом и обнаружен в виде тонких включений в тонкозернистом пирите, в ассоциации с колородаитом.

*Теллуровисмутит* *Bi2Te3* образует изометричные и пластинчатые выделения белого цвета размером до 10-20 мкм в следующих ассоциациях: 1) во включениях сфалерита в халькопирите зоны В3; 2) в халькопирите на границе зон В2 и В1, а также в зоне В1 (см. рис. 7д).

Таким образом, теллуриды образуют несколько ассоциаций в трубах Юбилейного месторождения. Во-первых это подзоны В1 и В3 в друзовом халькопирите содержащие включения теллуруровисмутита и колородаита и отражающие переходные средне-высокотемпературные обстановки. Во-вторых, это колломорный пирит оболочек труб, при халькопиритизации которых образуются выделения самородного золота и колородаита. В-третьих, это прожилки халькопирита и сфалерита в крупнозернистом пирите зоны А, в которых обнаружен колородаит. Для первого случая предполагается гидротермальное происхождение теллуридной минерализации, для второго и третьего – наложенное. Минералы теллура найдены только в трубах «черных курильщиков» с кварцевым заполнением, и отсутствуют в трубах с карбонатами, в которых сменяются галенит-блекловорудной ассоциацией. Вероятно, что кварцевое заполнение труб фиксирует благоприятные для образования теллуридов физико-химические условия.

### 4.3 Углеродистое вещество цементирующей массы обломков труб «черных курильщиков»

В ходе микроскопического изучения обломков труб «черных курильщиков» в образце юб-12-97 были обнаружены выделения углеродистого вещества. Скорлуповидные, пластинчатые и изометричные выделения коричневого цвета размером до 100 мкм находятся в хлорит-сульфид-карбонатной цементирующей массе фрагментов труб. В скорлуповидных и пластинчатых образованиях просматривается волокнистое строение и наблюдается сильная анизотропия. Для этих образований характерна ассоциация со сфеном, вплоть до срастаний. В темнопольном свете органическое вещество черного цвета с просветами. Иногда пластинки углеродистого вещества продавливают пирит-халькопиритовые полосы. По формам выделения органического вещества (растресканные скорлупки) можно сделать вывод о его аллотигенном происхождении.

Для подтверждения органического состава выделений и изучения их состава и свойств были проведены физико-химические исследования. Спектроскопический анализ углеродистого веществапроведен на микроскопе-спектрофотометре МСФП-2Р. Полученные спектры отражения (рис. 11) показали, что исследуемое органическое вещество имеет коэффициент отражения в диапазоне от 5 до 11.5 % достигая максимальных значений в длине волны 690 нм. Для сравнения, показатели отражения антрацита достигают 1,5– 2 %, графит имеет показатель отражения около 15 %.

|  |
| --- |
|  |

**Рис. 11. Спектр отражения органического вещества.** Спектр получен с использованием микроскопа-спектрофотометра МСФП-2Р. Эталон металлический кремний.

Для установления состава органического вещества были проведены рентгеноспектральные анализы, выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с энергодисперсионной приставкой (аналитик В.А. Котляров). Было подтверждено, что данные выделения действительно являются органическим веществом, с некоторым недостатком суммарного количества элементов (табл. 2). Установлено, что некоторые выделения углеродистого вещества содержат волокнистые и сноповидные включения сульфида цинка и хлорита (рис. 12). Кайма вокруг некоторых выделений сложена хлоритом и сульфидом цинка с небольшим количеством углерода. В органике содержатся примеси стронция (до 2%), серы (до 9,5 %), кислорода (до 23%) (табл. 2 и 4).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

**Рис. 12. Выделения органического вещества в сульфидной матрице**

**Таблица 2. Химический состав органического вещества пластинчатых выделений, хлорита и кальцита (мас. %)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Точки  ан. | C | O | Mg | Al | Si | S | Fe | Zn | Sr | Ca | Сумма |
| органическое вещество | | | | | | | | | | | |
| b | 56.78 | 28.71 | 2.92 | 1.34 | 2.38 | 5.76 | 0.47 | 0.84 | 0.80 | 0.00 | 100.00 |
| e | 38.04 | 10.70 | 1.84 | 0.96 | 1.89 | 18.01 | 0.75 | 26.70 | 0.88 | 0.23 | 100.00 |
| f | 5.16 | 2.20 | 0.00 | 0.00 | 0.36 | 33.76 | 0.78 | 56.41 | 1.34 | 0.00 | 100.00 |

Продолжение таблица 2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Точки  ан. | MgO | SiO2 | CaO | MnO | FeO | SrO | Al2O3 | Сумма |
| кальцит | | | | | | | | |
| a | 5.22 | 0.49 | 48.71 | 0.56 | 0.15 | 1.34 | 0.00 | 56.47 |
| хлорит | | | | | | | | |
| d | 33.82 | 32.70 | 0.26 | 0.28 | 1.79 | 0.00 | 18.67 | 87.52 |
| c | 33.31 | 32.99 | 0.16 | 0.37 | 1.35 | 0.00 | 20.44 | 88.62 |

*Примечание*: анализы выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с энергодиспесионной приставкой (аналитик В.А. Котляров). Напыление оловом. Эталон на углерод – кальцит. Анализы b, e, f рассчитаны на 100%. В анализах a, d, c отсутствуют содержания кислорода.

|  |  |
| --- | --- |
| **а** | **б** |

**Рис. 12. Сульфид цинка органических выделений:** а –микрозернистое строение каймы сульфида цинка; б – волокна сульфида цинка вещества. Изображения во вторичных электронах выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с энергодиспесионной приставкой (аналитик В.А. Котляров).

Снятые спектры подтвердили органическую природу исследуемого вещества. Для сравнения сняты спектры эпоксидной смолы и алмазной пасты 0/1. Выявлено, что спектр керогена совершенно не похож на спектры смолы и алмазной пасты. Спектр углеродистого вещества содержит 2 широких пика: 1332-1348 см-1 и 1588-1593 см-1 (рис. 13). По спектрам также определено, что вещество люминесцирует (выражается во «вздымании» линии спектра). Полученный спектр керогена сходен со спектром рентгеноаморфного графита с линиями 1360 и 1582 см-1. Под воздействием лазера (t ≈100-1500) кероген выгорал с образованием ямки. Также иногда отмечается образование капелек жидкости на поверхности аншлифа вокруг прожженной ямки.

Особый интерес представляет собой обнаружение пиков углеродистого вещества в темно-сером карбонате цемента обломков труб. Микроскопически карбонат однороден, белого цвета без видимых включений органики. Однако методом рамановской спектроскопии определены помимо тонких пиков карбоната 2 широких пика с интенсивностью 1342 и 1609 см-1, очень близких к линиям органического веществаДля карбоната характерно появление люминесценции (выражается в «воздымании» графика) Для сравнения снят спектр белого карбоната в осевой части обломка канала трубы. Спектр белого карбоната не содержит пиков органики, нет люминесценции, тонкие пики полностью соответствуют линиям карбоната баз данных.

Кероген редок для руд колчеданных месторождений Урала. Например, на неметаморфизованном месторождении Яман-Касы в сульфидных гравелитах найдены графитизированные створки ракушек [Сафина, Масленников, 2008]. Нахождение углеродистого вещества в рудах и возможное органогенное происхождение карбоната указывают в пользу взаимодействия фауны и колчеданообразующей гидротермальной деятельности.

|  |
| --- |
| а |
| б |

**Рис. 13.** Характерный спектр углеродистого вещества, пики 1333 и 1592 см-1 (а) и темно-серого карбоната цементирующей массы с люминесценцией и пиками углеродистого вещества 1342 и 1609 см-1 (б). Спектры получены на рамановском спектрометре Horiba Jobin Yvon HR 320 (аналитик Лебедева С.М.) в результате сложения 10 промежуточных спектров со временем накопления 20 секунд в диапазоне 100–3000 см-1.

### 4.4 Биоморфные серноколчеданные руды

Биоморфные руды отобраны на рудном складе серного колчедана Юбилейного месторождения. Руды представляют собой массивные сплошные серноколчеданные руды халькопирит-карбонат-пиритового состава, сложенные тонкозернистым, фрамбоидальным и колломорфным пиритом. Обнаружены сульфидизированные остатки фауны, вероятно червей полихет (рис. 14 а, б). Остатки представляют собой округлые, овальные и продолговатые выделения, стенки которых выполнены фрамбоидальным пиритом с инкрустацией и крустификацией кристаллическим пиритом, и центральной частью заполненной карбонатом или халькопиритом (рис. 14б).

*Пирит* образует сплошные тонкозернистые массы, фрамбоиды, почковидные агрегаты колломорфного и радиально-лучистого пирита (рис. 14в, г). В крупных зернах пирита после структурного травления проявляется зональность роста и секториальная форма (рис. 14д). Фрамбоидальный пирит слагает стенки сульфидизированных червей.

*Халькопирит* выполняет биоморфные текстуры (рис. 14б) и образует эмульсионную вкрапленность в сфалерите (рис. 14е).

*Сфалерит* развит в виде прожилков и обрастаний почек пирита. Образует зернистые и пластинчатые агрегаты, часто двойниковые (рис. 14е). Для сфалерита биоморфных руд характерна «халькопиритовая болезнь». Сфалерит иногда обрастает турбочки полихет.

Для биоморфных руд характерно сочетание органогенных и колломорфных структур, которые указывают на сочетание гидротермально-осадочных процессов и деятельности пригидротермальной фауны. Текстуры фестончатые, массивные, почковидные, друзовые. Обилие фрамбоидального пирита может указывать на участие морской воды и относительно низких температур рудообразования.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 14. Биоморфные руды:** а –общий вид; б –овальные биоморфные текстуры: стенки сульфидизированных полихет сложены пиритом, центр – карбонатом; в – реликт зональной почки сложенной фрамбоидальным и колломорфным пиритом; г – выдеелния фрамбоидального пирита; д – секториальная затравка в зерне пирита; е – включения халькопирита в сдвойникованном сфалерите. Отраженный свет. Ширина поля зрения фото б – 6 мм, фото – в 1,2 мм. Фото а – шлифованный образец.

### 4.5. Сульфидные ритмиты

Сульфидные ритмиты залегают на сплошных колчеданных рудах содержащих обломки труб «черных курильщиков» и перекрываются пластообразным телом стратифицированных апогиалокластогенных хлоритолитов основного состава, а затем и вулканогенными брекчиями. Простирание пластообразного тела сульфидных римтитов северо-северо-западное до меридионального, падение северо-северо-восточное под углом 45–55°. Сульфидные песчаники широко распространены на выклинках многих колчеданных месторождений Урала [Сафина, 2008; Масленников, 2006]. Обнаруженные отложения можно отнести к кластогенной фации, представляющие собой продукт сильного разрушения сульфидной гидротермальной постройки.

Сульфидные ритмичные отложения Юбилейного месторождения сложены чередующимися сульфидными и кварц-хлоритовыми сломи (рис. 15а). Слоистость преимущественно горизонтальная, параллельная с часто выраженной сортировкой сульфидного материала. В редких случаях мы наблюдаем выпуклую или волнистую слоистость. Мощность нерудных и сульфидных слоев достигает 2 см. Сульфидные слои имеют псаммит-псефитовую структуру и состоят из обломков пиритового и пирит-халькопиритового состава. Максимального размера в 5-10 мм достигают пирит-халькопиритовые выделения. Форма выделений различна: для пиритовых рудокластов –изометричная, часто трещиноватая; для халькопиритовых – вытянутая, ориентированная по слоистости. Контакт сульфидных слоев с нерудными – резкий, часто со знаками нагрузки. Часто проявлена сортировка материала, но преобладают слои с полосчатой текстурой и без сортировки. В таких случаях слой перекрывается алевритовым маломощным (до 3 мм, иногда до 7 мм) нерудным прослоем, содержащим в среднем около 20 % тонкообломочного сульфидного материала. Содержание сульфидов в самих рудных слоях от 40 до 70 %. Кварц-хлоритовые слои имеют алевритовую структуру и часто содержат вкрапления сульфидов, с преобладающими обломочками халькопирита размером до 0,5 мм. Содержание сульфидов в нерудных слоях около 5 %, но может достигать 10-15 %. Иногда проявлено окварцевание нерудных слоев. Как в рудных так и в нерудных слоях мы наблюдаем черные обломки хлоритизированных гиалокластов. Гиалокласты достигают размеров до 2 см, форма их как изометричная, так и вытянутая. При микроскопическом изучении преимущественно гиалокласты однородные. В некоторых гиалокластах сохранились реликты лейстов плагиоклаза и миндалины заполненные халькопиритом и хлоритом.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | |

**Рис. 15. Сульфидные ритмиты Юбилейного месторождения**: а – сульфидные слои без сортировки с крупными обломками пирит-халькопиритового состава и гиалокластами. Заметно окончание сульфидного слоя тонкообломочным материалом с развитыми прожилками кварц-халькопиритового состава; б – сульфидные слои с многочисленными гиалокластами; в – след размыва и оползания сульфидных ритмитов с обломками литифицированных слоев. Шлифованные образцы.

Нарушение горизонтальной слоистости вызвано оползанием слоев (см. рис. 15, в). В нарушенных слоях сульфидный материал перемешан, нет сортировки, и присутствуют обломки слоев. Отдельные линзы сложены алевритовым материалом с крупными гиалокластами. В рудных слоях преобладают гравийно-псаммитовые обломки пиритовых и халькопирит-пиритовых руд и угловатые удлиненные обособления хлоритизированных гиалокластов почти черного цвета. В сульфидных слоях присутствуют согласные со слоистостью кварц-халькопиритовые жилки. Вертикальная градация сульфидного обломочного материала в рудных слоях проявлена не всегда отчетливо. Ритмичное строение сульфидно-хлоритолитовых слоев иногда нарушаются выклиниванием отдельных слоев, размыванием нижележащих слоев, возникновением слойчатости или «следов оплывания», свидетельствующих о течении вязкого разжиженного потока сульфидного материала по склонам холмообразной постройки. В участках размыва наблюдаются обломки сульфидных и хлорит-кварцевых слоев, что может указывать на их разрушение уже в литифицированном состоянии. Характерно отсутствие в размытых участках кварц-халькопиритовых прожилков. Размер рудных обломочков и гиалокластов в одном слое и даже в разных частях слоя примерно соответствуют друг другу. В кварц-хлоритовых слоях отмечается присутствие сульфидных обломочков представленных преимущественно халькопиритом и мелких гиалокластов.

Нижние границы сульфидных слоев всегда резкие, неровные, есть следы продавливания кварц-хлоритовой породы. Верхние границы сульфидных слоев постепенные, с уменьшение количества сульфидов в нерудной массе и уменьшением размеров сульфидного материала и гиалокластов. Соотношения сульфидной массы и гиалокластов различны. Гиалокласты могут насчитывать несколько процентов от общей массы так и достигать равного соотношения с сульфидной массой (рис.15б). Распределение гиалокластов по сульфидным слоям в основном равномерное, но иногда гиалокласты тяготеют к верхним частям слоев или образуют прослои в средней части. Разное содержание гиалокластов в слоях может указывать на стадийность их поступления.

Сульфидный материал в ритмитах представлен преимущественно пиритовыми обособлениями, пирит-халькопиритовыми вытянутыми обломковидными обособлениями и кварц-халькопиритовыми прожилками. Для пиритовых обособлений характеры кристаллографические очертания зерен, пористая центральная часть, многочисленные включения и прожилки халькопирита и сфалерита (рис. 16б). Центральная пористая часть пиритовых выделений и плотная краевая разделяются четкой границей. Размер выделений пирита до 0,5 мм. Пирит интенсивно халькопиритизируется, вплоть до образования полных псевдоморфоз. Часто в центральных частях пиритовых зерен развиты радиально расходящиеся тонкие пойкиллиты сфалерита и халькопирита (рис. 16а). Подобные выделения распространены и в пирите зоны А труб «курильщиков». Зональность роста в пирите достаточно редка. Нами не обнаружены признаки срезания текстурного рисунка для пиритовых зерен. Для сульфидных ритмитов характерно полное отсутствие фрамбоидального и колломорфного пирита.

Для пирит-халькопиритовых обособлений характерна вытянутая, часто изогнутая форма, размером до 2 см (рис. 16в). Макроскопически могут быть приняты за халькопиритовые. Но микроскопически обнаружено, что в халькопирите таких выделений неоднородно рассеяны кристаллы пирита. Травление халькопирита в парах «царской водки» показало тонко- и мелкозернистое аллотриоморфнозернистое и пластинчатое строение (рис. 16г). Двойники редки. Обнаружен плохо протравлеваемый халькопирит внутри атолловидных скоплений пирита. В кварц-халькопиритовых прожилках халькопирит имеет мелко-среднезернистое аллотриоморфнозернистое, пластинчатое, часто двойниковое строение (рис. 16е). Пластинки халькопирита часто изогнуты, что указывает на их деформационную природу. Участками в халькопирите есть мелкая вкрапленность пирита, при этом цементирующий её халькопирит становится тонкозернистым. Иногда в халькопирите прожилков проявлена спайность. Также стоит отметить халькопиритовые обломки в кварц-хлоритовых и тонкообломочных сульфидных слоях. Такие обломки имеют размеры до 0,1-0,2 мм. Для них не характерны включения пирита. Халькопирит имеет пластинчатое и аллотриоморфное строение (рис. 16д). Двойники не характерны.

Содержание халькопирита в сульфидных слоях варьирует от 20 до 45 %(в среднем 30 %), пирита от 9 до 30 % (в среднем 18-20 %), в кварц-хлоритовых слоях содержание сульфидов всего несколько процентов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Рудные | Нерудные |
| Главные | Пирит, халькопирит | Кварц, хлорит |
| Второстепенные | Сфалерит, пирротин, борнит | Лейкоксен, сфен |
| Редкие | Золото, теллуровистит, гессит, колородаит, раклиджит, петцит, алтаит, волынскит | Апатит |
| Очень редкие | Галенит, калаверит, штютцит, клаусталит |  |

**Таблица 3. Минеральный состав сульфидных ритмитов**

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 16. Главные минералы сульфидных ритмитов**: а –ориентирвоанные пойкиллиты сфалерита в ядре зерна пирита; б – возможный реликт обломочного пирита содержащего пойкиллиты сфалерита и халькопирита и обрастающий поздним плотным пиритом; в – удлиненные обломковидные выделения халькопирита; г – пластинчатое и зернистое строение обломковидных выделений халькопирита; заметны участки с не протравливаемым халькопиритом; д – выделения халькопирита из хлорит-кварцевых слоев с аллотриоморфнозернистым строением без двойников; е – халькопирит из кварц-пиритовых прожилков с пластинчатым и сдвойникованным строением. Отраженный свет. Ширина поля зрения фото в, г – 1,2 мм. Фото г - е протравлено в парах царской водки.

Из вторичных минералов в сульфидных ритмитах распространены сфалерит, борнит и пирротин. Сфалерит образует редкие обломковидные обособления, включения и прожилки в пирите. Борнит развивается по халькопириту преимущественно в кварц- хлоритовых слоях. Пирротин образует редкие включения в пирите и частично замещает пирит в зонах роста. Замещение пирита пирротином вероятно связано с присутствием в ритмитах базальтовой гиалокластики.

Заслуживает особого внимания обнаружение многочисленных выделений самородного золота и разнообразных теллуридов размером до 10–20 мкм в изученных сульфидных ритмитах Юбилейного месторождения. По результатам атомно-абсорбционного анализа в сульфидных слоях содержание золота достигает 31.26 г/т, серебра 38.30 г/т, а в кварц-хлоритовых слоях уменьшается до 7.35 и 18.7 г/т, соответственно [Аюпова и др., 2012]

Золото в сульфидных песчаниках связано с пиритовыми рудокластами с прожилками и включениями халькопирита и сфалерита и встречается в различных ассоциациях (табл. 4) :

1) многочисленные кристаллоподобные выделения золота размером 2-5 мкм установлены в пиритовых рудокластах в ассоциации с халькопиритом замещающим пирит;

2) ксеноморфные выделения золота размером от мельчайших до 10-20 мкм обнаружены в сфалерит-халькопирит-пиритовой ассоциации, выполняющей трещины в пиритовых рудокластах, и в зоне цементации пиритовых агрегатов халькопиритом и сфалеритом; характеризуются разнообразной формой и извилистыми очертаниями; часто наблюдаются совместно c золотом мельчайшие выделения колорадоита, раклиджита и теллуровисмутита (рис. 17а);

3) золото размером 3-5 мкм в пиритовых обломках, содержащих вкрапленность гессита, представлено тончайшими сглажено-угловатыми, пластинчатыми выделениями;

**Таблица 4. Состав и ассоциации самородного золота в рудокластах сульфидных ритмитов Юбилейного медно-цинково-колчеданного месторождения**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Минеральная ассоциация | Содержание Ag масс. % | Содержание Au масс. % |
| халькопирит-пиритовая  (17 ан.) | 19.48  18.26–21.43 | 80.52  79.01–81.74 |
| сфалерит-халькопирит- пиритовая  (14 ан.) | 18.67  16.81–20.40 | 81.34  79.60–83.19 |
| гессит-пиритовая  (5 ан.) | 15.29  14.50–16.77 | 84.71  83.23–85.50 |

Примечание. Анализы выполнены на приборе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).

В пирит-халькопиритовых и сфалеритовых обломках, а также в кварц-халькопиритовых прожилках золотины очень редки. Золото в сульфидных турбидитах отнесено к среднепробной (803–855 ‰) разновидности.

По сравнению с другими уральскими колчеданными месторождениями в сульфидных ритмитах Юбилейного месторождения наряду с самородным золотом, отмечается аномально высокая концентрация разнообразных теллуридов.

В сульфидных слоях в сфалерит-халькопирит-пиритовой ассоциации выделения золота сопровождаются присутствием мельчайших образований колорадоита HgTe, раклиджита PbBi2Te4, иногда пластинчатых кристаллов теллуровисмутита Bi2Te3, изометричных образований гессита Ag2Te, петцита AuAg3Te2 и калаверита AuTe2. Многие теллуриды образуют самостоятельные выделения с прямолинейными ограничениями. Некоторые пиритовые рудокласты содержат обильную тонкую вкрапленность гессита размером менее 2-3 мкм [Аюпова и др., 2012]

*Теллуровисмутит Bi2Te3*  в своем составе содержит примесь Pb (до 6,5%), иногда Ag (до 3,3 %) и Se (до 2,3 %). Теллуровисмутит встречается только в сульфидных слоях. Он образует пластинчатые, изометричные выделения белого, иногда немного синеватого цвета с шагренью и царапинами (рис. 17г).

*Алтаит PbTe* наиболее часто приурочен к халькопиритовым обломкам в кварц-хлоритовых слоях. Образует изометричные ксеноморфные выделения чистого белого цвета почти без шагрени. В кварц-хлоритвых слоях в ассоциации с клаусталитом содержит до 2 % Se. Образует сростки с колорадоитом, раклиджитом, волынскитом, штютцитом.

*Раклиджит PbBi2Te4* более распространен в сульфидных слоях (рис. 17в). В кварц-хлоритовых слоях образует сростки с волынскитом, алтаитом. Заметны колебания содержания свинца от 17 до 13 %. В кварц-хлоритовых слоях содержит примесь селена.

Довольно широким распространением пользуется *колорадоит HgTe*, часто ассоциирующий с золотом в сульфидных слоях и с гесситом и алтаитом в кварц-хлоритовых слоях. Общим для минералов теллура в сульфидных слоях является их чрезвычайно мелкий размер, из за чего качественный спектр, который можно рассчитать, удавалось снять далеко не всегда.

*Клаусталит PbSe* образует тончайшую вкрапленность (до 0,5 мкм) в халькопиритовых обломках в кварц-хлоритовых слоях (см. рис.17 е). Ассоциирует с селенсодержащими алтаитом и раклиджитом.

Для сульфидных и кварц-хлоритовых слоев характерна различная ассоциация акцессорных минералов. В сульфидных слоях распространены самородное золото, галенит, гессит, колородаит, теллуровисмутит, раклиджит, петцит, калаверит и штютцит. Все они обнаружены в прожилках сфалерита и халькопирита по пириту, а также в самом пирите. В халькопиритовых обособлениях в кварц-хлоритовых слоях обнаружены гессит, колородаит, алтаит, раклиджит, волынскит, клаусталит.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 17. Акцессорная минерализация в сульфидных ритмитах**: выделения самородного золота: а – в сфалерите в ассоциации с теллуровисмутином; б – в пирите; в – зерно раклиджита в пирите; г – выделения теллуровисмутина в ассоциации со сфалеритом; д – зерно гессита и пластинка волынскита из кварц-хлоритового слоя; е – тончайшая вкрапленность клаусталита в халькопиритовых обломков кварц-хлоритовых слоев. Отраженный свет. е – фото СЭМ.

Сульфидные ритмиты представляют собой существенно преобразованные руды. В пользу этого указывают следующие факты: 1) отсутствие срезания текстурного рисунка у обломков; 2) часто неразличима прогрессивная сортировка, сульфиды сливаются вплоть до образования полосчатой текстуры; 3) очень характерное замещение кристаллического пирита халькопиритом; 4) пирротинизация пирита; 5) отсутствие обломков халькопирита труб «черных курильщиков»; 6) отсутствие колломорфного и фрамбоидального пирита; 7) появление кварц-халькопиритовых прожилок. Перечисленные процессы, вероятно, связаны с прошедшими процессами диагенеза приведшие к растворению и перераспределению сульфидных минералов.

Характерная удлиненная форма пирит-халькопиритовых обломковидных агрегатов, заставляет задуматься об их сходстве с халькопиритом каналов труб «курильщиков». Однако отличия в микротекстурах и микроструктурах указывают в пользу преобразованности халькопирита ритмитов. Еще одной чертой сходства песчаников с трубами является наличие в ядрах зерен пирита тонких ориентированных пойкиллитовых структур, распространенных в зоне А «курильщиков». Пространственная близость труб всех выделенных типов заставляет задуматься о том, что сульфидные ритмиты представляют собой продукт разрушения труб разных типов. Отсутствие же характерных обломков колломорфного пирита, почковидного и друзового сфалерита и халькопирита вероятно связано с их растворением в стадию диагенеза.

### 4.6 Полосчатые сфалерит-пирит-халькопиритовые руды

Руды обнаружены нами на рудном складе карьера «Юбилейный» представляют собой сплошные полосчатые руды без нерудных прослоев и обогащенные халькопиритом. Частично сохранена и слоистая текстура руд. Вероятно, слоистые руды претерпели процессы интенсивного преобразования в стадию диагенеза, и полностью изменили свой первоначальный облик [Масленников, 2006]. Отличием от сульфидных ритмитов является отсутствие нерудных прослоев. Полосчатость вызвана различными содержаниями пирита, халькопирита, кварца и сфалерита. Встречаются линзовидные слои и фрагменты тонкозернистого пирита. Выделяются сфалерит-кварц-пирит-халькопиритовые и пирит-кварц-сфалерит-халькопиритовые полосы. Для первых характерна повышенная пористость и вкрапленность крупных (до 0,5 см) зерен пирита. Для вторых – сфалеритовые пойкиллиты в халькопирите, и малое количество пирита. Микроскопически для сфалерит-кварц-пирит-халькопиритовых полос выявляется густовкрапленная и порфировая текстура, для пирит-кварц-сфалерит-халькопиритовых – пойкиллитовая структура. Отдельные слои обогащены галенитом и блеклой рудой. Пирит образует кристаллы до 0,5 мм идиоморфной и изометричной формы, центральные части зерен содержат ориентированные пойкиллиты сфалерита и халькопирита. Для пирита характерны прожилки и включения халькопирита. Для полосчатых руд не характерен фрамбоидальный и колломорфный пирит. Халькопирит составляет основную массу полосчатых руд, его содержание варьирует от 55 до 85 %, для него характерна аллотриоморфная текстура. Сфалерит образует пойкиллиты в халькопирите, линзовидные и обломковидные обособления в кварц-халькопиритовой матрице. Сфалерит содержит пластинки и тонкие включения халькопирита, в косом освещении светло-желтого цвета, прозрачный. Галенит и блеклая руда образуют редкие ксеноморфные включения в халькопирите и сфалерите.

Редкая минерализация представлена только гесситом, который образует редкие включения до 20 мкм в сфалерите. Выделений других теллуридов и самородного золота не обнаружено.

Характерная особенность полосчатых руд это их преимущественно халькопиритовый состав и отсутствие нерудных слоев. От сульфидных ритмитов их отличает появление порфировой и пойкиллитовой текстуры пирита и сфалерита, исчезновение гиалокластов. Полосчатые руды не содержат богатую золото-теллуридную минерализацию, характерную для сульфидных песчаников.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 18. Полосчатые сфалерит-пирит-халькопиритовые руды:** а –образец сфалерит-пирит-халькопиритовой полосчатой руды; в верхней части заметны реликты слоистости; б – пойкиллитовые выделения сфалерита в халькопирите; в- порфировые выделения пирита в кварц-халькопиритовой матрице; г – ориентированные пойкиллиты сфалерита в выделении пирита; д – обломковидное выделение сфалерита, обрастающее блеклой руды в халькопирит-кварцевой матрице; е – выделение гессита в сфалерите. Отраженный свет. Ширина поля зрения фото в, д – 1,2 мм. Фото а – полированный образец.

### 4.7 Сфалерит-борнит-халькопирит-пиритовые руды

Для борнитовых руд характерны обломоковидная, пятнистая и массивная текстуры и мелкозернистая структура. Микротекстуры: цементная, пятнистая, прожилковая, сетчатая. Микроструктуры аллотриоморфно-, гипидиоморфно- и идиоморфнозернистая. Руда сложена обломковидными обособлениями халькопирит-пиритового состава находящимися в пирит-халькопирит-карбонатном матриксе (рис. 19а). Характерна пропитка нерудной матрицы халькопиритом и борнитом, содержащими включения сфалерита и блеклой руды. Главные и второстепенные минералы представлены халькопиритом, пиритом, борнитом, сфалеритом, галенитом, блеклой рудой.

*Халькопирит* образует сегрегации и скопления аллотриоморфнозернистой структуры в нерудной матрице, в виде своеобразной пропитки, цементирующей выделения других рудных минералов. Характерно развитие халькопирита по пириту с образованием сетчатой микротекстуры и замещения центральных частей пирита.

*Пирит* образует в основном мелко- и тонкозернистые зерна идиоморфного и гипидиоморфного пирита. Пирит слагает обломковидные агрегаты, одиночные кристаллы и сростки зерен. Характерно замещение пирита халькопиритом, развивающегося в виде прожилков и замещающих центральные части зерен. Полные псевдоморфозы не характерны. При замещении пирита в халькопирите и борните обнаруживаются мелкие включения гессита, галенита и блеклой руды.

*Борнит* образует пятна, прожилки и пропитку в нерудной матрице и пирит-халькопиритовых агрегатах. Содержание борнита достигает 10-20 %, для него характерны агрегаты сложной, ветвистой формы развитые в карбонатной матрице в ассоциации с халькопиритом и сфалеритом. По-видимому, борнит развивается по халькопириту (рис. 19б).

*Сфалерит* образует выделения размером до 500 мкм изометричной, кристаллографичной и ксеноморфной формы, для которых не характерна «халькопиритовая болезнь». В косом освещении сфалерит темный, непрозрачный. Как и блеклая руда, сфалерит находится преимущественно в виде включений в борнит-халькопиритовой массе.

*Галенит* образует мелкие ксеноморфные включения в халькопирите и очень тонкие пластинки в борните. Галенитпо результатам анализов почти всегда содержит примесь селена до 2,5 мас. %. Размер выделений достигает 100 мкм. Иногда галенит образует сростки и замещается по краям зерен гесситом.

*Блеклая руда* образует мелкие ксеноморфные выделения до 60 мкм халькопирите и борните (рис. 19е). Ассоциирует с галенитом. Проанализированная блеклая руда относится к теллурсодержащему теннантиту. Содержание теллура достигает 2,14 мас. %. Характерна примесь цинка до 6,7 мас. %. Теннантит достигает размера 100-200 мкм.

Акцессорная минерализация борнитовых руд представлена самородным золотом, колуситом, гесситом и медистым кервеллеитом.

*Самородное золото AuAg* было обнаружено в виде прожилков в борните и в трещинках в пирите залеченных халькопиритом и борнитом (рис. 19в). Размер выделений до 10 мкм. Золото является более низкопробным чем в трубах и песчаниках, содержание серебра достигает 29,45 мас. %.

*Колусит Cu26V2(As,Sn,Sb, Ge)6S32* обнаружен в виде мельчайших изометричных включений до 10 мкм в борните (рис. 19г). Цвет коричневатый, светлее борнита и не покрывается окислительной пленкой. Количественный анализ ввиду размеров выделений получить не удалось, но в спектре присутствуют линии меди, серы, олова, ванадия, мышьяка и железа.

*Гессит**Ag2Te уставнолен* в тесной ассоциации с галенитом и кервеллеитом в виде мелких включений до 20 мкм в борните. Характер выделений – каймы вокруг галенита и сростки с ним – могут говорить о замещении галенита гесситом (рис. 19д).

*Медистый кервеллеит* *(Ag,Cu)4(Te,S)* найден в виде единичного сростка с гесситом. Содержание меди достигает 11,5 мас. %. Размер зерна 20 мкм.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 19. Борнитовые руды:** а – сфалерит-карбонат-халькопирит-борнитовая основная масса; б – замещение пирита халькопиритом, а затем халькопирита – борнитом; в - выделения самородного золота в борните в ассоциации с ковеллином и галенитом; г – выделения колусита в борните; д – замещение галенита гесситом; е – выделения блеклой руды и галенита в халькопирите. Отраженный свет. Ширина поля зрения фото а – 1,2 мм.

Вероятно, что формирование борнитовых руд связано с поздней наложенной гидротермальной активностью, обусловившей появление борнита.

Характер редкой минерализации в борнитовых рудах отличается от состава труб «курильщиков» на Юбилейном месторождении. Если в трубах мы имеем четкое разделение галенита+блеклые руды и теллуридов, то в борнитовых рудах они ассоциируют друг с другом. Сходность ассоциации борнитовых руд с редкой минерализацией в гематит-карбонатных породах, наводит на мысли о специфических окислительных условиях при их формировании.

### 

### 4.8 Кремнистые пелитолиты

Кремнистые пелитолиты представлены переслаивающимися с сульфидными ритмитами пиритсодержащими породами. Пелитолиты представляют собой плотную кремнистую алевритовую породу коричневатого цвета, с пелитовыми хлоритсодержащими слоями темно-зеленого цвета, обогащенными пиритом (рис. 20а). Пирит достаточно рассеян и не образует сплошных слоев. Зеленые пиритсодержащие слои имеют резкую нижнюю границу и постепенную верхнюю. Количество пирита в зеленых пелитовых слоях убывает снизу к верху, что может указывать на реликтовую градацинную слоистость. Мощность пиритсодержащих слоев достигает 1 см. Присутствуют редкие угловатые хлоритизированные гиалокласты, тяготеющие к пелитовым слоям (рис. 20в).

*Пирит* представлен идиоморфными и гипидиоморфными кристаллами и обломковидными обособлениями до 2 мм диаметром (рис. 20б). Для кристаллического пирита не характерны включения других рудных минералов, после травления в HNO3+CaF2 в нем проявляется зональность роста. Для обломковидных выделений характерна зональность: центр представлен пористым пиритом с гематит-кварцевыми и гематитовыми, нерудными и халькопиритовыми включениями, краевая часть плотная, с выделениями золота и гессита, иногда с прожилками халькопирита и сфалерита. Пирит сосредоточен в зеленоватых пелитовых слоях. многочисленных в пирите. В силицитовой массе находятся также вытянутые и сгустковидные выделения *халькопирита* размером до 0,5 мм. В халькопирите есть мелкие включения блеклой руды и сфалерита (рис. 20г). Распространен также лейкоксен образующий хлопьевидные сгустки белого и голубоватого цвета. Часто ассоциирует с халькопиритом.

Обнаружен прослой в кремнистой массе содержащий округлые и овоидные текстуры, похожие на остатки радиолярий. Слой характерен обилием выделений лейкоксена (рис. 20е).

Таким образом, для кремнистых пелитолитов характерна полосчатая текстура, гип- и идиоморфнозернистая, тонко- и мелкозернистая структура. Появляются биоморфные структуры. Для породы не характерно замещения рудокластов и гиалокластов кремнистым материалом.

*Самородное золото* и *теллуриды* обнаружены в нескольких крупных обломковидных выделениях пирита (рис. 20д). Редкая минерализация приурочена к плотной внешней оболочке пиритовых обособлений имеющей кристаллографические очертания. Теллуриды оптически диагностированы как гессит и алтаит. Гессит образует ксеноморфные и округлые включения и пластинки серого цвета и шагреневой поверхностью. Алтаит образует пластинчатые выделения золотисто-белого цвета. Самородное золото образует как самостоятельные изометричные включения в пирите, так и образует срастания с алтаитом и гесситом. Размер выделений теллуридов до 20 мкм, золото до 10 мкм.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 20 Кремнистый пелитолит**: а – общий вид; б - зональные пиритовые обломковидные выделения; в– темно-зеленые гиалокласты среди обособлений пирита; г – выделения блеклой руды в халькопиритовом обломке; д – золото-гесситовая (?) ассоциация в ОСО; е – лейкоксеновый прослой с реликтами радиолярий. Отраженный свет. Ширина поля зрения б, в, е – 1,2 мм. Фото в, е – фото в косом освещении. Фото а – шлифованный образец.

### 4.9 Госсаниты и гематит-карбонатные породы

Госсаниты **–** красноцветные оксидно-железистые апосульфидные отложения, являющиеся литифицированными продуктами субмаринного окисления колчеданных руд [Масленников, 1999; Аюпова, Масленников, 2005; Maslennikov et al., 2012]. Относятся к фации субмаринного гипергенеза. Они имеют гематитовый или маггемит-магнетитовый состав, содержат примеси хлорита, барита, карбонатов и реликты сульфидов. Отнесение красноцветных пород к госсанитам может быть с уверенностью выполнено при наличии высоких содержаний в породе железа, цветных и благородных металлов, а также определенных соотношениях петрогенных элементов. Нами не сделан химический анализ породы, однако по наличию псевдоморфоз по рудокластам и гиалокластам, гематит-карбонатная порода отнесена к госсанитам.

Породы представлены красными, красноватыми и серыми карбонатными породами с хлоритизированными гиалокластами, сульфидной минерализацией и остатками стебельков криноидей. Отличием безрудных гематит-карбонатных пород от карбонатных госсанитов является присутствие псевдоморфоз по обломкам сульфидов.

Порода состоит из гематит-карбонатной массы с сетчатой, нитевидной, кокардовой микроструктурой красного цвета с редкими пятнами карбоната белого цвета, и хлоритизированными гиалокластами. Структура мелко- и тонкозернистая. Характерно замещение гиалокластов по периферии гематит-карбонатной массой (рис. 21 г). В самих гиалокластах распространены сгустки гематит-карбонатного состава и карбонатные кристаллы. В некоторых случаях отмечаются псевдоморфозы по рудокластам с реликтами сульфидов (пирит, халькопирит, борнит) и тонкими иголочками гематита. В некоторых реликтах рудокластов остается сульфидное незамещенное ядро (рис 21а, б).

Отмечаются многочисленные скопления лейкоксена в гематит-карбонатной массе и гиалокластах. Лейкоксен развивается по пластинчатым зернам ильменита и гиалокластам (рис. 21д). В ассоциации с сульфидами обнаружен апатит.

В гематит-карбонатных породах распространена сульфидная минерализация, представленая пиритовыми метакристаллами, халькопирит-пиритовыми и пиритовыми обломковидными и конкрецевидными выделениями с трещинками выполненными сфалеритом и халькопиритом, а также халькопиритовой и пиритовой пропиткой и прожилками с включениями сфалерита и пирита (рис.22а, б, в). В гематит-карбонатной массе участками распространены выделения борнита, галенита, блеклой руды. Сфалерит, распространенный в виде сгустков и прожилков в гематит-карбонатной массе является безжелезистым, а сфалерит заполняющий трещинки в обломковидном пирите маложелезистым (до 5% Fe). Обломковидые и конрецевидные выделения пирита равномерно распределены в нерудной массе. Халькопиритовая «пропитка» очень пористая с многочисленными включениями нерудной массы, распределена пятнами, в одном случае как бы «наступает» в гематит-карбонатную породу от карбонат-пирит-сфалерит-халькопиритовой обломковидной породы. Микроскопически для халькопиритовй пропитки характерна цементная текстура.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 21. Реликты рудокластов и гиалокластов в гематит-карбонатных породах**: а, б – рудокласты замещенные гематит-карбонатным материалом и с реликтами сульфидов; в – тончайшие иголочки гематита и реликты пирита в псевдоморфозе по рудокласту; г – замещение гиалокласта гематит-карбонатным материалом; д – псевдоморфозы лейкоксена по пластинкам ильменита; е – сетчатая микротекстура гематит-карбонатной породы. Отраженный свет, темнопольное изображение.

|  |  |
| --- | --- |
| А | Б |
| В | Г |
| Д | Е |

**Рис. 22 Сульфидная минерализация гематит-карбонатных пород**: а – общий вид госсанита; б - халькопиритовая «пропитка»; в – конкрецевидные выделения пирита в гематит-карбонатной массе; г – вкрапления гессита в халькопиритовой массе; д – включение кервеллеита в селенсодержащем галените; е – зерно электрума в сфалерит-халькопиритовой ассоциации развивающейся по обломковидному выделению пирита. Отраженный свет. Ширина поля зрения фото а – 6мм, фото б, в -1,2 мм

Отличительной особенностью гематит-карбонатных пород и карбонатных госсанитов является широкое распространение структур и текстур замещения. При этом гематит-карбонатным материалом замещаются не только сульфиды, но и гиалокласты. Появляются биогенные текстуры.

Интерес представляет электрумная, теллуридная, сульфотеллуридная и селенистая минерализация. *Электрум* установлен в 1) обломковидном пиритовом выделении, в сфалерит-халькопиритовых трещинах (рис. 22, е), размер 10 мкм; 2) в халькопиритовой массе карбонат-пирит-сфалерит-халькопиритового метасоматита, размер 20 мкм.

*Гессит Ag2Te* найден в халькопиритовой пропитке и ассоциирует и срастается с галенитом (рис. 22г). Размер до 10 мкм. Содержит до 1 мас. % Se. Алтаит размером 7 мкм установлен в халькопиритовом обособлении в гематит-карбонатной массе. Также содержит примесь Sе до 1,2 мас. %.

*Кервеллеит (Ag,Cu)4(Te,S)* образует выделения размером до 15 мкм серого цвета с коричневатым оттенком в ассоциации с селенсодержащим галенитом в халькопирите (рис. 22д ).

*Галенит* образует ксеноморфные и изометричные выделения до 50 мкм. В халькопиритовой пропитке содержание селена в галените достигает 3,5 мас. %, в гематит-карбонатной матрице в ассоциации с блеклой рудой и сфалеритом содержание Se достигает 10,5 мас. %.

*Блеклая руда,* представленная теннантитом, находится в гематит-карбонатном матриксе и ассоциирует с борнитом и сфалеритом. Размер выделений до 50 мкм.

Ассоциация акцессорной минерализации госсанита сходна с борнитовыми рудами (наличие блеклой руды и кервеллеита, селенсодержащего галенита, электрум-гесситовая ассоциация). В породе распространены структуры замещения, прожилковидные, пятнистые и вкрапленные текстуры. Сульфидная минерализация имеет наложенный и реликтовый характер. Порода, вероятно сформирована в специфических окислительных условиях при смешении рудокластов, гиалокластического и карбонатного материала.

### Глава 5. Типохимизм сульфидов Юбилейного месторождения

В этой главе рассмотрены элементы-примесей основных сульфидов Юбилейного месторождения: пирита и халькопирита, сфалерита и борнита. Автором диплома использованы данные ЛА-ИСП-МС анализов, полученные от руководителя проф. Масленникова В.В. и к.г.-м.н. Масленниковой С.П. по следующим элементам-примесей: Mg, Al, Si, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Ga, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Ba, W, Au, Tl, Pb, Bi. Произведено сравнение средних содержаний химических элементов для каждой типоморфной разновидности сульфидов по сравнению с общими средними содержаниями в сульфиде во всех генетических типах руд. Выделены выборки, подходящие для корреляционного анализа (выборки в 13-15 значений или более). В программе Statistica 6.0 были построены матрицы парных корреляций, дальнейшая их обработка проводилась в Excel 2003. Методом максимального корреляционного пути, предусматривающим построение ряда с уменьшением силы связи корреляции, выявлены ассоциации элементов в пирите и халькопирите некоторых типов руд.

# 5.1 Элементы-примесей пирита

**Пирит.** По сравнению со средним халькопиритом в среднем пирите более высокие содержания Mn(332 г/т), Co(54 г/т), Ni(59 г/т), Zn(3000 г/т), As(669 г/т), Ag(147 г/т), Sb(24 г/т), Te(150 г/т), W(1,2 г/т), Au(18,6 г/т), Tl(25 г/т), Pb(1000 г/т), Bi(39 г/т). Примерно равные содержания V(5,4 г/т), Mo(12 г/т), Cd(14 г/т). Пониженные по сравнению с халькопиритом содержания Ti(5,4 г/т), Cr(0,7 г/т), Ga( г/т), Se(68 г/т), Sr(0,16 г/т), In(0,4 г/т), Sn(0,35 г/т), Ba(0,8 г/т). Для пирита всех типов руд характерны повышенные содержания Au, Ag, Te, Bi по сравнению со средними содержаниями в колчеданных рудах.

*Пирит труб «курильщиков»* представлен кристаллическим пиритом различной степени идиоморфизма, дендритовыми и колломорфными разновидностями. Первая разновидность развита во всех зонах труб, вторая и третья только в зоне А. Проанализирована была кварц-пирит-халькопиритовая труба юб-12-19. В целом, пирит труб не выделяется на фоне среднего пирита, содержания примесей примерно равны или в несколько раз отличаются от среднего.

В *кристаллическом и дендритовом пирите зоны А* отмечаются повышенные содержания V(8,5 г/т), Mn(1080 г/т), Zn(5900 г/т), W(5,9г/т), Tl(34 г/т), Si(3460 г/т). По сравнению с колломорфным пиритом в кристаллическом пирите зоны А повышены содержания V, Mn, Co, Cu, Se, Mo, W и понижены содержания Ni, Ga, Sr, Cd, In, Sn, Sb, Ba и Bi. Стоит отметить, что для кристаллического пирита трубы как и для колломорфного пирита характерны самые высокие содержания вольфрама по сравнению с пиритами всех других генетических типов руд. Для пирита характерны высокие содержания Ag достигающие 361 г/т (минимальное 0,007 г/т, среднее 101 г/т), Au до 34 г/т (минимальное 0,002 г/т, среднее 10,15 г/т), Te до 518 г/т (минимальное 0,08 г/т, среднее 113 г/т), Bi достигающее 99 г/т (минимальное 0,03, среднее 21,7 г/т).

В *кристаллическом пирите зоны В* повышенные содержания As(1320 г/т), Mo(52 г/т), In(1,15 г/т), Sn(1,38 г/т), Tl(122 г/т), Te(233 г/т), Bi(68 г/т). Стоит отметить, что характерная для халькопирита ассоциация Mo, In, Sn не связана с включениями халькопирита: содержание меди ниже, чем в среднем пирите, и даже ниже чем в пирите других зон трубы. Повышенная концентрация висмута и теллура подтверждает наши находки теллуровисмутита в зоне В. Также как и в пирите зоны А в пирите зоны В высокие содержания Ag достигающие 112 г/т (минимальное 3,74г/т, среднее 51,8 г/т), Au до 31 г/т (минимальное 0,06 г/т, среднее 18,64 г/т), Te до 393 г/т (минимальное 0,06 г/т, среднее 233,5 г/т), Bi достигающее 170 г/т (минимальное 1,71, среднее 68,5 г/т).

В *кристаллическом пирите зоны С* содержание примесей ниже или на уровне средних значений. Немного выше только содержания As(1070 г/т) и Mn(445 г/т). В кристаллическом пирите зоны С более низкие содержания Ag, Au, Te, Bi по сравнению с пиритами других зон трубы: содержания Ag достигают 29,3 г/т (минимальное 29,3 г/т, среднее 23,5 г/т), Au до 17 г/т (минимальное 7,64 г/т, среднее 12,5 г/т), Te до 146 г/т (минимальное 97 г/т, среднее 123,6 г/т), Bi достигающее 24 г/т (минимальное 9,28, среднее 15,6 г/т).

Для всего кристаллического пирита трубы «курильщика» характерным является преобладание кобальта над никелем: соотношение Co/Ni в среднем равно 2,4. Для пирита всех остальных типов руд, кроме сульфидных ритмитов, характерно преобладание никеля.

*Колломорфный пирит* отличается преимущественно пониженными содержаниями элементов-примесей по сравнению со средним пиритом. Повышены только содержания Zn(5060 г/т), Sr(0,36 г/т), Cd(26 г/т), Sb(70 г/т), W(2 г/т), Tl(32 г/т). В колломорфном пирите по сравнению с кристаллическим пиритом зоны А отмечены более высокие концентрации Ni, Ga, Sr, Cd, In, Sn, Sb, Te, Ba,Bi, и более низкие содержания V, Mn, Co, Se, Mo, W (рис. 23). Интересно, что в колломорфном пирите понижены по сравнению с кристаллическим пиритом зоны А содержания меди и цинка, но при этом отмечаются значительные концентрации Cd, Sn, In – типичных элементов примесей сфалерита и халькопирита. По сравнению с пиритом ритмитов в колломорфном пирите повышены содержания Ba и W, понижены же содержания Ti, V, Co, Se, Mo.

|  |
| --- |
|  |

Рис. 23. Отношение среднего содержания элементов-примесей в колломорфном пирите к среднему содержанию примесей в кристаллическом и дендритовидном пирите зоны А.

*Пирит сульфидных ритмитов* не сильно выделяется на фоне среднего пирита. Содержания примесей на уровне или чуть выше среднего. Его выделяют только аномально пониженный на несколько порядков W(0,05 г/т) и Ba(0,12 г/т). Несколько повышены на фоне среднего содержания Ti(11 г/т), Co(100 г/т), Mo(23,6 г/т), Te(242 г/т). По сравнению с кристаллическим пиритом труб в пирите ритмитов повышены содержания Ti, Cr, Co, Ni, Ga, Se, Cd, Te и понижены содержания Mn, Tl и особенно W. По сравнению с кристаллическим пиритом труб пирит ритмитов еще более кобальтистый: среднее соотношение Co/Ni в нем равно 12, 5 против 2,4 в пиритах труб. По сравнению с колломорфный пиритом в пирите ритмитов повышены значения Ti, V, Co, Se, Mo, а понижены содержания Ba и W. По сравнению с халькопиритом ритмитов в пирите на порядки выше содержания Au, Ag, Te и Bi, однако исходя из ассоциации этих элементов с медью и цинком повышенные их концентрации связаны с пойкиллитами и прожилками халькопирита и цинка. Содержания Ag достигают 478 г/т (минимальное 0,007 г/т, среднее 101 г/т), Au до 34 г/т (минимальное 0,47 г/т, среднее 72,3 г/т), Te до 1555 г/т (минимальное 1,73 г/т, среднее 242,5 г/т), Bi достигающее287 г/т (минимальное 0,23, среднее 42,9 г/т).

*Пирит полосчатых сфалерит-пирит-халькопиритовых руд* по сравнению с общим пиритом более беден элементами-примесей. Более высокие концентрации характерны только для Ga(1,9 г/т), Ba(3,3 г/т), Cd(28 г/т), существенно понижены - Mn(21 г/т), Co(3,5 г/т), As(20 г/т), Sb(0,3 г/т), W(0,01 г/т), Au(0,98 г/т), Tl(0,04 г/т). По сравнению с пиритом ритмитов в пирите полосчатых руд понижены содержания Mn, Co, As, Sb, Au, Tl (см. рис. 24). Содержания Ag(65 г/т), Te(72 г/т), Bi(8,45 г/т) в пирите данного типа руд соотносимы с содержаниями в ритмитах, но при этом они уже не образуют собственных минеральных форм. В отличие от ритмитов данные элементы не входят в ассоциацию с медью и цинком.

|  |
| --- |
|  |

Рис. 24. Отношение среднего содержания элементов-примесей в пирите полосчатых сульфидных руд к среднему содержанию примесей в пирите ритмитов.

*Пирит карбонатных госсанитов* обагащен по сравнению со средним пиритом V(19 г/т), Cr(2,3 г/т), Co(214 г/т), Ni(394 г/т), Ag(555 г/т), In(1,64 г/т), Te(342 г/т), Pb(3365 г/т), Bi(178 г/т), и обеднен Mn(6,9 г/т), Zn(23,5 г/т), Mo(0,08 г/т), Cd(0,26 г/т), W(0,06 г/т), Au(2,28 г/т). Повышенные содержания серебра и пониженные золота, вероятно связаны с электрум-гесситовой ассоциацией. По сравнению с халькопиритом госсанитов пирит обогащен большинством элементов-примесей, в том числе Au, Ag, Te, Bi. Это не подтверждается нашими минералогическими исследования, так как основная часть гессита и кервеллеита найдена в халькопирите. Электрум найден в пирите. Высокие содержания Bi пока не нашли подтверждения минеральными висмута. Пирит госсанитов по сравнению с халькопиритом значительно обогащен многими элементами-примесей, в особенности Ag, Te, Pb, Bi, Se, As.

Пирит *сфалерит-борнит-халькопирит-пиритовых* руд обеднен элементами-примесями по сравнению со средним пиритом: несколько повышены только содержания таллия(72 г/т). По сравнению с халькопиритом борнитовых руд пирит обогащен многими элементами примесей, в том числе по Au, Ag, Te, Bi. По сравнению с борнитом пирит обогащен золотом и теллуром, но обеднен серебром и висмутом.

Для сравнения пирита всех типов используем содержания и отношения Co/Ni (рис. 25). Отмечено что преобладание кобальта характерно только для кристаллического пирита труб «курильщиков» и сульфидных ритмитов. Для пирита всех остальных типов руд характерно преобладание никеля. Повышенные содержания кобальта для ритмитов вероятно связаны или с привнесением кобальта из гиалокластов или же с изменением физико-химических условий под её воздействием. Также характерны повышением средних содержаний кобальта и никеля в ряду кристаллический пирит труб «курильщиков»(Co 23,24 г/т Ni 13,91 г/т) - пирит сульфидных ритмитов(Co 256.54 г/т Ni 69.93 г/т)- пирит карбонатных госсанитов(Co 214,85 г/т Ni 394,15 г/т), вероятно связанное с процессами диагенеза и разложением гиалокластики.

|  |
| --- |
|  |

Рис. 25 Содержания Co-Ni в пирите руд Юбилейного месторождения. 1 – кристаллический пирит труб «курильщиков»; 2- колломорфный пирит оболочки труб: 3 – область значений пирита сульфидных ритмитов; 4 – область значений пирита полосчатых руд; 5 – пирит карбонатных госсанитов.

Для кристаллического и колломорфного пирита трубы «курильщика» и сульфидного ритмита характерна корреляция содержаний золота и серебра (рис. 26). Для полосчатых сульфидных руд и госсанитов четкой корреляции нет, характерны большие содержания серебра. Связано это с электрум-гесситовой ассоциацией в госсаните; отсутствием видимого золота и наличия гессита в полосчатых рудах.

|  |
| --- |
|  |

Рис. 26 Содержания Au-Ag в пирите руд Юбилейного месторождения. 1 –пирит труб «курильщиков»; 2- колломорфный пирит труб «курильщиков»; 3 - пирит сульфидных ритмитов; 4 – область значений пирита полосчатых руд;5 – область значений пирита карбонатных госсанитов.

# 5.2 Элементы-примесей халькопирита

**Халькопирит.** В среднем халькопирите по отношению к среднему пириту повышены содержания Ga(13 г/т), In(7,5 г/т), Sn(7,5 г/т), Ba(4,8 г/т), и понижены содержания Mn(21 г/т), Co(1,7 г/т), Ni(3,2г/т), Ag(21,4 г/т), Te(29 г/т), Au(0,3 г/т), Tl(0,3 г/т), Bi(11 г/т), что указывает в пользу того что главным концентратором элементов-примесей благородных металлов, также теллура и висмута является все таки пирит.

*Халькопирит труб «курильщиков»* по сравнению с общим халькопиритом обогащен V(10 г/т), Se(435 г/т), Mo(16 г/т), Ba(12,5 г/т), W(1,5 г/т), и обеднен Ti(1,9 г/т), Mn(3 г/т), Co(0,6 г/т), Ni(0,3 г/т), Ga(2,4 г/т), As(4,5 г/т), Pb( 16г/т). По сравнению с обломковидным и псевдоморфным халькопиритом ритмитов обогащен Ga, Ba, W. Содержания по остальным элементам-примесям соотношения примерно одинаковые или ниже. По сравнению с халькопиритом прожилков ритмитов гидротермальный халькопирит обогащен по всем элементам-примесям. По сравнению с халькопиритом полосчатых руд гидротермальный халькопирит обогащен V, Sr, Mo, Ba, W, содержания Ag, Au, Te, Bi примерно одинаковые. Для сульфидов труб «курильщиков» характерно обогащение вольфрамом.

*Халькопирит в сульфидных ритмитах* представлен тремя разновидностями: обломковидным, псевдоморфным и халькопиритом кварц-халькопиритовых прожилков. Общий халькопирит ритмитов по сравнению с усредненным халькопиритом обеднен многими элементами примесей: Ti(3,5 г/т), Ga(0,5 г/т), Ag(5,2 г/т), Ba(0,9 г/т), W(0,1 г/т) и обогащен только кобальтом (рис. 27).

|  |
| --- |
|  |

Рис. 27. Отношение среднего содержания элементов-примесей в халькопирите ритмитов к среднему содержанию примесей в халькопирите.

Обломковидный халькопирит по сравнению с гидротермальным обогащен Mn, Sr, Pb, и обеднен V, Ga, Sn, W. Псевдоморфный халькопирит содержит повышенные содержания Mn, Co, Ni, As, Pb, и пониженные V, Ga, Se, Sn, W. Халькопирит прожилков обеднен по всем элементам-примесям. Общий халькопирит ритмитов по сравнению с халькопиритом полосчатых руд обогащен многими элементами-примесями: Ti, V, Mn, Sr, Mo, Ba, W, Tl, и обеднен Ga, Ag, Pb.

*Халькопирит полосчатых руд* по сравнению с общим халькопиритом содержит повышенные содержания Ni, Ga, As, Ag, Te, Pb и пониженные Ti, V, Mn, Sr, Mo, Ba, W, Tl. По сравнению с халькопиритом ритмитов халькопирит диагенитов обогащен Ga, Ag, Pb и обеднен Mn, Sr, Ba. В целом достаточно высокие содержания в полосчатых рудах золота и серебра не согласуется с отсутствием зерен самородного золота. Повышенные содержания мышьяка и свинца в халькопирите полосчатых руд по сравнению с ритмитами подтверждается сменой золото-теллуридной ассоциации галенитом и блеклой рудой.

*Халькопирит карбонатных госсанитов* обеднен элементами-примесей по сравнению с усредненным халькопиритом; несколько повышены только содержания Ti(3,5 г/т), V(15 г/т), Cr(10 г/т). Также халькопирит обеден примесями по сравнению с пиритом госсанитов, что не согласуется с нашими наблюдениями, по которым основная часть гессита, галенита и кервеллеита находится в халькопирите.

*Халькопирит борнитовых руд* значительно обеднен практически всеми элементами-примесей и только содержания Mn(76,8 г/т), Zn(222 г/т), Cd(1 г/т) немного выше среднего. По сравнению с гидротермальным халькопиритом труб «черных курильщиков» халькопирит также значительно обеднен всеми элементами-примесей кроме Mn, Zn, Cd.

Для сравнения халькопирита всех типов используем содержания Se и Mo (рис. 28). Замечено, что средние содержания данных элементов уменьшается в ряду: халькопирит труб «курильщиков» (Se 435 г/т, Mo 16,31 г/т) – халькопирит сульфидных ритмитов (Se 225,45 г/т, Mo 2,29 г/т) – полосчатые сульфидные руды (Se 210,1 г/т, Mo 2,29 г/т) – карбонатные госсаниты (Se 110,1 г/т, Mo 0,06 г/т). В борнитовых рудах наименьшие содержания Se и достаточно высокие Mo: 61,63 г/т и 3,30 г/т соответственно. Также для халькопирита сульфидных ритмитов замечено снижение средних содержаний селена и молибдена в ряду: обломковидный халькопирит (Se 269 г/т, Mo 26,29 г/т) – псевдоморный халькопирит (Se 224,8 г/т, Mo 6,21 г/т) – халькопирит прожилков (Se 195,5 г/т, Mo 0,11 г/т). Селен и молибден характерные примеси высоко- и среднетемпературного халькопирита (Масленникова, Масленников, 2007) и снижение их содержания в рядах с увеличением степени преобразования и окисления руд закономерно.

|  |
| --- |
|  |

Рис. 28 Содержания Mo-Se в халькопирите руд Юбилейного месторождения. 1 – халькопирит труб «курильщиков»; 2- халькопирит сульфидных ритмитов; 3 – область значений халькопирита полосчатых руд; 4 – область значений халькопирита карбонатных госсанитов.

# 

# 5.3 Элементы-примесей сфалерита

**Сфалерит**. Проанализирован только для борнитовых руд и полосчатых сульфидных руд. Для сравнения также будем использовать гидротермальный сфалерит «белого курильщика». Усредненный сфалерит по сравнению со средним пиритом содержит повышенные содержания Ga(39,5 г/т) , Cd(5400 г/т), In(8 г/т), Sn(1,4 г/т), и пониженные содержания по всем остальным элементам-примесей, в особенности Co(0,04 г/т), Ni(0,03 г/т), W(0,01 г/т), Tl(0,08 г/т). По сравнению с халькопиритом сфалерит содержит больше Mn(1080 г/т), Cd( 400г/т) и меньше Ti(0,61 г/т), Co(0,04 г/т), Ni(0,03 г/т), Ba(0,15 г/т), W(0,32 г/т). Содержание Te (20 г/т), Bi(1,2 г/т), Ag(40 г/т), Au(0,3 г/т) ниже чем в других сульфидах.

*Сфалерит борнитовых руд* по сравнению со сфалеритом полосчатых руд обогащен Mn(1900 г/т), Ba(0,25 г/т) и существенно обеднен Sb(0,02 г/т), Te(0,2 г/т), Au(0,01 г/т), Pb(3,53 г/т) и является маложелезистым. Для сфалерита не характерно концентрирование акцессорной минерализации. По сравнению с гидротермальным сфалеритом сфалерит борнитовых руд обеднен многими элементами примесей в особенности Fe, Sb, Au, Tl, Pb и обогащен только Mn и Bi.

*Сфалерит полосчатых сфалерит-пирит-халькопиритовых руд* по сравнению со сфалеритом борнитовых руд значительно более обогащен элементами-примесей, равные или меньшие значения характерны только для Mn, Cd, In, Sn, Ba. Также сфалерит полосчатых руд является железистым, содержание Fe достигает 6 %. По сравнению с гидротермальным сфалеритом сфалерит полосчатых руд существенно обогащен Bi(2,5 г/т) и Te(42 г/т). Содержания по остальным элементам примерно равны.

Сфалериты изученных руд не содержат «халькопиритовой болезни» с чем связаны более низкие содержания железа и меди по сравнению с гидротермальным сфалеритом содержащим обильную эмульсионную вкрапленность халькопирита.

# 5.4 Элементы-примесей борнита

**Борнит** изучен методом ЛА-ИСП-МС только для *борнитовых руд.* Борнит по сравнению с халькопиритом этого типа руд содержит больше Mo(26 г/т), Ag(741 г/т), Cd(0,5 г/т), Sn(55 г/т), Te(1,36 г/т), Pb(343 г/т), Bi( 45,5г/т) и меньше Ga(0,19 г/т), In(0,32 г/т) (см. рис. 29). Для борнита характерны высокие содержания серебра (среднее 741 г/т) которые не коррелируют ни с теллуром, ни с золотом. Возможно, что серебро находится в виде примеси в самом борните либо в каких-то других минеральных формах помимо гессита, кервеллеита и электрума. Высокие содержания олова, вероятно, связаны с редкими тонкими включениями коллусита, однако повышенные содержания олова не отражаются на ванадии. Поэтому вероятно обнаружение и других минеральных форм олова в борните. Постоянно высокие содержания висмута (в среднем 45,5 г/т) вероятно связаны с примесью в галените, распространенном в виде включений в борните. Также по сравнению с замещаемым халькопиритом в борните в 2 раза повышаются содержания селена.

|  |
| --- |
|  |

Рис. 29. Отношение среднего содержания элементов-примесей в борните сфалерит-борнит-халькопирит-пиритовых руд к среднему содержанию примесей в халькопирите в данных рудах.

# 5.5 Ассоциации химических элементов

Методом максимального корреляционного пути по результатам анализов ЛА-ИСП-МС выделены основные ассоциации элементов-примесей в халькопирите и пирите труб «черных курильщиков», сульфидных ритмитах и полосчатых рудах (табл. 5).

Для многих сульфидов Юбилейного месторождения характерны сильные корреляции между Ag-Au-Te-Bi и Ag-Au-Te, обусловленные золото-теллуридной ассоциацией. Также сильна связь Zn-Cd.

**Таблица 5. Ассоциации элементов-примесей в сульфидах руд Юбилейного месторождения**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип руды | Минерал | Ассоциация элементов-примесей |
| Трубы «черных курильщиков» | Кристаллический и дендритовый пирит | (Si-Mg-Al)-(Ba-Sr-Cr-Sb-Pb-Zn-Cd)-(Ga-Se-Co-As)-(Te-Bi-Au-Ag)---Ca---Mo---Tl---(V-Mn-Cu-W)---Tl---Ni---(In-Sn) |
|  | Колломорфный пирит | (Al-Mg)---Ti---(Mo-Au-Ag-Ba-Bi-Te-Sb-Ni-Sr-Ca)---(Mn-Cu-Tl-W-As-Pb-In-Sn)---(Cd-Zn-Ga)-V---Se---(Si-Co)---Cr |
|  | Халькопирит | (Ba-Al-V-Mg-Tl-Mo-Ti-Sb-Pb-Ga)-(Si-Mn)---(Co-As-Ni)---In---W---(Ag-Te-Bi-Au)-(Sn-Se)---(Cd-Zn)---(Ca-Sr)---Cr |
| Сульфидные ритмиты | Пирит | (Mg-Al-Si-Ga-V-Cr-Sr-Mo-W)---(Ti-Sn-In-Cu-Te-Bi-Ag-Zn-Cd-Pb-Sb-Au-As)-(Ba-Mn-Tl)---Se---Ca---Co---Ni |
|  | Халькопирит | (Mg-Al-Ni-Si)-(Co-As-Tl)-(Au-Ag-Pb-Sb-Mn-Sn-In)---(Mo-Ba-Sr-Te-Bi-W)---(Ti-V)---(Cd-Zn)---Ga---Se---Cr---Ca |
| Полосчатые сульфидные руды | Пирит | (Pb-Bi-In-Cu-Sb-Sn-Ni-Ga)---Co---(Au-Ag-Te)---(As-Se)---Ti---Si---(Ca-Mg-Cr-Mo-Sr)---(Mn-Zn-Cd-W)---(V-Al-Tl-Ba) |
|  | Халькопирит | (Te-Ag-Pb-Au-Bi-Sb-Ti)---(Tl-As-Zn-Cd-Mo-V-Ba-Al)-(Mg-Ni-Sr)---Co---Se---(Ca-Mn-Cr)---Si---In---W---Ga---Sn |

*Примечание:* В скобках заключены ассоциации элементов с повышенными по сравнению с соседними в ряду коэффициентами корреляции. Разделение одним штрихом означает значимые связи, тремя штрихами – отсутствие значимых связей.

**Трубы «черного курильщика».** Для *кристаллического пирита* распространенного во всех зонах трубы выделяются следующие группы элементов: (Si-Mg-Al)-связанная с включениями хлорита и обычная золото-теллуридная ассоциация (Te-Bi-Au-Ag). Большая группа объединяет (Ba-Sr-Cr-Sb-Pb-Zn-Cd) и вероятно связывает включения сфалерита и галенита с нерудной составляющей. Ассоциация олова и индием, вероятно, связана с включениями халькопирита. Довольно интересна ассоциация (Ga-Se-Co-As).

Для *колломорфного пирита* оболочки трубы выделяется несколько ассоциаций элементов-примесей. Самый высокий коэффициент корреляции связывает Al и Mg – составляющие нерудных минералов, находящиеся в тонком срастании с колломорфным пиритом. Выделяется две крупных ассоциации: (Mo-Au-Ag-Ba-Bi-Te-Sb-Ni-Sr-Ca) – которая вероятно связана с микровключениями самородного золота и теллуридов, а также карбонатов, и ассоциация (Mn-Cu-Tl-W-As-Pb-In-Sn)-вероятно связанная с включениями халькопирита и кристаллического пирита

В *халькопирите* трубы также выделяется несколько ассоциаций: обычная для сульфидов Юбилейного месторождения группа (Ag-Te-Bi-Au), высокотемпературная ассоциация (Sn-Se), связанная с включениями сфалерита группа (Cd-Zn). Также для халькопирита характерна ассоциация охватывающая многие элементы - (Ba-Al-V-Mg-Tl-Mo-Ti-Sb-Pb-Ga).

**Сульфидные ритмиты**. В *пирите* выделены две основные ассоциации: связанная с включениями нерудных минералов а также примесями в самом пирите группа (Mg-Al-Si-Ga-V-Cr-Sr-Mo-W), и связанная с прожилками сфалерита и халькопирита, а также несомая ими золото-теллуридная минерализация образует ассоциацию (Ti-Sn-In-Cu-Te-Bi-Ag-Zn-Cd-Pb-Sb-Au-As). Отсутствует корреляция между кобальтом и никелем, нет положительных связей селена с какими-либо элементами.

*Халькопирит* ритмитов содержит ассоциации отображающие как включения нерудных минералов (Mg-Al-Ni-Si), так и включения пирита (Co-As-Tl), и сфалерита (Cd-Zn). Две ассоциации (Au-Ag-Pb-Sb-Mn-Sn-In) и (Mo-Ba-Sr-Te-Bi-W) возможно указывают на обособленность теллуридной минерализации от золотоносной.

**Полосчатые сульфидные руды**. Для *пирита* образующего включения в халькопирите характерна электрум-гесситовая ассоциация (Au-Ag-Te), а также группа элементов вероятно связанная с включениями халькопирита и галенита (Pb-Bi-In-Cu-Sb-Sn-Ni-Ga). Появление корреляции между As и Se указывает на возможную примесь селена в блеклых рудах.

В *халькопирите* можно четко выделить ассоциацию самородного золота и теллуридов (Te-Ag-Pb-Au-Bi-Sb-Ti-Bi), а также разношерстую группу элементов (Tl-As-Zn-Cd-Mo-V-Ba-Al). Необычно отсутствие значимых связей между индием и оловом. Также как и в сульфидных ритмитах, селен не образует значимых связей ни с одним из элементов.

Таким образом, можно сказать, что каждый генетический тип руд Юбилейного месторождения отличается своими геохимическими ассоциациями. Построение корреляционных зависимостей установили устойчивую связь Te-Bi-Au-Ag для пирита «курильщиков» и ритмитов, и Te-Au-Ag для пирита полосчатых руд. В пирите ряда трубы → ритмиты → полосчатые руды возрастает количество примесей Co и Ni, что вероятно связано с влиянием базальтовой гиалокластики. В халькопирите снижается содержание высокотемпературной ассоциации Se-Mo.

Представляет интерес отсутствие связи между кобальтом и никелем в пирите, а также обособленность селена в ритмитах и полосчатых рудах.

### 

### Глава 6. Модель минералого-геохимической эволюции колчеданных руд Юбилейного месторождения

Первоначальное формирование колчеданных руд, основываясь на модели «черных курильщиков», происходило гидротермально-осадочным путем [Авдонин, 1994; Зайков, 1991; Масленников, 1991]. В соответствии с классической моделью рост труб начинался с осаждения ангидрита. Во внешнем слое трубы, кроме ангидрита, отлагаются мелкозернистые агрегаты пирротина, пирита, марказита и сфалерита. После запечатывания пор в оболочке трубы смешение гидротермального флюида с водой уменьшается. С этого момента на внутренней стенке трубы из высокотемпературного раствора осаждаются халькопирит и изокубанит, а также в меньшей степени сфалерит, пирит и пирротин. Одновременно продолжается замещение ангидрита и пирротина пиритом, сфалеритом и халькопиритом в оболочке трубы. На древних колчеданных месторождениях трубы «курильщиков» образуют многочисленные «органные трубы» или колонны, формирующие сульфидную постройку, вокруг которой распространена пригидротермальная фауна и продукты разрушения [Масленникова, Масленников 2007].

Большинство труб Юбилейного месторождения являлись многоканальными, т.е. одна оболочка обрастала вокруг нескольких каналов. Разрушение труб привело к образованию рудокластических отложений. Трубы Юбилейного месторождения сложены сульфидным гидротермальным материалом, который по мере разрушения сульфидной постройки преобразовывался и окислялся. Сульфидные брекчии обычно имеют хорошую сохранность. Лишь иногда обломки колломорфного и дендритовидного пирита замещались халькопиритом. Для сульфидов кварц-пирит-халькопиритовой трубы «курильщика» характерна Te-Bi-Au-Ag группа элементов-примесей, отражающая золото-теллуридную минеральную ассоциацию. Для халькопирита трубы характерны повышенные содержания Mo и Se, характерные для высокотемпературной ассоциации [Halbach et al., 2003].

Мелкообломочная фракция рудокластических отложений представлена сульфидными ритмитами (песчаниками). Образование ритмитов происходило на удалении от гидротермальной постройки, и со смешением сульфидного, осадочного и гиалокластитового материала. Порции сульфидов, гиалокластов циклично повторялись, образуя ритмичные отложения. Песчаники слабо преобразованы процессами диагенеза и катагенеза. Для ритмитов характерно полное растворение обломков колломорфного и тонкозернистого пирита оболочек труб, исчезновение фрамбоидального пирита. Халькопиритовые обломковидные обособления микроструктурно отличаются от друзового халькопирита труб, что вероятно связано с их перекристаллизацией. Катагенетические процессы проявлены в виде образования кварц-халькопиритовых прожилков. Пирит мелкообломочных отложений замещается халькопиритом и сфалеритом, с появлением обильных выделений теллуридов и самородного золота. Это связано с переходом значительной части рассеянных элементов из пирита в псевдоморфные халькопирит, сфалерит и самородное золото с образованием собственных минеральных форм [Масленников, 2006]. Теллуридная минерализация сульфидных ритмитов наиболее разнообразна по сравнению с другими типами руд. Для пирита характерна ассоциация Te-Bi-Au-Ag с халькофильной группой элементов. Пирит ритмитов содержит повышенные содержания Со по сравнению с пиритом труб. Для халькопирита характерно уменьшение содержаний молибдена и селена, по сравнению с халькопиритом труб.

Сильно преобразованными мелкообломочными отложениями представлены полосчатыми сфалерит-пирит-халькопиритовыми рудами. Для полосчатых руд характерны повышенные содержания халькопирита и сфалерита по сравнению с ритмитами, исчезают нерудные слои и гиалокластика. Золото-теллуридная ассоциация сменяется галенит-блекловорудной. В пирите полосчатых руд по сравнению с пиритом ритмитов возрастает количество никеля, и сильно снижается содержание кобальта. В сульфидах полосчатых руд падает содержание Au и Ag. Акцессорная минерализация самая бедная по сравнению с другими типами руд.

Госсаниты представляют собой конечный продукт окисления рудокластических сульфидных руд. Для госснитов характерно смешение сульфидного материала, гиалокластики и карбонатов. В породе развиты структуры замещения рудокластов и гиалокластов гематит-карбонатным материалом. В пирите продолжается увеличение содержаний Co и Ni, с преобладанием никеля. Акцессорная минерализация представлена наиболее устойчивыми в окислительных условиях гесситом и алтаитом [Масленникова, Масленников 2007], электрумом, кервеллеитом, блеклой рудой и селенсодержащим галенитом. Редкие минералы госсанитов содержат постоянную примесь селена.

Борнитовые руды представляют собой отдельный тип гипогенного обогащения руд. Характерно замещение сульфидов по следующей схеме: пирит→халькопирит→борнит. При замещении появляются выделения галенита, гессита, кервеллеита и колусита. Формирование борнитовых руд, вероятно, происходило под влиянием поздних низкотемпературных гидротерм.

Пирит изученных руд Юбилейного месторождение имеет тенденцию к увеличению содержаний Co и Ni: в полосчатых рудах и госсанитах пирит преобладает никель, в ритмитах и трубах «курильщиков» - кобальт. В халькопирите в ряду сульфидные трубы→ритмиты→полосчатые руды→госсаниты снижаются содержания Mo и Se. В сфалерите ряда сульфидные трубы→полосчатые руды→борнитовые руды намечена тенденция на снижение содержаний железа и меди.

Имеющиеся данные указывают в пользу сложной эволюции минерального состава руд Юбилейного месторождения, зависящей от физико-химических условий нахождения и преобразованности рудокластических отложений. Повышенные содержания рассеянных элементов отмечаются во всех типах руд, однако образование ими собственных минеральных форм связано с условиями и степенью замещения сульфидов.

### 

### Заключение

Юбилейное месторождение уникально своим залеганием на базальт-бонинитовом основании в преддуговом бассейне [Spadea P. et al]. Позиция месторождения схожа с кипрским типом колчеданных месторождений, но оно отличается от него высокими содержаниями золота в рудах. Среднее содержание золота в рудах 2,6-4 г/т, в некоторых случаях достигает 11-38 г/т [Викентьев, 2011]. Также в рудах Юбилейного месторождения относительно малые содержания цинка (1%) по сравнению с колчеданными месторождениями уральского типа. С особенностью залегания месторождения на базальтовом основании связано и нахождение специфических карбонат-тальк-сфалерит-пирит-халькопиритовых труб [Maslennikov, 2013].

Отличительной особенность труб «черных курильщиков» Юбилейного месторождения является отсутствие псевдоморфоз по ангидриту, малое распространение псевдоморфоз по пирротину. В изученных трубах не найден марказит, однако найденный в рудах месторождения другими исследователями [Медноколчеданные …, 1988; Викентьев, 2011]. Колломорфный пирит характерен для колчеданных месторождений уральского и кипрского типа найден и на Юбилейном месторождении. Характерно исчезновение первичной колломорфной оболочки при замещении халькопиритом и сфалеритом. Исследованные трубы «черных курильщиков» разделяются на 4 типа: сфалерит-кварц-пирит-халькопиритовый, сфалерит-карбонат-пирит-халькопиритовый, кварц-пирит-халькопиритовый, карбонат-пирит-халькопиритовый. При кварцевом выполнении осевого канала в трубах в зонах В и А обнаруживаются теллуриды и самородное золото, при карбонатном – галенит, блеклая руда, самородное золото. Рост акцессорной минерализации в зоне В происходит синхронно с ростом трубы, т. к. выделения редких минералов приурочены к зональности. Трубы «черных курильщиков» часто брекчированы., фрагменты находятся в мелкообломочном сульфидном матриксе. Руда, содержащая обломки труб контактирует с гиалокластитами, с развитием на границе колломорфного, радиально-лучистого и фрамбоидального пирита. По-видимому, трубы Юбилейного месторождения были многоканальными: несколько каналов находились в одной общей пиритовой оболочке. Вероятно, каналы являются разновозрастными т. к. обнаружено срезание текстуры оболочки халькопиритом зоны В.

Уникальной особенностью труб является наличие талька в осевом канале. В тальк-карбонат-сфалерит-пирит-халькопиритовых трубах распространены включения электрума в сфалерите, характерна галенит-блекловорудная ассоциация.

В слабо и сильнопреобразованных рудокластических отложениях Юбилейного месторождения при процессах замещения, высвобождаются элементы-примесей и образуют собственные минеральные формы.

В ходе исследований выполнены следующие задачи:

1) в ряде трубы «черных курильщиков» →сульфидные ритмиты→полосчатые руды→госсаниты установлена смена текстур и структур заполнения свободного пространства (друзовая, дендритовая, почковидная текстура) с участием гидротермальных растворов и фауны (колломорфная и органогенная структура) - рудокластическими и псевдоморфными структурами. В обломочных отложениях по мере увеличения их преобразованности слоистые текстуры сменяются полосчатыми. В госсанитах исходный сульфидный материал образует реликтовую и псевдоморфную структуры. Отмечено появление органогенных структур на двух этапах: в гидротермальный (биоморфные серноколчеданные руды) и в стадию субмаринного гипергенеза (госсаниты).

2) Установлены акцессорные минералы, представленные самородным золотом, электрумом, теллуридами и сульфотеллуридами. Выявлены различные ассоциации редких минералов в рудах (табл. 6). Предполагается, что редкая минерализация образуется в несколько этапов: 1) в гидротермальный – синхронно с трубами «черных курильщиков» (зона В); 2) диагенетический - при слабом (неполном) замещении кристаллического и колломорфного пирита (зона А труб «курильщиков», сульфидные турбидиты). При полной и сильной халькопиритизации пирита акцессорные минералы не характерны (полосчатые сфалерит-пирит-халькопиритовые руды, частично зона А труб «курильщиков»). Для стадии субмаринного гипергенеза характерна ассоциация теллуридов и сульфотеллуридов, появление в акцессорных минералах постоянной примеси селена. Список минералов Юбилейного месторождения расширен на 10 минералов.

**Таблица 6. Акцессорные минералы руд Юбилейного месторождения**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип руды | Минералы | Ассоциация |
| Трубы «черных курильщиков» | Самородное золото, галенит, блеклая руда | Shp-ca-py-chp и сa-py-chp тип труб |
| Самородное золото, колородаит, гессит, теллуровисмутит | sph-Q-py-chp и Q-py-chp тип  труб |
| Сульфидные ритмиты | Самородное золото, теллуровисмутит, колородаит, петцит, штютцит, калаверит, галенит | Сульфидные слои |
|  | Алтаит, гессит, колородаит, раклиджит, волынскит, клаусталит | Кварц-хлоритовые слои |
| Полосчатые сульфидные руды | Галенит, блеклая руда, гессит | Халькопирит, сфалерит |
| Карбонатные госсаниты | Электрум, галенит-клаусталит, блеклая руда, гессит, кервеллеит, алтаит. | Халькопирит, пирит, нерудные минералы |
| Борнитовые руды | Самородное золото, галенит, блеклая руда, гессит, кервеллеит, колусит. | Борнит, халькопирит, пирит |

3) В изученных рудах Юбилейного месторождения зафиксированы повышенные содержания Au, Ag, Te, Bi по сравнению с колчеданными месторождениями Урала. Главным минералом-концентратором примесей является пирит. Установлена тенденция на увеличение содержаний Co и Ni в пирите ряда: трубы «черных курильщиков» →сульфидные ритмиты→полосчатые руды→госсаниты. В халькопирите ряда намечена тенденция на уменьшение содержаний Se и Mo. В пирите ряда установлена тенденция на увеличение содержаний Ag по отношению к Au.

4) На примере труб «черных курильщиков» и продуктов их разрушения показана эволюция минерального состава, текстур и структур.

### Список литературы

1. Авдонин В.В. Гидротермально-осадочные породы рудоносных вулканогенных комплексов. М.: МГУ, 1994. 184 с.

2. Аюпова Н.Р., Целуйко А.С., Масленников В. В., Минеральный состав слоистых сульфидных руд Юбилейного медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал) // Материалы IX межрегиональной научно-практической конференции «Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий», Уфа, 2012.

3. Аюпова Н.Р., Масленникова В.В. Гальмиролититы Узельгинского колчеданноносного поля (Южный Урал), Миасс: УрО РАН, 2005. 199 с.

4. Ботвинкина Л.Н. Генетические типы отложений областей активного вулканизма // Тр. ГИН АН СССР; вып. 263. М.: Наука, 1974. 318 с.

5. Викентьев И.В., Саенко А.Г. и др., Минералогические особенности руд медноколчеданного месторождения Юбилейное (Ю. Урал), Вестник РУДН, серия Инженерные исследования, 2011, №1.

6. Зайков В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин. М.: Наука, 1991. 206 с.

7. Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В, Херрингтон Р. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. 315 с.

8. Исаенко М.П. Определитель текстур и структур руд. М.: Недра, 1975. 229 с.

9. Масленников В. В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.

10. Масленников В.В. Литологический контроль медно-колчеданных руд (на примере Сибайского и Октябрьского месторождений Урала). Свердловск: УрО РАН СССР, 1991. 139 с.

11. Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Научное издание. – Миасс: Геотур, 1999. – 348 с.

12. Масленникова С.П., Масленников В.В. Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург – Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.

13. Прокин В.А., Буслаев Ф.П., Исмагилов М.И. и др. Медноколчеданные месторождения Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. 241 с.

14. Сафина Н.П., Масленников В.В. Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское (Урал). Миасс: УрО РАН, 2008. 260 с.

**15. Серавкин И.Б., Металлогения Южного Урала и Центрального Казахстана.** Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. - 284 с.

16. Helbach P.E., Tunnicliffe V., Hein J.R. Energy and mass transfer in marine hydrothermal systems//89th Dahlem Workshop, Berlin, October 14-19, 2003. 365 p.

17. Maslennikov V.V., Aupova N.R. et al. Ferruginous and manganiferous haloes around massive sulphide deposits of the Urals, Ore Geology Reviews, V/ 47 2012, P. 5-41

18. Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Maslennikova S. P., Tseluyko A.S., Large R.R., Danyushevsky L.V., Lein A.Y., Bogdanov Y.A. Mineral and Chemical Peculiarities of Vent Chimneys from the Yubileynoye VMS Deposit at the Early Devonian Basalt-Boninite Basement of West Magnitogorsk Arc, the Southern Urals, Russia // 12th SGA Biennial Meeting, 2013.

19. Spadea P, Kabanova LYa, Scarrow J. Petrology, geochemistry, and geodinamic significance of Mid-Devonian Boninitic rocks frm the Baimak-Buribai area (Magnitogorsk zone, Southern Urals). Ofiolit, 1998. V. 23 (1). P. 17-36.

### Приложение

**Табл. 1 Химический состав золота фаций Юбилейного месторождения**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Au | Ag | Итого | Формула |
| 1 | 80.83 | 19.17 | 100 | Au0.70Ag0.3 |
| 2 | 78.57 | 21.43 | 100 | Au0.67Ag0.33 |
| 3 | 80.8 | 19.2 | 100 | Au0.70Ag0.3 |
| 4 | 83.19 | 16.81 | 100 | Au0.73Ag0.27 |
| 5 | 82.16 | 17.84 | 100 | Au0.72Ag0.28 |
| 6 | 79.73 | 20.27 | 100 | Au0.68Ag0.32 |
| 7 | 82.84 | 17.16 | 100 | Au0.73Ag0.27 |
| 8 | 81.52 | 18.48 | 100 | Au0.71Ag0.29 |
| 9 | 81.74 | 18.26 | 100 | Au0.71Ag0.29 |
| 10 | 80.04 | 19.96 | 100 | Au0.69Ag0.31 |
| 11 | 81.68 | 18.32 | 100 | Au0.71Ag0.29 |
| 12 | 80.86 | 19.14 | 100 | Au0.70Ag0.30 |
| 13 | 79.72 | 20.28 | 100 | Au0.68Ag0.32 |
| 14 | 81.52 | 18.48 | 100 | Au0.71Ag0.29 |
| 15 | 79.6 | 20.4 | 100 | Au0.68Ag0.32 |
| 16 | 80.75 | 19.25 | 100 | Au0.7Ag0.3 |
| 17 | 79.01 | 20.99 | 100 | Au0.67Ag0.33 |
| 18 | 81.06 | 18.94 | 100 | Au0.70Ag0.30 |
| 19 | 82.71 | 17.29 | 100 | Au0.72Ag0.28 |
| 20 | 81.43 | 18.57 | 100 | Au0.71Ag0.29 |
| 21 | 81.29 | 18.71 | 100 | Au0.70Ag0.3 |
| 22 | 79.86 | 20.14 | 100 | Au0.68Ag0.32 |
| 23 | 81.5 | 18.5 | 100 | Au0.71Ag0.29 |
| 24 | 80.38 | 19.62 | 100 | Au0.69Ag0.31 |
| 25 | 81.68 | 18.32 | 100 | Au0.71Ag0.29 |
| 26 | 84.64 | 15.36 | 100 | Au0.75Ag0.25 |
| 27 | 79.57 | 20.43 | 100 | Au0.68Ag0.32 |
| 28 | 83.23 | 16.77 | 100 | Au0.73Ag0.27 |
| 29 | 82.7 | 17.3 | 100 | Au0.72Ag0.28 |
| 30 | 85.5 | 14.5 | 100 | Au0.76Ag0.24 |
| 31 | 83.72 | 16.28 | 100 | Au0.74Ag0.26 |
| 32 | 85.48 | 14.52 | 100 | Au0.76Ag0.24 |
| 33 | 77.69 | 22.31 | 100 | Au0.66Ag0.34 |
| 34 | 49.76 | 50.24 | 100 | Au0.35Ag0.65 |
| 35 | 63.00 | 37.00 | 100 | Au0.48Ag0.52 |
| 36 | 43.49 | 56.51 | 100 | Au0.30Ag0.70 |
| 37 | 77.91 | 21.12 | 100 | Au0.67Ag0.33 |
| 38 | 75.78 | 23.35 | 100 | Au0.64Ag0.36 |
| 39 | 77.37 | 22.63 | 100 | Au0.65Ag0.35 |
| 40 | 78.72 | 21.28 | 100 | Au0.67Ag0.33 |
| 41 | 75.75 | 23.94 | 100 | Au0.63Ag0.37 |
| 42 | 77.38 | 22.06 | 100 | Au0.66Ag0.34 |
| 43 | 74.12 | 25.53 | 100 | Au0.61Ag0.39 |
| 44 | 73.14 | 25.91 | 100 | Au0.61Ag0.39 |
| 45 | 82,62 | 17,38 | 100 | Au0.72Ag0.28 |
| 46 | 82,81 | 17,19 | 100 | Au0.73Ag0.27 |
| 47 | 69.69 | 29.45 | 100 | Au0.56Ag0.44 |

*Примечание*: золото из : 1-33 – сульфидных песчаников; 34-36 – гематит-карбонатных пород; 37-44 – из почковидного и друзового сфалерита из сфалерит-карбонат-пирит-халькопиритовых труб; 45-46 – из колломорфного пирита из сфалерит-кварц-пирит-халькопиритовых труб; 47 – борнитовых руд. Анализы выполнены на приборе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).

**Табл. 2 Состав теллуровисмутита из сульфидных песчаников Юбилейного месторождения**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Te | Bi | Pb | Se | Ag |  | Формула |
| 1 | 47.99 | 52.01 | - | - | - | 100 | Bi1.98Te3 |
| 2 | 49.02 | 44.55 | 6.43 | - | - | 100 | Bi1.66Pb0.24Te3 |
| 3 | 48.94 | 48.54 | 2.52 | - | - | 100 | Bi1.81Pb0.09Te3 |
| 4 | 45.53 | 48.82 | - | 2.31 | 3.34 | 100 | Bi1.96Ag0.26Te2.75Se0.25 |

*Примечание*: Анализы выполнены на приборе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).

**Табл. 3 Состав раклиджита из сульфидных песчаников Юбилейного месторождения**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Te | Bi | Pb | Se | Ag | Итого | Формула |
| 1 | 45.55 | 37.5 | 16.95 | - | - | 100 | Pb0.69Bi2.03Te4 |
| 2 | 47.27 | 39.44 | 13.29 | - | - | 100 | Pb0.91Bi2.01Te4 |
| 3 | 43.99 | 36.97 | 15.37 | 2.10 | 1.57 | 100 | Pb0.86Ag0.17Bi2.05Te3.9Se0.1 |

*Примечание*: Анализы выполнены на приборе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).

**Табл. 4 Состав колородаита руд Юбилейного месторождения**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Te | Hg | Итого | Формула |
| 1 | 41.16 | 58.84 | 100 | Hg0.9Te1.09 |
| 2 | 40.77 | 59.23 | 100 | Hg0.92Te1.08 |
| 3 | 40.52 | 59.48 | 100 | Hg0.93Te1.07 |
| 4 | 40.7 | 59.3 | 100 | Hg0.92Te1.07 |
| 5 | 39,96 | 60,14 | 100 | Hg0.96Te1.04 |
| 6 | 40,14 | 59,86 | 100 | Hg0.95Te1.05 |
| 7 | 39,07 | 60,93 | 100 | Hg0.99Te1.01 |
| 8 | 39,41 | 60,59 | 100 | Hg0.98Te1.02 |
| 9 | 39,41 | 60,59 | 100 | Hg0.98Te1.02 |

*Примечание*: колородаит из : 1-4 – сульфидных песчаников; 5-9 – колломорфного и кристаллического пирита зоны А сфалерит-кварц-пирит-халькопиритового типа труб. Анализы выполнены на приборе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).

**Табл. 5 Состав теллуридов серебра Юбилейного месторождения**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Ag | Te | Se | Cu | Итого | Формула |
| 1 | 62.9 | 37.1 | - | - | 100 | Ag2Te0.99 |
| 2 | 61.96 | 38.04 | - | - | 100 | Ag1.92Te1.03 |
| 3 | 63.08 | 36.92 | - | - | 100 | Ag2.02Te0.98 |
| 4 | 55.23 | 44.77 | - | - | 100 | Ag4.38Te3.43 |
| 5 | 63.33 | 36.67 | - | - | 100 | Ag2.04Te0.97 |
| 6 | 62.91 | 36.18 | 0.91 | - | 100 | Ag2.05Te0.97Se0.03 |

*Примечание*: сульфидные песчаники: 1-3 – гессит; 4- штютцит; 5-6 – гессит гематит-карбонатных пород. Анализы выполнены на приборе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).

**Табл. 6 Состав петцита из сульфидных песчаников Юбилейного месторождения**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Ag | Te | Au | Итого | Формула |
| 1 | 42.08 | 35.08 | 22.84 | 100 | Au0.84Ag2.84Te2.17 |
| 2 | 41.93 | 33.31 | 24.76 | 100 | Au0.96Ag2.98Te2.03 |
| 3 | 41.64 | 35.41 | 22.95 | 100 | Au0.83Ag2.78Te2.21 |

*Примечание*: Анализы выполнены на приборе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).

**Табл. 7 Состав блеклых руд Юбилейного месторождения**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/а | S | Fe | Cu | Zn | As | Sb | Te | Итого |
| 1 | 28.81 | 1.06 | 42.64 | 7.11 | 20.39 | - | - | 100 |
| 2 | 26.05 | 4.26 | 39.27 | 5.71 | 9.14 | 15.57 | - | 100 |
| 3 | 26.56 | 1.64 | 41.25 | .54 | 14.1 | 9.92 | - | 100 |
| 4 | 26.96 | 0.78 | 42.77 | 6.85 | 14.44 | 5.94 | 2.11 | 100 |
| 5 | 26.46 | 2.07 | 41.63 | 6.73 | 14.56 | 6.28 | 2.14 | 100 |
| 6 | 26.62 | 2.57 | 41.68 | 6.48 | 14.01 | 6.53 | 2.11 | 100 |

*Примечание*: 1 – теннантит гематит-карбонатных пород; блеклые руды из зоны А сфалерит-карбонат-пирит-халькопиритовых труб: 2 – тетраэдрит; 3 – теннантит; 4-6 – теннантит борнитовых руд. Анализы выполнены на приборе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).

**Табл. 8 Состав кервеллеита Юбилейного месторождения**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | S | Fe | Cu | Se | Ag | Te | Итого |
| 1 | 5.94 | 0.81 | 5.83 | 1.14 | 64.65 | 21.63 | 100 |
| 2 | 5.8 | 0.72 | 5.47 | 2.82 | 63.85 | 21.35 | 100 |
| 3 | 6.39 | - | 11.64 | - | 59.13 | 22.84 | 100 |

*Примечание*: 1-2 – кервеллеит гематит-карбонатных пород; 3 – кервеллеит борнитовых руд. Анализы выполнены на приборе TESCAN VEGA3 SBU с энергодисперсионным анализатором (аналитик Блинов И.А.).