

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Геологический факультет
Кафедра геологии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, д.г.-м.н., профессор
_____/ В.В. Масленников /
« ____ » _____ 2019 г.

Минеральный состав продуктов субмаринного окисления колчеданных руд
Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ – 05.03.01. 2019.14-248-1289. ВКР

Руководитель, доцент, к.г.-м.н.
_____/ Н.Р. Аюпова /
« ____ » _____ 2019 г.

Автор
Студент группы МиГео – 406
_____/ И.А.Маштаков/
« ____ » _____ 2019 г.

Нормоконтролер, к.г.-м.н.,
старший преподаватель
_____/ Н.Н. Анкушева/
« ____ » _____ 2019 г.

Миасс 2019

АННОТАЦИЯ

Маштаков И.А. Минеральный состав продуктов субмаринного окисления колчеданных руд Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал). – Миасс: ЮУрГУ, МиГео-406, 26 с, 53 ил., 3 табл., библиогр. список – 14 наим.

В квалификационной работе рассмотрены результаты литолого-минералогических исследований слоистых руд Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения (Южный Урал) на основе изучения их текстурно-структурных признаков, минерального состава и акцессорной минерализации.

Изученные ритмично-слоистые руды имеют сфалерит-халькопирит-пиритовый, сульфидно-гематитовый и гематитовый состав. В слоях установлены различные обломки пиритового, гематит-пиритового состава и псевдоморфозы гематита по рудным обломкам. Основные рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, сфалеритом, борнитом, гематитом, галенитом; нерудные минералы – хлоритом, кварцем, баритом, апатитом.

Выявлены индикаторные акцессорные минералы для изученных слоев: для сфалерит-халькопирит-пиритовых – касситерит, алтаит; для сульфидно-гематитовых – теллуриовисмутит, тетрадимит, гессит, колорадоит; для гематитовых – алтаит, волинскит и самородный теллур. Самородный теллур установлен впервые в окисдно-железистых продуктах субмаринного окисления колчеданных руд.

ABSTRACT

Mashtakov I.A. The mineral composition of the submarine oxidation products from Molodezhnoe massive sulfide deposit (Southern Urals). – Miass: SUSU, MiGeo-406, 26 p, 53 il., 3 tabl., ref. – 14 titles.

In the qualification work, a lithological-mineralogical study of layered ores from the Molodezhnoe massive sulfide deposit (Southern Urals) was given on the basis of their textural and structural features, mineral composition, and accessory minerals.

The studied rhythmic layered ores have sphalerite-chalcopyrite-pyrite, sulfide-hematite and hematite composition. These ores contain various ore fragments of pyrite, and hematite-pyrite composition and hematite pseudomorphs after ore clasts. The main minerals are presented by pyrite, chalcopyrite, sphalerite, bornite, hematite, galena; non-opaque minerals are chlorite, quartz, barite, and apatite.

Indicator accessory minerals identified for the studied layers are (i) cassiterite and altaite for sphalerite-chalcopyrite-pyrite layers, (ii) altaite, volynskite and native tellurium for sulfide-hematite layers, and (iii) tellurium bismuth, tetradymite, hessite, coloradoite and native tellurium for hematite layers. Native tellurium is found for the first time in the submarine iron-oxide production of massive sulfide ores.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ	5
ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УЗЕЛЬГИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ	6
ГЛАВА 3. ПРОДУКТЫ СУБМАРИННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РУД.....	9
3.1. Текстурно-структурные особенности слоистых руд.....	9
3.2. Минеральный состав слоистых руд.....	12
3.3. Акцессорная минерализация.....	18
3.4. Сравнительная характеристика элементов-примесей различных рудных фаций.....	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	26

ВВЕДЕНИЕ

Молодежное медно-цинковое колчеданное месторождение расположено в юго-восточной части Узельгинского рудного поля, выделенного в пределах Восточно-Магнитогорской металлогенической зоны на Южном Урале. Месторождение было открыто в 1961 году. Оработка месторождения началась в 1978 г. открытым способом и в настоящее время обрабатывается шахтным способом фланги и глубокозалегающие горизонты колчеданных руд. По текстурно-структурным особенностям и минеральному составу на месторождении выделены: а) массивные халькопирит-пиритовые, б) массивные и слоистые барит-халькопирит-пиритовые массивной и слоистой текстуры, в) массивные и полосчатые борнит-пиритовые и борнит-халькопирит-пиритовые руды, которые относятся к гидротермальным, кластогенным и субмаринно-гальмиролитическим рудным фациям [Масленников, 2006]. Каждая рудная фация характеризуется своими минералого-геохимическими особенностями. На флангах месторождения преобладают слоистые сульфидные руды, относящиеся к кластогенной рудной фации [Масленников, 2006].

Актуальность исследований. С выявлением накопления важных для колчеданных руд элементов-примесей (Se, Te, Bi, Sn, U и др.), связанных с их собственными минеральными формами в рудах слоистых текстур на флангах месторождений [Аюпова и др., 2017; Аюпова et al., 2018; Maslennikov et al., 2019], важно разделение слоистых руд по текстурно-структурным и минералого-геохимическим признакам. На Молодежном месторождении около 30 % руд представлено слоистыми рудами. Полученные данные могут быть использованы для оценки масштабов и площади проявления обогащенных элементами-примесями разновидности руд и интерпретации условий минералообразования в низкотемпературных условиях литогенетических процессов.

Цель работы: изучение слоистых халькопирит-пиритовых, барит-халькопирит-пиритовых и сульфидно-гематитовых руд 2 рудного тела Молодежного месторождения с целью установления последовательности преобразования первичных рудокластов и выявления акцессорной минерализации, являющейся носителем важных элементов примесей колчеданных руд на флангах месторождения.

Задачи: 1) изучить геологическое строение рудного узла и месторождения по литературным источникам и фондовым материалам; 2) подготовка образцов, отобранных на месторождениях, для текстурно-структурного макроскопического описания; 3) подготовка образцов для минералогических исследований; 4) микроскопическое исследование минерального состава руд; 5) электронно-микроскопические исследования.

Образцы для исследований были отобраны во время прохождения производственной практики летом 2018 года в составе отряда Колчеданный Института минералогии УрО РАН на рудном складе месторождения. Слоистые руды были вывезены из 2 рудного тела и представляли собой рудные габариты размером от 20x30 см до блоков размером 1x1.5 м. Образцы для исследований были распилены на пластины толщиной 1-2 см и отполированы в шлифовальной мастерской Института минералогии УрО РАН. Всего изучено 6 образцов слоистых руд. После макроскопического изучения образцов были подготовлены пробы методом послыного отбора вещества и изготовлены аншлифы (20 аншлифов). Минеральный состав руд изучен с использованием микроскопа OLYMPUS BX-51, оснащенного микрокамерой для получения изображений минералов. Для выявления особенностей строения сульфидов было использовано структурное травление с использованием $\text{HNO}_3 + \text{CaF}_2$. Акцессорные минералы исследованы на электронном микроскопе TescanVega3 с энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments X-act (Институт минералогии УрО РАН, аналитик Блинов И.А.). Графические работы выполнены с использованием компьютерных программ Adobe Photoshop и CorelDRAW.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ

Молодежное месторождение расположено на юго-восточном фланге Узельгинского рудного поля, в 12 км к югу от поселка Межозерный, открыто в 1961 году в результате поисковых работ, проводившихся под руководством Б.В. Смирнова, П.Я. Лобанова, П.А. Зенкова. Детальная разведка проводилась под руководством Г.В. Петрова, Е.Н. Чесноковой. Геологическое строение, состав и зональность рудных тел изучались в процессе разведки и эксплуатации Молодежного месторождения Г.В. Петровым, Н.К. Курбановым, Е.П. Шираем, В.А. Прокиным, А.К. Тимергазиной, А.Г. Злотник-Хоткевичем, А.В. Пуркиным, В.Ф. Рудницким, П.Я. Ярошем, С.В. Колотовым, В.В. Зайковым, В.В. Масленниковым и другими геологами. По их данным, основной структурой на месторождении является брахиантиклиналь, ядро которой слагают базальтоиды, а сводовую часть и крылья – кислые вулканиты, известняки, вулканогенно-осадочные породы, андезиты и андезибазальты улутауской свиты. Брахиантиклиналь, по данным А.Г. Злотника-Хоткевича, сформировалась на месте локальной андезибазальтовой вулканокупольной постройки, о чем свидетельствуют фациальные изменения, уменьшения мощностей и вклинивания горизонтов кислых вулканитов на ее склонах. Обобщенный анализ геологического строения месторождения приводится в монографии В.А. Прокина с соавторами «Медноколчеданные месторождения Урала: геологическое строение» [Медноколчеданные..., 1988].

ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УЗЕЛЬГИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Молодежное медно-цинково-колчеданное месторождение расположено в Верхнеуральском колчеданосном районе в северной части Восточно-Магнитогорской островной дуги на Южном Урале (рис. 2.1а). В пределах Верхнеуральского района выделяется Узельгинское рудное поле, объединяющее близкорасположенные колчеданные месторождения (Узельгинское, им. XIX партсъезда, Западно-Озерное, Озерное, Новое, Талганское, Чебачье и Молодежное), связанных единством своей геологической структуры, общностью происхождения в границах общей рудолокализирующей структуры, единого геохимического ореола и широким распространением окисдно-железистых отложений различного генезиса [Медноколчеданные ..., 1988; Масленников, 1999; Аюпова, Масленников, 2005] (рис. 2.1 б). Молодежное месторождение локализовано на юго-восточном фланге Узельгинского рудного поля.

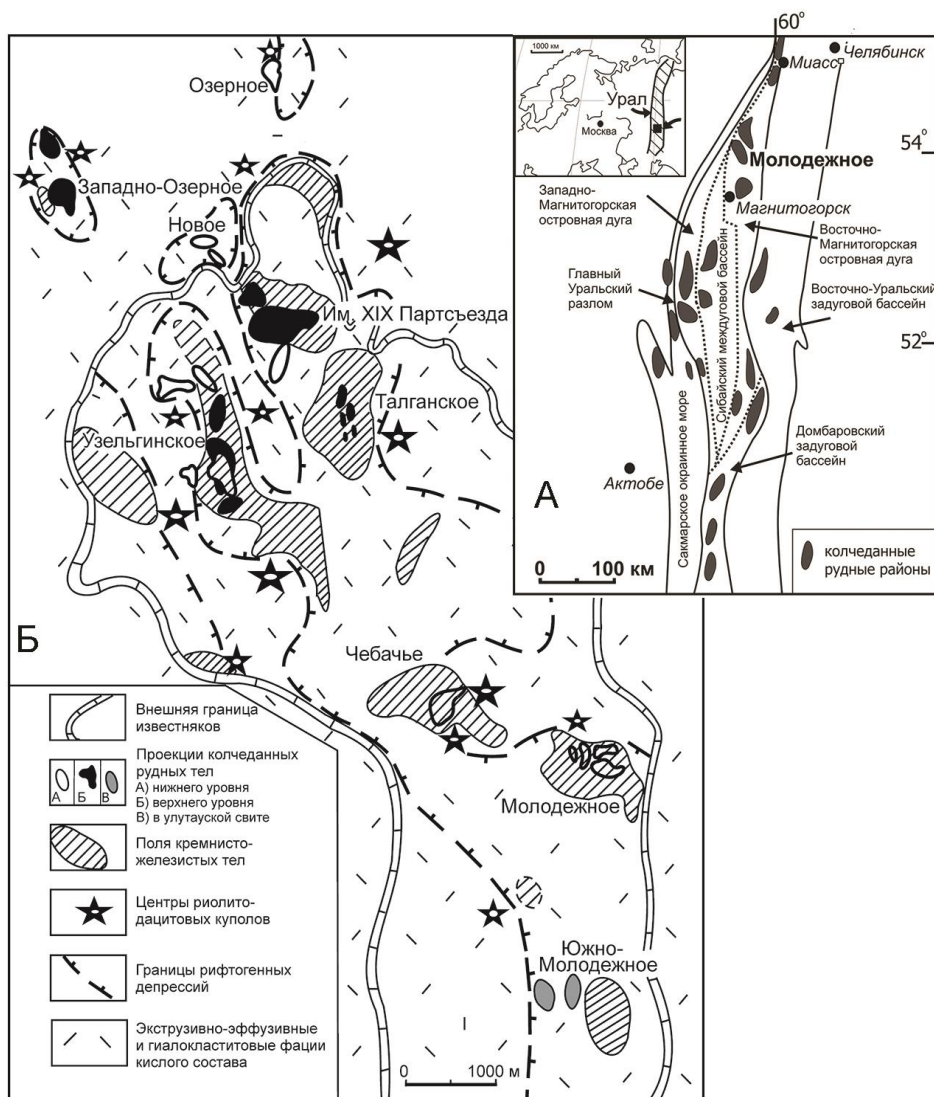


Рис. 2.1. Молодежное медно-цинково-колчеданное месторождение на схеме размещения: а – колчеданосных районов в палеоостроводужных зонах Южного Урала [Масленников, 1999], б – на схеме Узельгинского рудного поля [Аюпова, Масленников, 2005].

В геологическом разрезе месторождения выделяются три толщи, относимые к карамалыгашской свите (снизу вверх): 1) базальтовая подрудная (изученная мощность около 200 м); 2) риодацитовая рудовмещающая (общая мощность варьирует от 0 до 200 м) и 3) риолитовая надрудная (мощность 5–200 м) и две надрудные толщи улутауской свиты, сложенные андезитами, известняками и вулканомиктовыми песчаниками (рис. 2.2). Риолиты подрудной толщи

подвержены интенсивным гидротермально-метасоматическим преобразованиям, кварцевые риолиты надрудной толщи затронуты лишь зеленокаменным автометаморфизмом [Медноколчеданные ..., 1988].

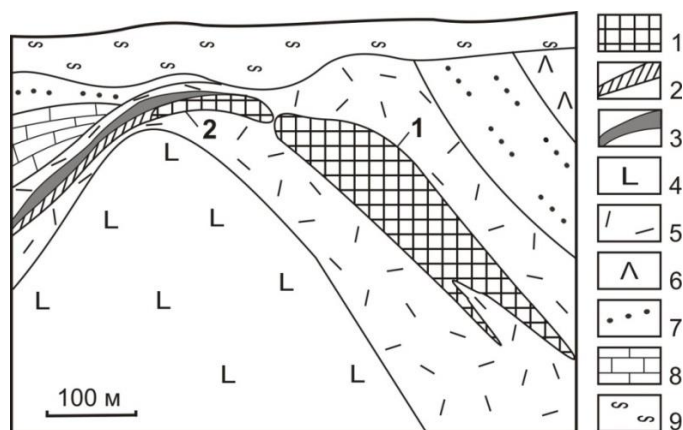


Рис. 2.2. Геологический разрез Молодежного месторождения: 1 – массивные медно-цинково-колчеданные руды; 2 – кластогенные руды, слоистые, иногда с прослоями госсанитов; 3 – госсаниты; 4 – базальты, их лавокластиты и гиалокластиты; 5 – риодациты, их лавокластиты и гиалокластиты; 6 – андезиты, 7 – вулканомиктовые песчаники; 8 – известняки; 9 – рыхлые отложения. Цифрами указаны номера рудных тел.

В южной части месторождения в северо-северо-западном направлении веером расходятся три разрывных нарушения, имеющие восточное падение под углом 70–80°. Эти нарушения сбросового и взбросо-сдвигового характера делят месторождение на четыре блока (см. рис. 2.1 б) и, соответственно на четыре рудных тела, которые приурочены к горизонту вулканогенно-осадочных пород, располагающемуся вдоль границы риолит-дацитовый и риолитовой толщ.

Молодежное месторождение относится к слабо метаморфизованным месторождениям (эпидот-пренил-пумпеллитовой субфации зеленосланцевой фации метаморфизма) [Медноколчеданные ..., 1988]. Рудные тела имеют пластообразную и линзообразную форму. Южная часть первого тела имеет плоско-линзовидную форму и падает на восток под углом 45–60°. К северу угол падения рудного тела становится положе – до 30–25°. Морфология залежи усложняется крутопадающими апофизами вкрапленных руд, следующими вдоль разрывных нарушений. Вторая рудная залежь представлена в основном пластообразным телом, падающим на восток под углом 10–20° и более пологим падением (5–10°) на восток, и небольшой мощностью, не превышающую 10 м. Третье рудное тело выделяется в зоне сочленения северо-западных разрывных нарушений и представлено крутопадающим штокверком в серицит-кварцевых метасоматитах, местами переходящим в сплошные руды. Четвертое рудное тело находится в северо-западной части месторождения и представлено маломощной субгоризонтальной залежью вкрапленных и частично массивных руд, приуроченной к горизонту вулканогенно-осадочных пород.

Для руд Молодежного месторождения характерны массивная, колломорфная, брекчиевидная, полосчато-колломорфная, крустификационная и реже полосчатая текстуры; гипндиоморфнозернистая, порфировая, пойкилитовая, эмульсионная, коррозионная, графическая структуры. Главные рудные минералы — пирит, сфалерит, халькопирит и теннантит, встречается галенит. К мало распространенным или редким относятся арсенопирит, пирротин, борнит, магнетит и алтаит. В виде мелких зерен встречается рутил, особенно во вкрапленных рудах. Нерудные минералы представлены кварцем, хлоритом, карбонатом и серицитом.

В последние годы сотрудниками лаборатории минералогии рудогенеза Института минералогии ЮУ ФНЦ УрО РАН при картировании сульфидных залежей применяется рудно-фациальный анализ [Масленников, Зайков, 2006]. Суть рудно-фациального анализа состоит в изучении рудных фаций, которые определяются как рудные тела или части рудных тел, со

сходными структурно-текстурными и вещественными признаками, свойственными близким обстановкам и процессам минералообразования.

По результатам рудно-фациального картирования рудная залежь Молодежного месторождения реконструирована как сильно разрушенный донный гидротермальный «сульфидный холм» [Масленников, 2006] (рис. 2.3). В «ядре» сульфидного холма доминируют массивные серноколчеданные руды – гидротермально-метасоматическая фация, на склонах – грубообломочные брекчии, состоящие из обломков колломорфного и массивного зернистого серного колчедана – проксимальная кластогенная фация. В отдельных слоях сульфидных брекчий встречаются многочисленные фрагменты пирит-сфалерит-халькопиритовых труб «черных курильщиков» (гидротермальная фация). Сульфидные брекчии к флангам рудного тела сменяются сульфидными турбидитами, являющимися рудокластическими потоками (кластогенная фация). В кровле рудных тел в виде маломощных слоев (до 10-20 см) и в переслаивании с сульфидными турбидитами на флангах широко представлены слои госсанитов – продуктов полного субмаринного окисления сульфидных руд (субмаринная гальмиролитическая фация) [Аюпова и др., 2017].

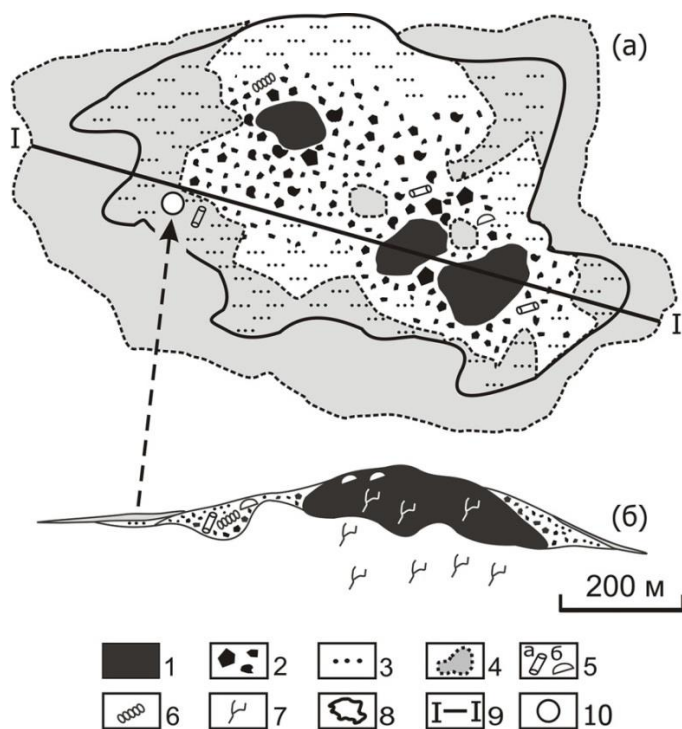


Рис. 2.3. Рудно-фациальная реконструкция рудной залежи Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения (а-б) [Maslennikov et al., 2012]: 1 – реликты разрушенных сульфидных холмов – ядра массивных серноколчеданных руд; 2 – крупно- и мелкообломочные колчеданные руды; 3 – слоистые руды; 4 – гематитовые продукты полного субмаринного окисления колчеданных руд; 5 – обломки труб «черных курильщиков» и гидротермальных корок, 6 – места находок сульфидизированных трубок червей; 7 – сульфидные штокверки, 8 – контур рудной залежи; 9 – линия разреза; 10 – местоположение изученных колонок и места отбора образцов.

Запасы руды на месторождении составляют 15909 тыс. т: Cu 344.3 тыс. т при среднем содержании 2.56 % и цинка 552.1 тыс. т при среднем содержании 0.52 % [Материалы ..., 1998]. Содержания элементов-примесей варьируют в различных частях рудных тел, в основном увеличиваясь к флангам [Злотник-Хоткевич, 1988ф]: Au 1.38–2.75 г/т (среднее); Ag 33.30–69.02 г/т (среднее), Pb до >0.05 %, Te до 330 г/т, Se до 163 г/т, Bi до 200 г/т.

ГЛАВА 3. ПРОДУКТЫ СУБМАРИННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РУД

На Молодежном месторождении слоистые руды мощностью до первых десятков метров представляют собой слоистую пачку, состоящую из обломочных градационно-слоистых и/или тонко-криптозернистых (почти полностью утративших первичные черты обломочного происхождения) сульфидных слоев, содержащих обогащенные халькопиритом или госсанитовые слои.

Сульфидные турбидиты подразделяются на два типа: проксимальные и дистальные.

Проксимальные турбидиты образуют ритмично-слоистые пластообразные рудные тела мощностью от 0.5 до 5 м и более. Постепенное выклинивание таких рудных пластов с удалением от материнской сульфидной линзы происходит на расстояниях сотен метров. Такие руды имеют градационную, косую, косоволнистую слоистость и специфические механоглифы в подошве рудных циклитов, указывающие на их турбидитовое происхождение. В кровле некоторых сульфидных прослоев присутствуют гематитовые и барит-гематитовые слойки, являющиеся продуктами придонного окисления сульфидов.

Дистальные турбидиты – мелкообломочные кластогенные рудные прослои, широко распространены на выклинках рудных залежей многих колчеданных месторождений Урала и других регионов [Масленников, Зайков 2006]. Нередко процессы придонного преобразования настолько изменяют сульфидные слои дистальных турбидитов, что в ряде случаев возникают трудности в диагностике их первичной природы. В сульфидных слоях преобладают дигенетические сегрегации, конкреции, эвгедральные кристаллы и фрамбоиды пирита. Такие слои рекомендуют называть диагенитами [Maslennikov et al., 2019]. Диагенитами в целом называют породы, полностью изменившие свой первоначальный облик в результате диагенетических процессов [Фролов, 1992].

Изучаемые нами слоистые руды локализованные на выклинке Второго рудного тела Молодежного месторождения, которые являются преобразованными в условиях литогенеза дистальными турбидитами. Для изучения минерального состава слоистых пирит-халькопирит-сфалеритовых руд и связанных с ними госсанитовых горизонтов использовано 6 образцов, отобранных во время полевых работ 2018 г. на месторождении.

3.1. Текстурно-структурные особенности слоистых руд

Образец Мол-18-1 (рис. 3.1 а). Слоистая сульфидная руда халькопирит-пиритового состава в виде чередования слоев, состоящих из мелкообломочного и тонкозернистого строения. Мощность слоев мелкообломочного строения (до 56 см) в 5–6 раз больше мощности слоев тонкозернистого строения (до 1–2 см). Границы слоев от четких до размытых. В некоторых слоях наблюдаются нарушения в виде выклинивания и сужения некоторых слоев. Слои различаются по цвету, составу и структуре. Тонкозернистые сульфидные слои ярко-желтого цвета, а мелкообломочные слои характеризуется более темной окраской из-за присутствия в них нерудного материала, в том числе хлоритизированных гиалокластов размером до 0.3 мм. Образование таких слоистых руд можно объяснить сменой турбидитовых потоков, отлагавших мелко- и тонкообломочный материал и глубоким преобразованием переотложенного рудокластического материала.

Образец Мол-18-7 (рис. 3.1 б). Слоистая сульфидная руда, образована слоями барит-халькопирит-пиритового и пирит-халькопиритового состава. Границы слоев нечеткие. Слои различаются по цвету и размеру слагающих их обломочного материала. Мощность слоев от 1 см до 4 см. Подошву и кровлю слоев определить затруднительно. Слои состоят преимущественно из пирита, халькопирита, возможно, сфалерита, а так же из нерудных минералов. Собственно от количества нерудного материала слои становятся более темноокрашенными. Второй слой сечет кварцевая жила мощностью 2–3 мм, шестой слой тоже пересекается кварцевым прожилком. К кровле третьего слоя и в пятом слое наблюдается обогащение халькопиритом.

Образец Мол-18-10 (рис. 3.1 в). Слоистая сульфидная руда халькопирит-пиритового состава. Выделяются слои 4 разновидностей мощностью от 4 до 8 см, которые различаются как по

цвету, так и по структуре и количественным соотношениям пирита и халькопирита: 1 слой представляет собой ритмичное чередование существенно пиритовых мощностью до 1 см и обогащенных халькопиритом слоев мощностью до 5 мм, где наблюдаются текстуры оплывания слоев, иногда присутствие тонких слоев нерудного материала; 2 слой – мощный градационно-обломочный (мощность до 8 см), который постепенно переходит в сульфидный слой тонкозернистой структуры, который в свою очередь сменяется слоем криптозернистого строения (3 слой) и 4 слой образован разнообломочным мелко-тонкозернистым материалом с примесью нерудной составляющей, внутри которого наблюдается разлинзование (длиною до 5 см и мощностью 0,5 см) и нарушение целостности в виде неравномерного распределения материала внутри слоя. В некоторых слоях удается определить кровлю и подошву по градации обломочного материала внутри слоя.

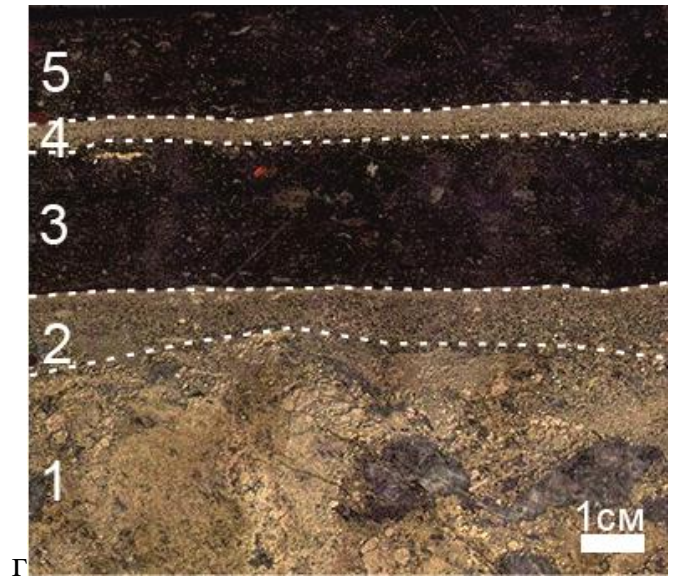
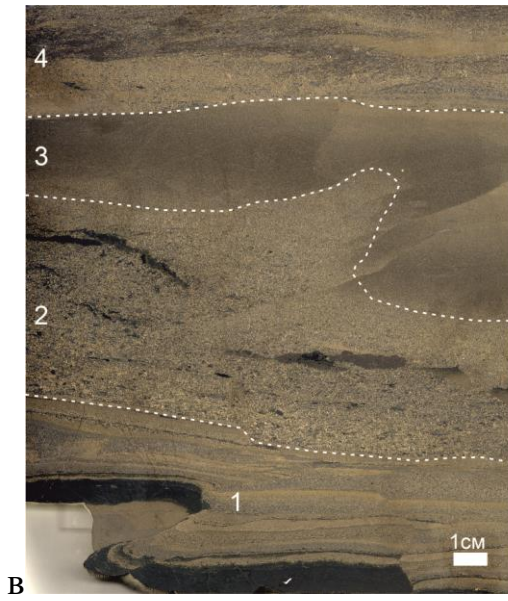
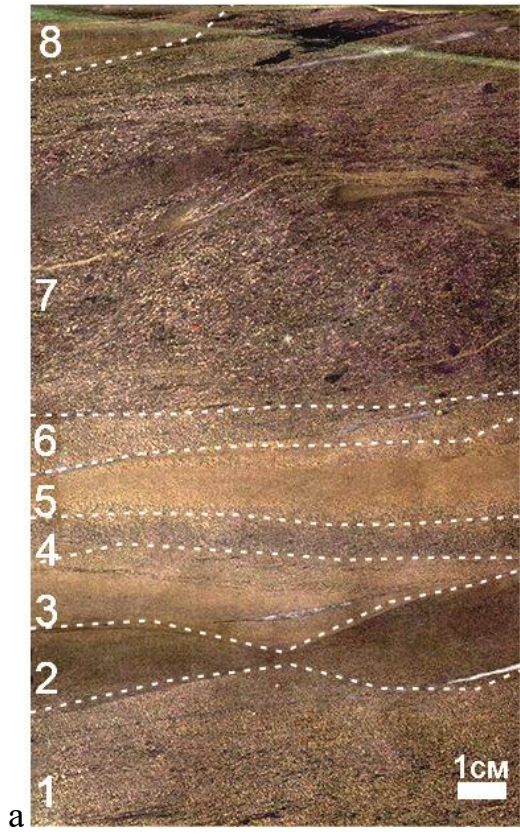
Образец Мол-18-8 (рис. 3.1 г). Слоистая сульфидно-гематитовая руда представлена чередованием сульфидных (существенно пиритовых) и гематитовых слоев, залегающих на обломочных рудах барит-халькопирит-пиритового состава. Мощность сульфидных и гематитовых слоев варьирует от 0,7 см до 6 см. Границы слоев четкие, какие-либо нарушения не наблюдаются. В сульфидных слоях уверенно устанавливается подошва и кровля слоев по наличию заметной градации обломочного материала, а также знаков продавливания рудокластами нижележащие слои.

Обломочная барит-халькопирит-пиритовая руда состоит на 70 % из пирита, 15 % халькопирита, 10 % барита и 5 % кварца. Обломки изометричной формы с четкими контурами в основном халькопирит-пиритового состава размером от 0,5x1 до 1x3 см. Барит встречается как в тесной ассоциации с сульфидами, так и образует крупные гнезда размером $\approx 3 \times 1$ см. В гематитовых слоях наблюдаются многочисленные мелкие (до 7 мм) изометричные обломки гематита стально-серого цвета (вероятно, псевдоморфозы гематита по сульфидам) в основной нерудной кварц-хлоритовой массе.

Чередование сульфидных и гематитовых слоев свидетельствует о частой смене pH-Eh условий при их формировании.

Образец Молод-18 (рис. 3.1 д). Слоистая сульфидно-гематитовая руда, образующая ритмичное чередование сульфидных и гематитовых слоев различной структуры. Границы слоев четкие. Мощность слоев сильно варьируют: от первых миллиметров до 8,5 см. Сульфидные слои в основном градационно-слоистые, пиритового или халькопирит-пиритового состава, в подошве сульфидных слоев наблюдаются знаки нагрузки. Заметное обогащение халькопиритом характерно для центральной части слоя 4. Так же в кровле этого слоя встречаются округлые образования, вероятно конкреции пирита размером до 0,7 см. Мощность гематитовых слоев сильно варьирует: от первых миллиметров до 6 см. Внутри гематитовых слоев также наблюдается тонкая слоистость, подчеркивающая чередование существенно гематитовых слоев с нерудными слоями. Характерным признаком гематитовых слоев являются многочисленные изометричные обломки гематита стально-серого цвета размером до 3-4 мм. В госсанитовом слое N 7 встречается сфалеритовый прослой мощностью 0,5 см.

Мол-18-5 (рис. 3.1 е). Плотная крепкая порода красноватого цвета с неяснослоистой текстурой, с хорошо различимыми гематитовыми обособлениями и прерывистыми слойками мощностью до 1 см в основной ярко-красной тонкодисперсной гематит-кварцевой массе. Отмечается также прослой более темного зеленовато-бурого цвета, состоящий из вулканокластического материала (хлорит) с примесью барита (белое). Барит присутствует и в виде мелких многочисленных гнезд размером 0,1x0,3 мм.



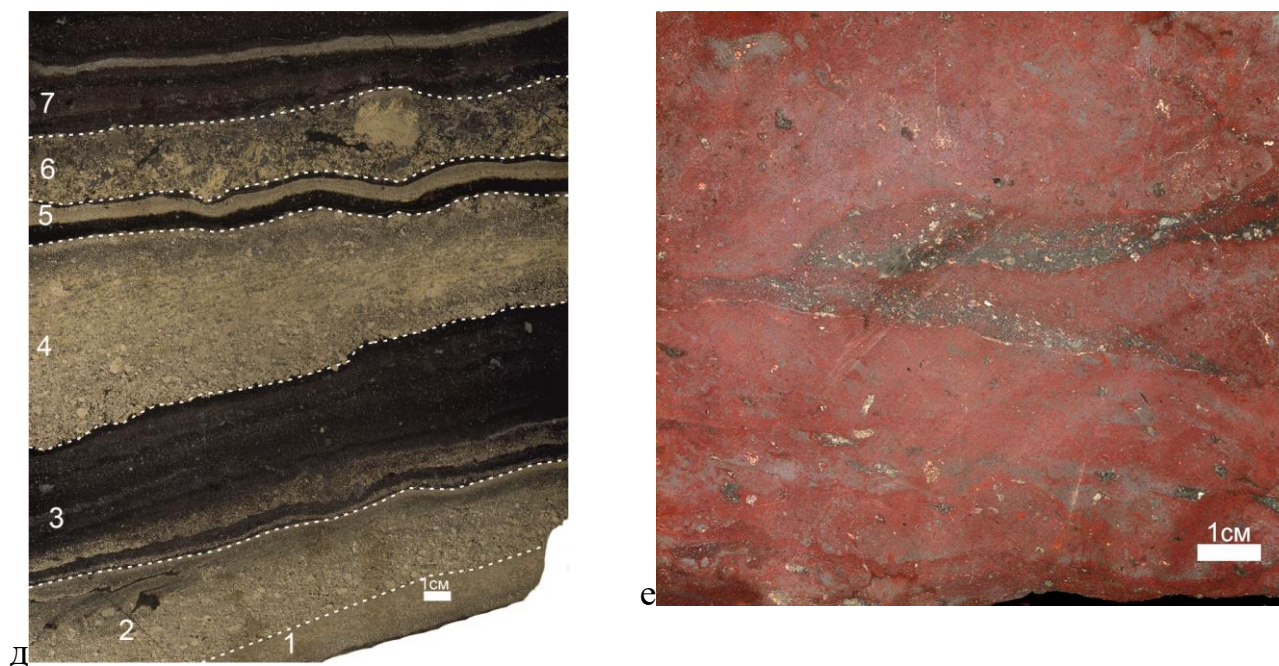


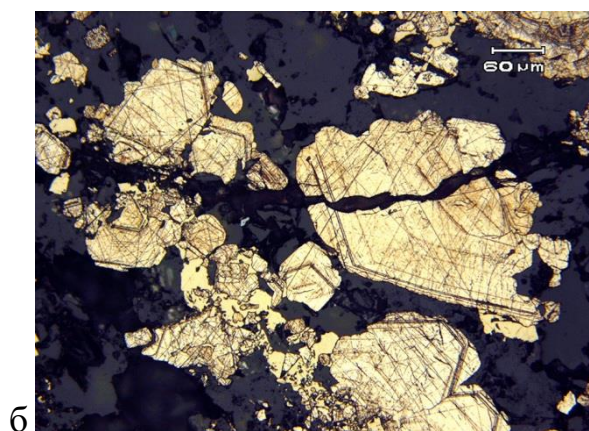
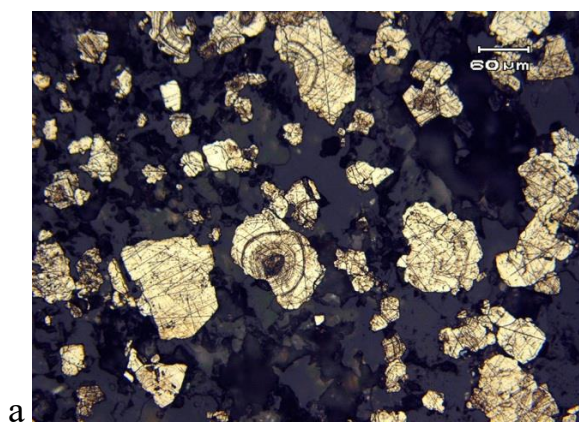
Рис. 3.1. Образцы слоистых руд Молодежного месторождения: а–в – сульфидные турбидиты, содержащие слои, обогащенные халькопиритом (обр. мол-18-1, мол-18-7 и мол-18-10); г–д – переслаивание сульфидных турбидитов со слоями госсанитов (обр. мол-18-8, молод-18); е – барит-кварц-гематитвый-кварцевый госсанит (обр. мол-18-5). Фото полированных образцов.

3.2. Минеральный состав слоистых руд

Обломочные барит-халькопирит-пиритовые слои

Минеральный состав обломочных барит-халькопирит-пиритовых слоев (см. рис. 3.1 г) представлен, в основном, пиритом и халькопиритом. *Пирит* в сульфидных слоях представлен рудокластами размером до 150–200 мкм (рис. 3.2 а, 3.2 б), а также идиоморфными и гипидиоморфными зернами размером до 300 мкм (рис. 3.2 в). *Халькопирит* встречается в виде ксеноморфных зерен, а так же заполняет интерстиции между зернами пирита (рис. 3.2 г). В меньшем количестве встречается *галенит* в виде ксеноморфных зерен (рис. 3.2 д), находящихся в зернах других сульфидов или в нерудном материале.

Встречаются единичные срастания зерен *ковеллина* и *борнита* размером до 10 мкм (рис. 3.2 е).



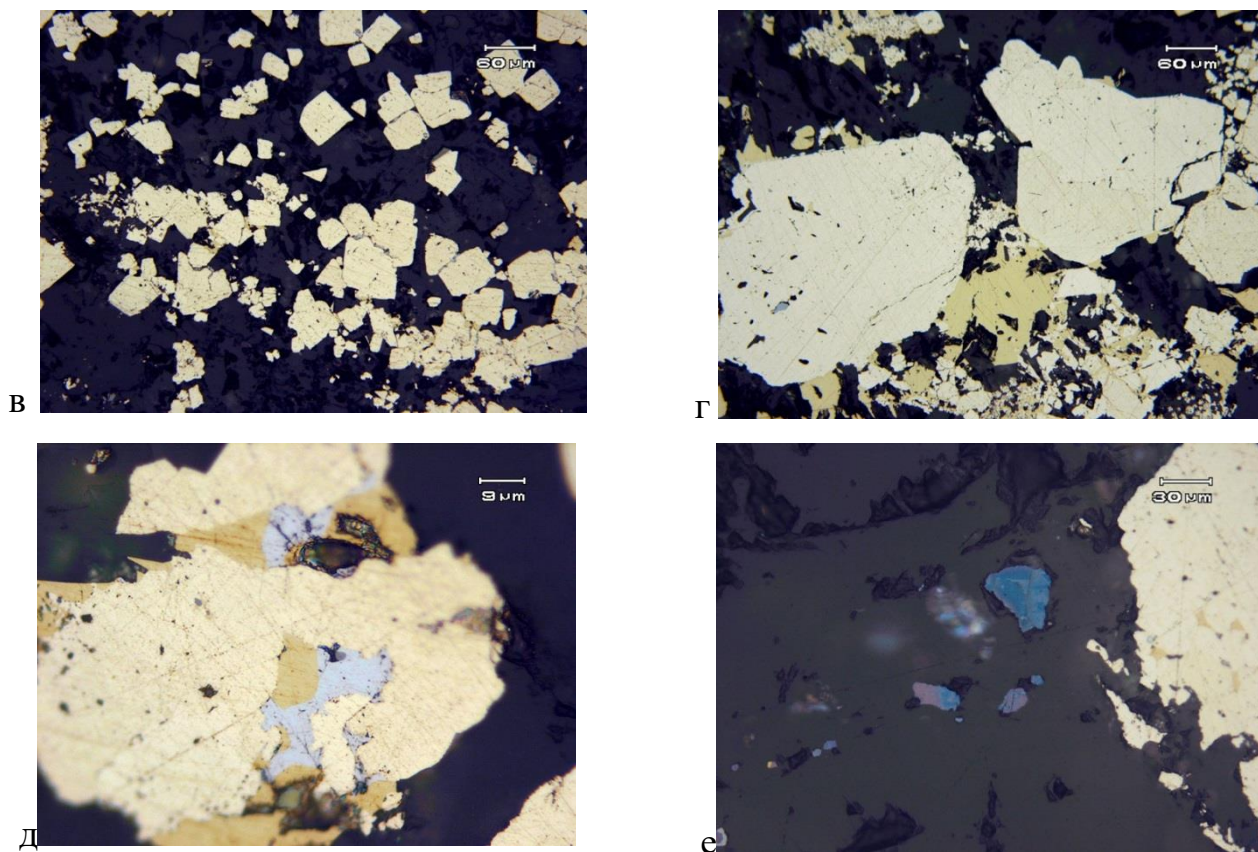


Рис. 3.2. Обломочные барит-халькопирит-пиритовые слои: а, б – пиритовые рудокласты в баритовой матрице; в – зерна пирита в нерудной матрице; г – ксеноморфные зерна халькопирита среди зерен пирита в нерудной матрице; д – включения галенита в пирите; е – обособления ковеллин-халькозиновой ассоциации в нерудной матрице. Отраженный свет.

Сульфидные слои халькопирит-пиритового состава

Последовательность чередования сульфидных слоев в образцах различна (см. рис. 3.1 а, б, в), но, в целом, сульфидные слои преимущественно состоят из сульфидов с разным количеством нерудных минералов. *Пирит* встречается в виде идиоморфных и гипидиоморфных зерен размером до 400 мкм, а также в виде фрамбоидов, которые образуют сегрегации (рис. 3.3 а). При структурном травлении выявляются обломки пирита размером до 100 мкм с характерным для них срезанием текстурного рисунка (рис. 3.3 б, 3.3 в). Обнаружен единичный почковидный агрегат пирита (рис 3.3 г). Встречаются тонкозернистые агрегаты, а так же агрегаты, где вокруг гипидиоморфных зерен располагается тонкозернистый пирит (рис. 3.3 д).

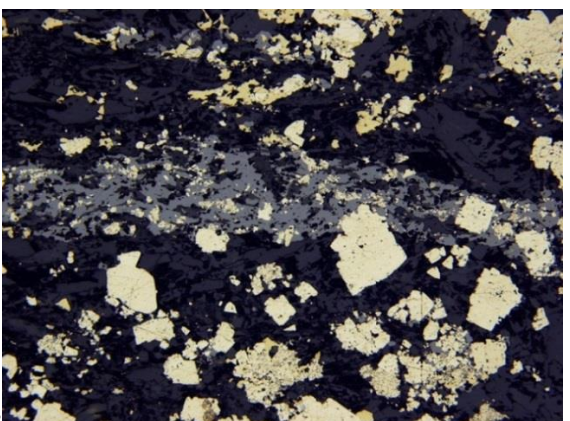
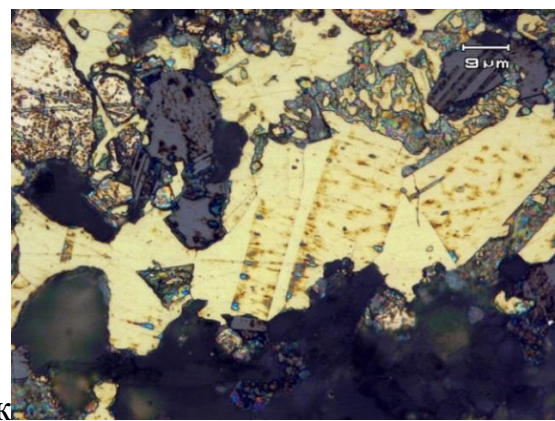
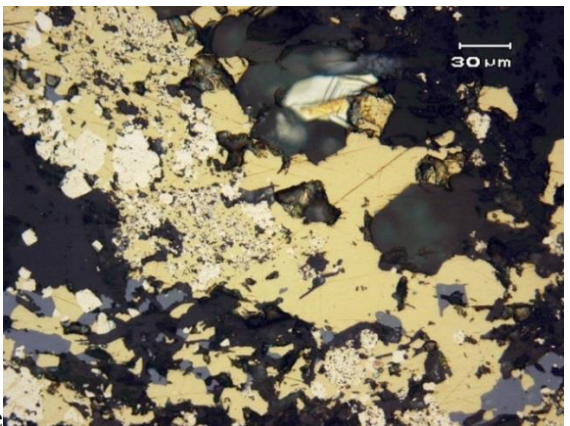
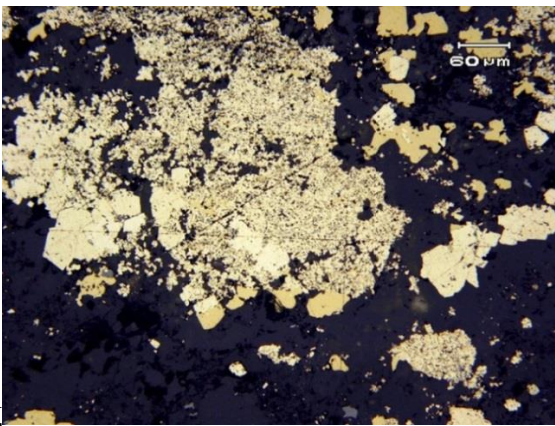
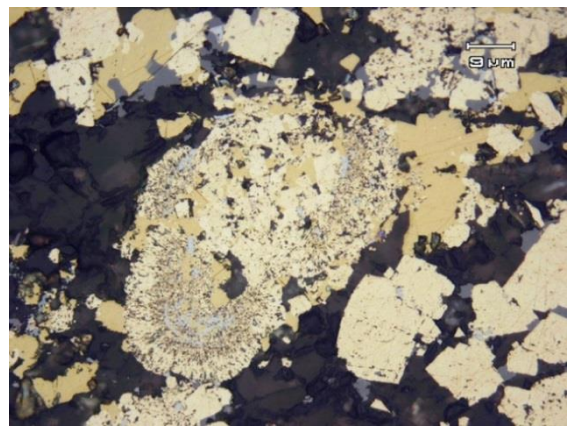
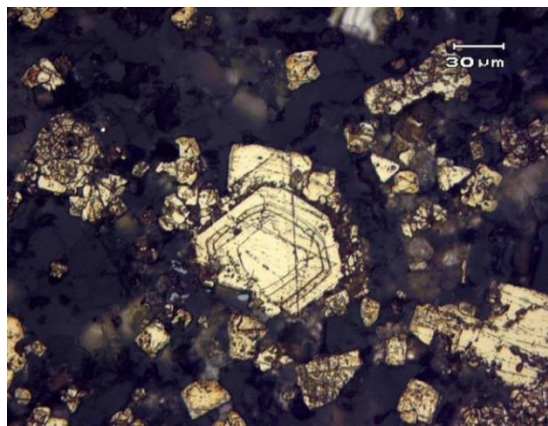
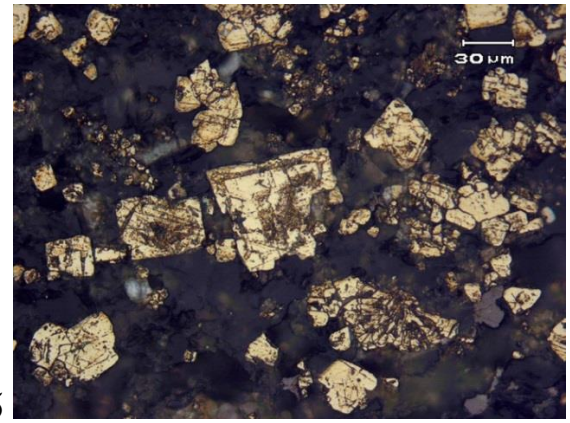
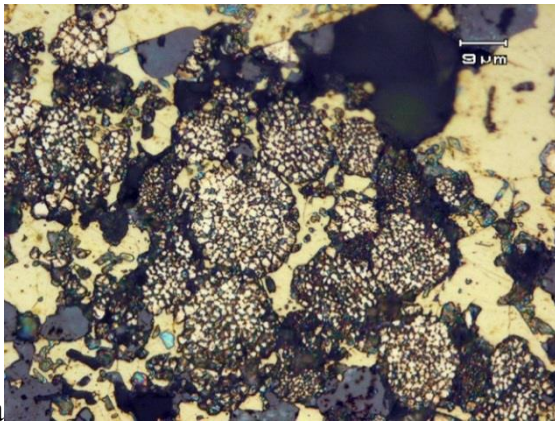
Халькопирит встречается в виде ксеноморфных агрегатов в нерудной массе (рис. 3.3 е), а так же как халькопирит замещения тонкозернистых пиритовых масс (рис. 3.3 ж), иногда выполняет интерстиции. В некоторых слоях заметно обогащение халькопиритом. Так же при травлении были выявлены и более крупнозернистые гипидиоморфнозернистые агрегаты халькопирита, иногда с двойникованием (рис. 3.32 з). Отмечено увеличение халькопиритовых зерен от подошвы слоя к его кровле.

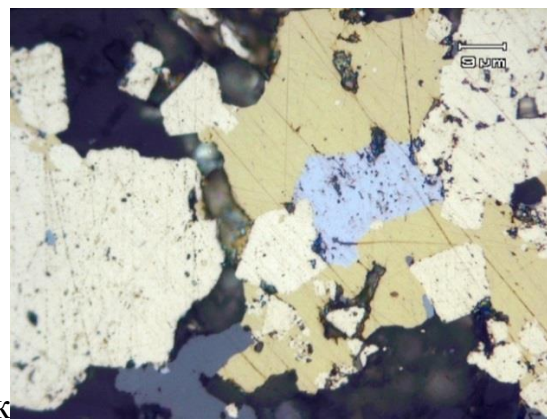
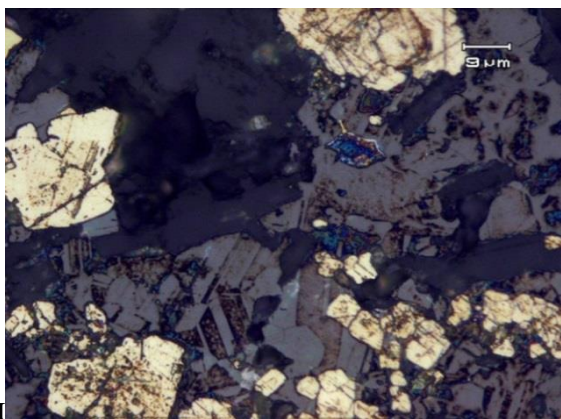
В сульфидных слоях встречаются ксеноморфные зерна *сфалерита*, находящиеся среди зерен других сульфидов и нерудной массы. Иногда сфалеритовые агрегаты образуют линзы размером до 2.5 мм (рис. 3.3 и). В некоторых зернах после травления проявляются двойники (рис. 3.3 к).

Гематит в данном образце встречается в виде ксеноморфных зерен, находящихся в основном в нерудной массе вокруг пирита, и вероятно, является результатом замещения его тонкозернистых агрегатов. Гематитовых псевдоморфоз не наблюдается.

В небольшом количестве встречается *галенит* в виде ксеноморфных зерен (рис. 3.3 м), находящихся в зернах других минералов.

Магнетит распознается в виде редких зерен размером $\approx 10\mu\text{м}$.





И

К

Рис. 3.3. Сульфидные слои халькопирит-пиритового состава: а – сегрегация фрамбоидального пирита; б, в – срезание текстурных рисунков обломков из зональных кристаллов пирита; г – колломорфно-почковидный пиритовый агрегат; д-е – тонкозернистый пиритовый агрегат в ассоциации с крупнокристаллическим пиритом и замещение тонкозернистого пирита халькопиритом; ж – халькопирит со сдвойникованным строением после травления; з – сфалеритовая микролинза; и – сфалерит со сдвойникованным строением; к – ксеноморфное зерно галенита в халькопирите. Отраженный свет.

Сульфидно-гематитовые слои

Сульфидные слои (рис. 3.1 в, г, д) состоят из разнообразных по внутреннему строению обломков халькопирит-пиритового состава размером от мельчайших до 1–3 см, сцементированных кварцевым материалом (рис. 3.4 а). Характерные особенности обломков – угловатые резко очерченные формы и срезание текстурного рисунка ограничениями. В обломках наиболее распространены тонкозернистые, кристаллически зернистые зональные, колломорфно-почковидные и фрамбоидальные агрегаты пирита. В тонкозернистых агрегатах пирита халькопирит выполняет интерстиции между зернами пирита. В центральных частях зерен пирита структурным травлением конц. $\text{HNO}_3 + \text{CaF}_2$ выявляется грубая зональность роста и незональная кайма позднего плотного пирита на периферии со сглаженными внешними очертаниями. Изредка в обломках встречаются включения галенита и сфалерита. Колломорфный пирит встречается в виде обломков с ламинарными, почковидными и глобулярными микротекстурами. Фрамбоидальный пирит в обломках образует сегрегации, сцементированные тонкозернистым ангедральным пиритом или нерудным веществом. Сегрегации фрамбоидального пирита замещаются халькопиритом, редко – теннантитом. Встречаются фрамбоидальные формы пирита также в виде изолированной вкрапленности в кварцевой массе.

В частично окисленных сульфидных слоях окислению в первую очередь подвергается мелко-тонкообломочный сульфидный материал с образованием как тонкодисперсной гематит-кварцевой массы, так и сплошных масс из игольчатых кристаллов гематита (рис. 3.4 б). Гематит замещает тонкозернистый пирит, а также корродирует и обрастает более крупные пиритовые обломки (рис. 3.4 в).

Госсанитовые слои представляют собой разнообломочную массу, состоящую из частично или полностью окисленных сульфидных обломков – псевдоморфоз гематита, хлоритизированных гиалокластов, обособлений халькопирита и барита в тонко-мелкообломочной массе кварц-хлорит-гематитового состава. Псевдоморфозы гематита по рудокластам имеют характер сглаженно-угловатых обломочных обособлений с хорошо выраженными ограничениями, изолированных друг от друга в хлоритовой или в тонкодисперсной кварц-гематитовой массе и не образуют сплошной ткани (рис. 3.4 г).

Распределение их неравномерное, размер варьирует от мельчайших до 5–7 мм. Наблюдается как разрастание псевдоморфоз в результате слияния друг с другом, так и стирание четко выраженного контура и слияние с основной кварц-хлорит-гематитовой массой. Форма псевдоморфоз разнообразна и подчиняется форме пиритовых рудокластов сульфидных слоев.

Процесс окисления рудокластов с образованием псевдоморфоз начинается с поверхности обломков и зависит от проницаемости отдельных участков. Для рудокластов размером менее 100 мкм часто характерна гематитовая кайма различной мощности. Степень замещения и сохранность реликтовых сульфидов различна.

Полностью окисленные сульфидные обломки характеризуются тонкозернистой, почковидно-коллоидной, фрамбоидальной и кристаллическо-зернистой (с зональностью роста) структурами, копируя внутреннее строение рудокластов сульфидных слоев (рис. 3.4 г, д). В псевдоморфозах обычно присутствуют пирит, халькопирит как в виде реликтов, так и приуроченных к межзерновому пространству, зонам роста и трещинам синерезиса (рис. 3.4 е).

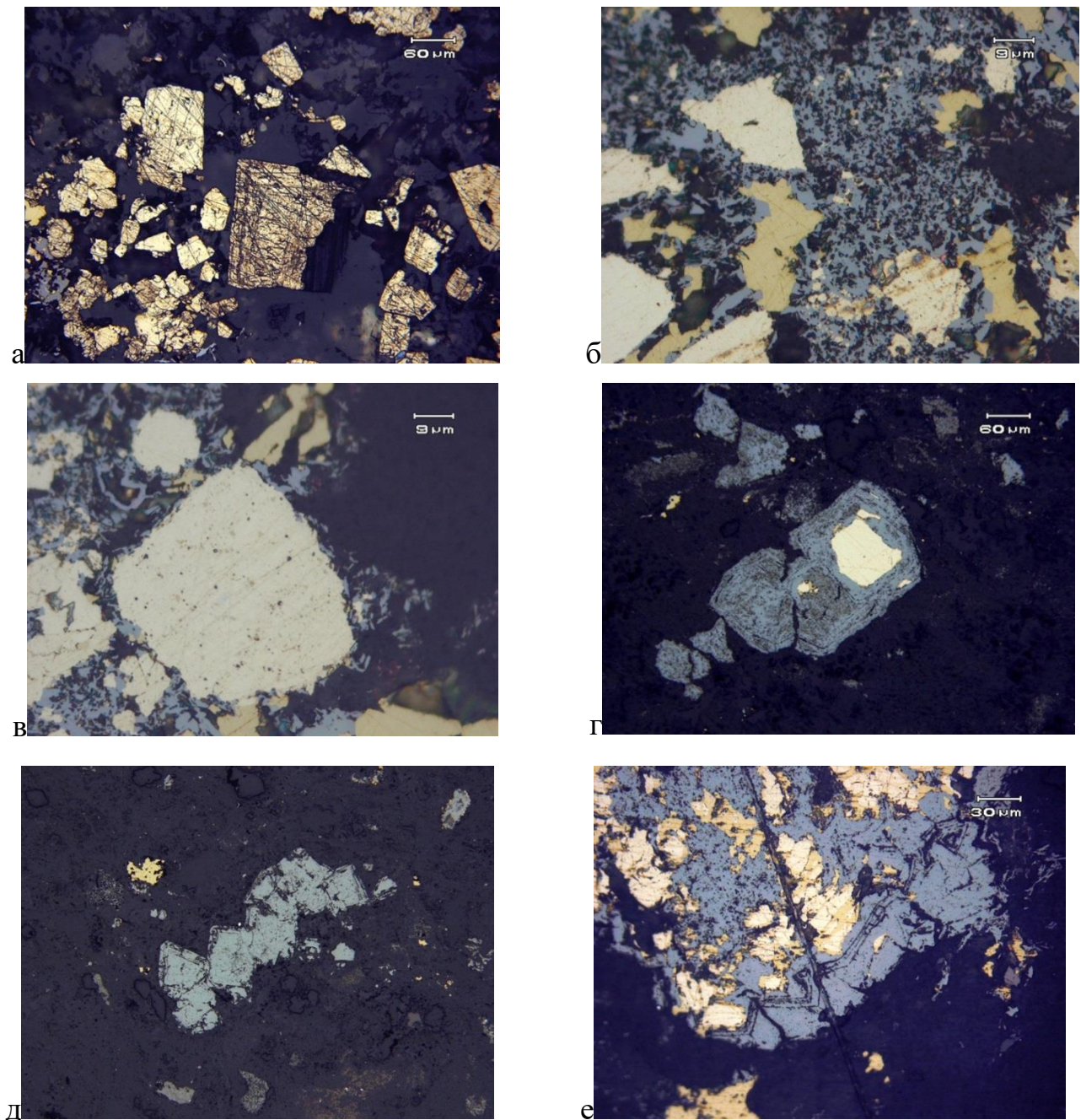
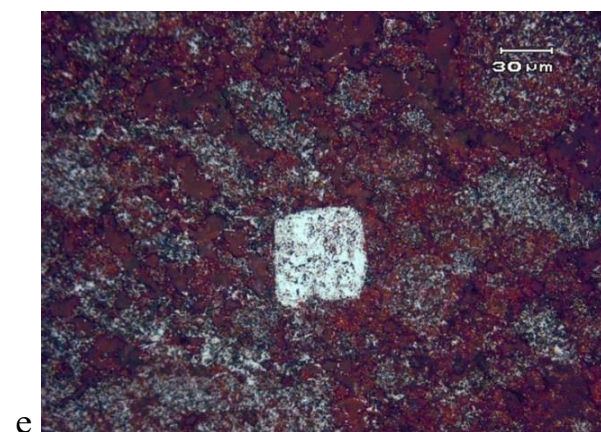
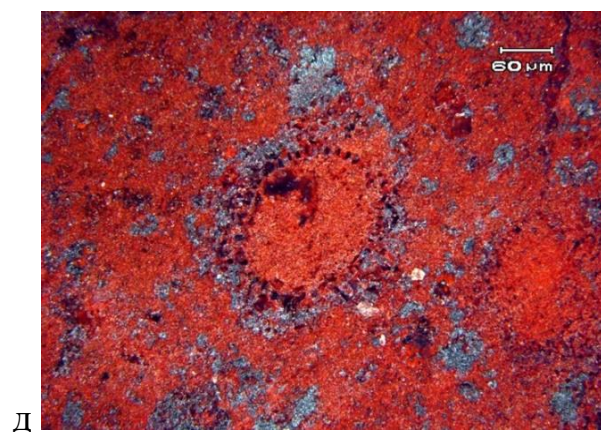
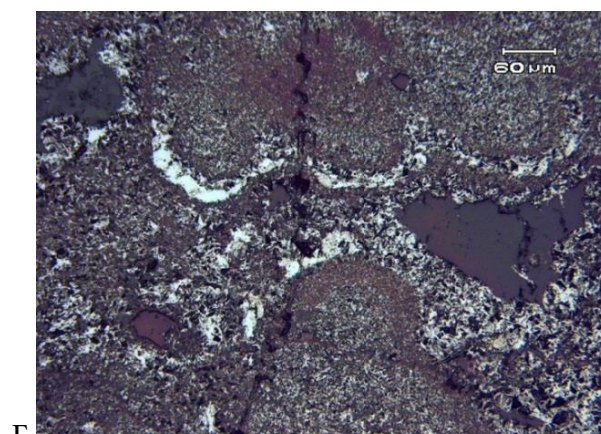
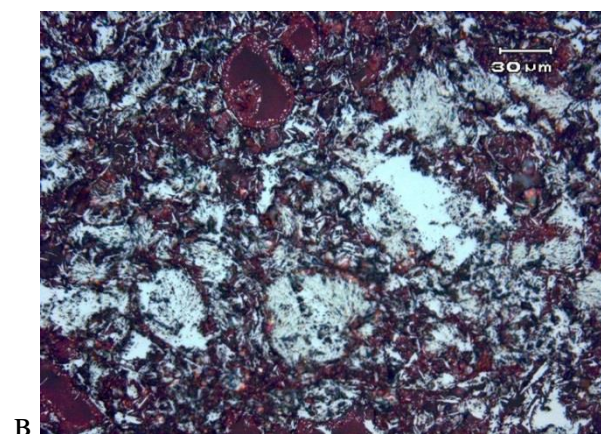
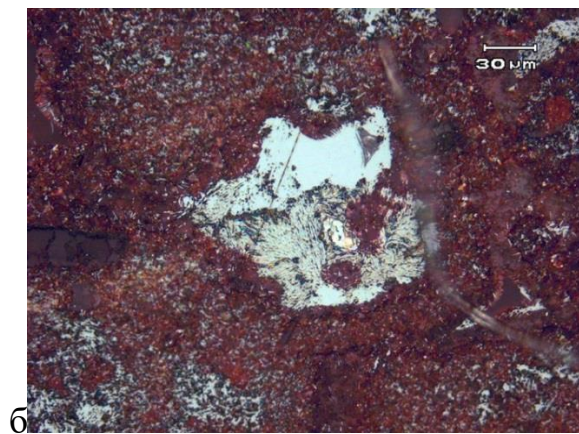
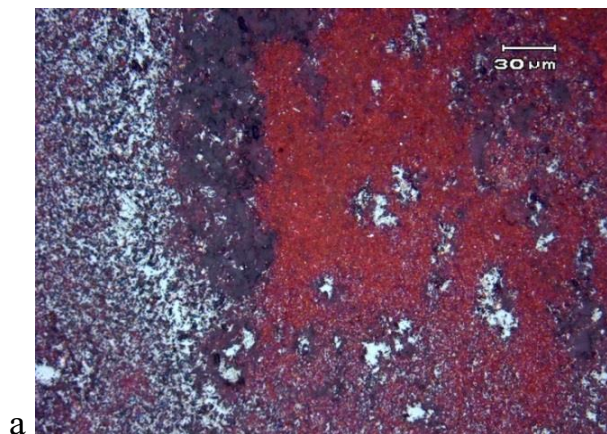


Рис. 3.4. Сульфидно-гематитовые слои: а – обломки пирита; б – гематитовый цемент замещения по тонкозернистому пириту; в – пиритовое зерно с каймой гематита; г – псевдоморфоза гематита по пириту; д – полная псевдоморфоза гематита по пириту; е – замещение халькопирит-пиритового рудокласта гематитом. Отраженный свет.

Госсанитовые слои

Основная масса госсанитовых слоев представлена преимущественно тонкодисперсными кварц-гематитовыми агрегатами. Гематит встречается в тонком срастании с кварцем (рис. 3.5 а) и в виде игольчатых кристаллов. Кристаллический гематит образует несколько разновидностей: веерообразные игольчатые агрегаты (рис. 3.5 б), сплошные тонкозернистые агрегаты (рис. 3.5 в), почковидные (рис. 3.5 г), кольцевые образования (вероятно, образованные при замещении фаунистических останков) (рис. 3.5 д) и псевдоморфозы гематита по пириту (рис. 3.5 е). Встречаются редкие гипидиоморфные зерна *магнетита* (рис. 3.5 ж).



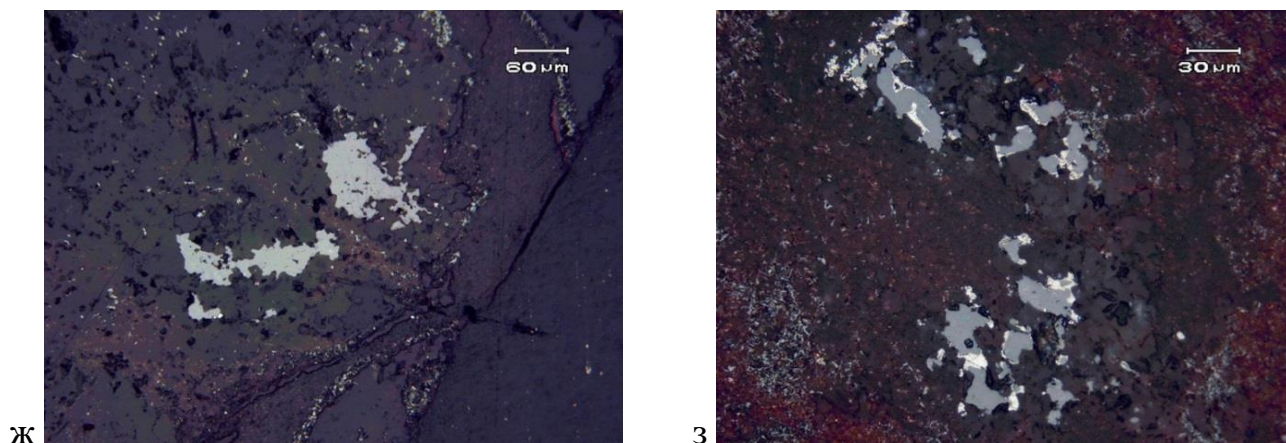
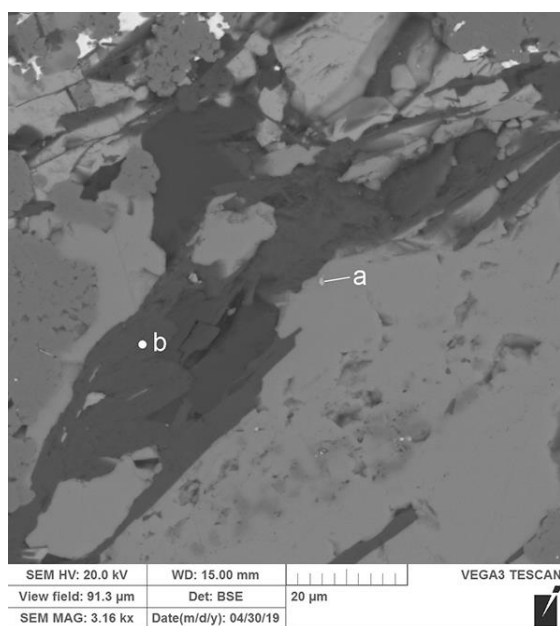


Рис. 3.5. Сульфидно-госанитовые слои: а – тонкодисперсный гематит; б, в – веерообразные игольчатые и сплошные тонкозернистые гематитовые агрегаты; г – почковидные гематитовые образования; д – поперечный срез гематитизированной фауны; е – псевдоморфоза гематита по пириту; ж – магнетитовые зерна в нерудной матрице; з – сростки сфалерита с галенитом в нерудной матрице. Отраженный свет; г – косое освещение.

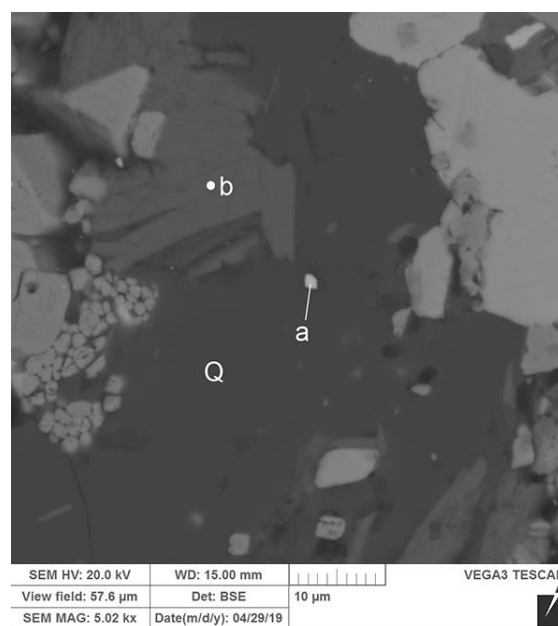
3.3. Акцессорная минерализация

Акцессорные минералы изучены с помощью СЭМ микроскопа TescanVega3 с энергодисперсионным анализатором Oxford Instruments X-act (аналитик Блинов И.А.).

Для *пирит-халькопиритовых слоев* установлены многочисленные включения галенита, касситерита и барита. Барит в основном локализован в нерудной массе, галенит и касситерит образуют включения в пирите и халькопирите, а также встречаются в нерудной основной массе. Галенит размером до 10 мкм обычно располагается на контакте пирита и халькопирита в виде ксеноморфных зерен, а для касситерита характерны мелкие включения размером до 2–3 мкм, которые встречаются как в нерудной ассоциации минералов, так и в сульфидах. Получены спектры касситерита (рис. 3.6).



а¹⁹²⁴¹



б¹⁹²³⁶

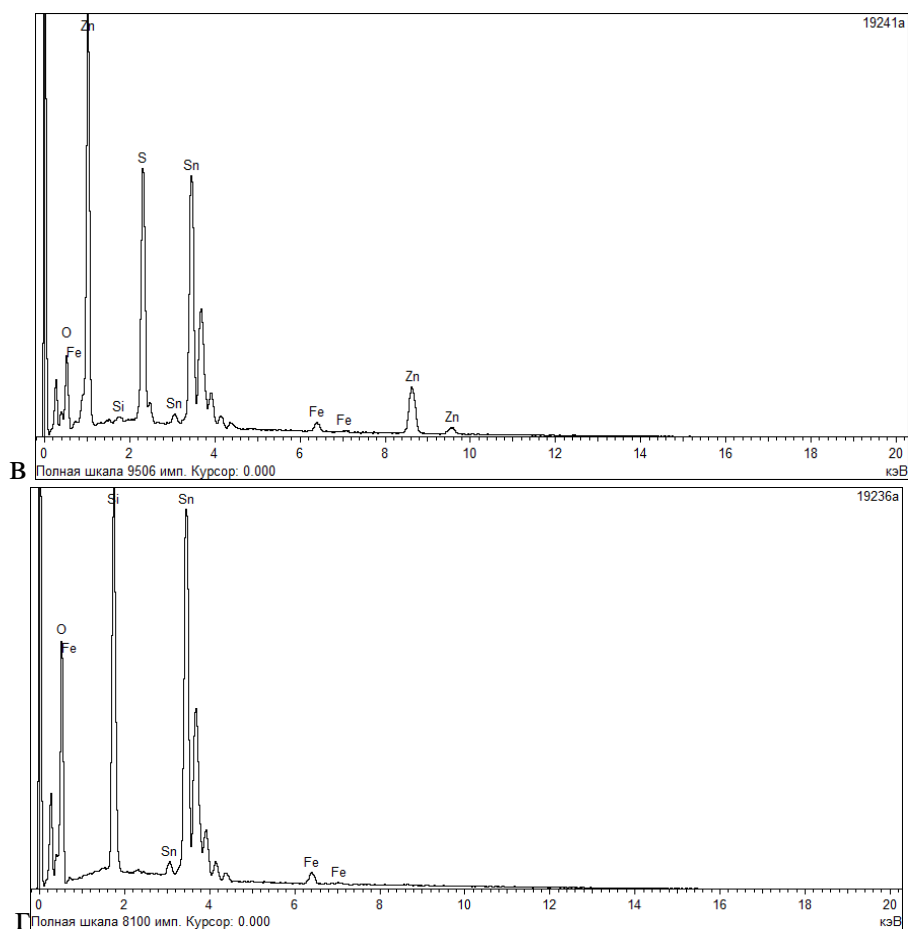
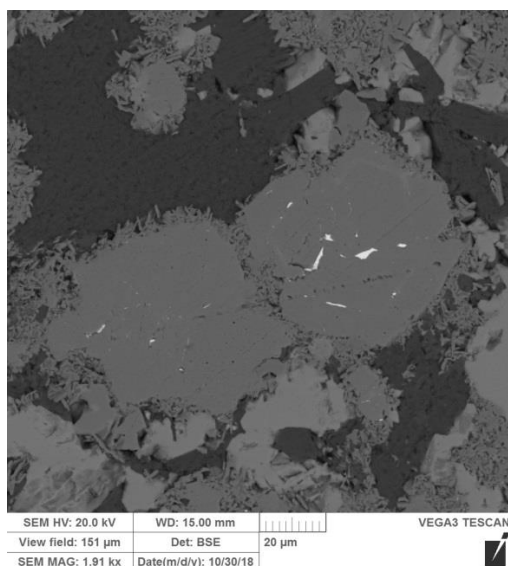
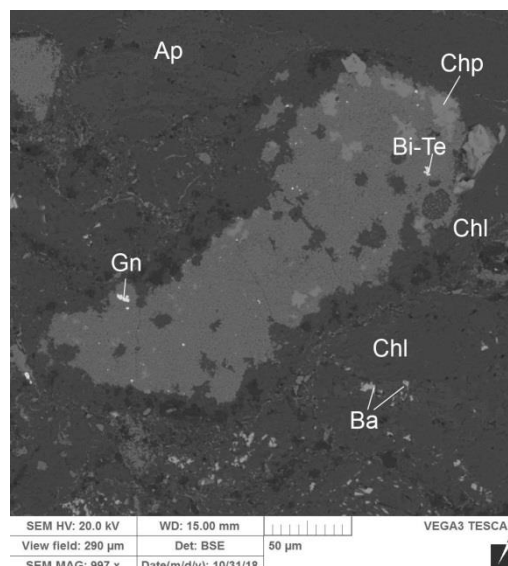


Рис. 3.6. Многочисленные крупные включения галенита (белое) и единичные касситеритовые зерна в нерудной матрице пирит-халькопиритовых слоев: а – касситеритовое (точка а) в нерудной баритовой матрице; б – касситеритовое (точка а) в нерудной кварцевой матрице; в,г – качественные спектры для зерен касситерита. Точка б – хлорит. Фото в отраженных электронах. а, б – СЭМ-фото.

Для сульфидно-гематитовых слоев электронно-микроскопическими исследованиями установлены многочисленные включения Se-содержащего галенита и теллуридов, представленных теллуrowисмутитом, колорадоитом и гесситом. Эти минералы установлены в псевдоморфозах гематита по сульфидным обломкам. Размер этих включений достигает 10–15 мкм (рис. 3.7, табл. 3.1). Эти же минералы в тесном срастании друг с другом обнаружены в галените, который концентрируется в виде сегрегаций размером до 100 мкм в кварц-хлорит-гематитовой основной массе. Ранее при исследовании гематитовых псевдоморфоз установлены также тетрадимит, вольтскит и цумоит [Аюпова, Масленников и др., 2018]. В основной нерудной массе обычно также отмечают обособления халькопирита, кристаллы барита, рутила и апатита.



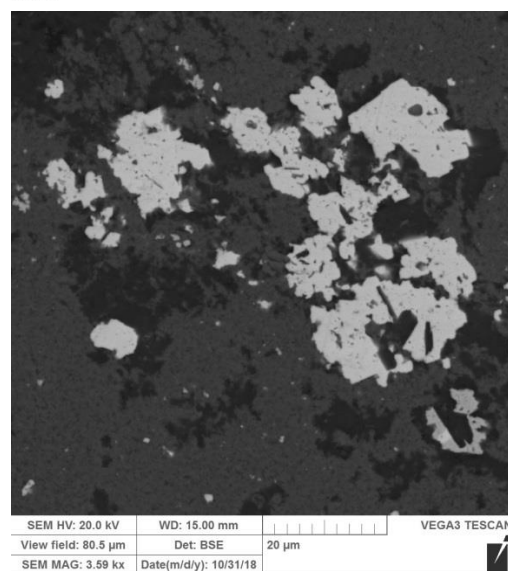
а 18491a



б 18491m



в 18491l



г 18491k

Рис. 3.7. Акцессорные минералы сульфидно-гематитовых слоев: а – галенит (Gn) в пиритовых (Py) обломках, в межобломочном пространстве гематит; б – включения теллурувисмутита в гематитовой псевдоморфозе, основная масса гематит-хлоритовая, содержащая барит и апатит; г – крупные агрегаты галенита в гематит-кварц-хлоритовой основной массе; д – деталь г, замещение галенита хлоритом. СЭМ-фото.

Гематитовая руда является продуктом полного окисления колчеданных руд, с редкими реликтовыми включениями пирита в псевдоморфозах. Основными акцессорными минералами стали многочисленные включения *галенита, барита, алтаита, волынскита и самородного теллура* (рис. 3.8 и 3.9, табл. 3.1). Галенит встречается в виде многочисленных зерен изометричной формы размером от 2 до 20 мкм. Алтаит обнаружен в ассоциации с галенитом, зерна изометричные, размер 5–10 мкм. Волынскит ассоциирует с галенитом и алтаитом, но встречается реже остальных. Форма зерен вытянутая размером 3×10 мкм. Самородный теллур встречается наиболее редко в виде единичных зерен округлой формы размером 4 мкм в нерудной матрице и установлен впервые для руд Молодежного месторождения (рис. 3.9). Из нерудных минералов установлен апатит в виде единичных зерен размером до 30 мкм. Для гематитовой руды получены фотографии зерен алтаита, волынскита и самородного теллура (см. рис. 3.8), а так же их

качественные спектры и количественные анализы (см. рис. 3.9). Так же встречаются немногочисленные ксеноморфные зерна *сфалерита* в сростках с *галенитом* (см. рис. 3.5 з).

Хлорит в гематитовых слоях представлен железистой разновидностью (мас. %): SiO₂ 24.11, Al₂O₃ 21.31, MgO 5.21 FeO 37.25. Для хлорита также характерна примесь V (до 0.48 мас. % и Mn (до 0.79 мас. %) и ZnO 0.30 мас. %

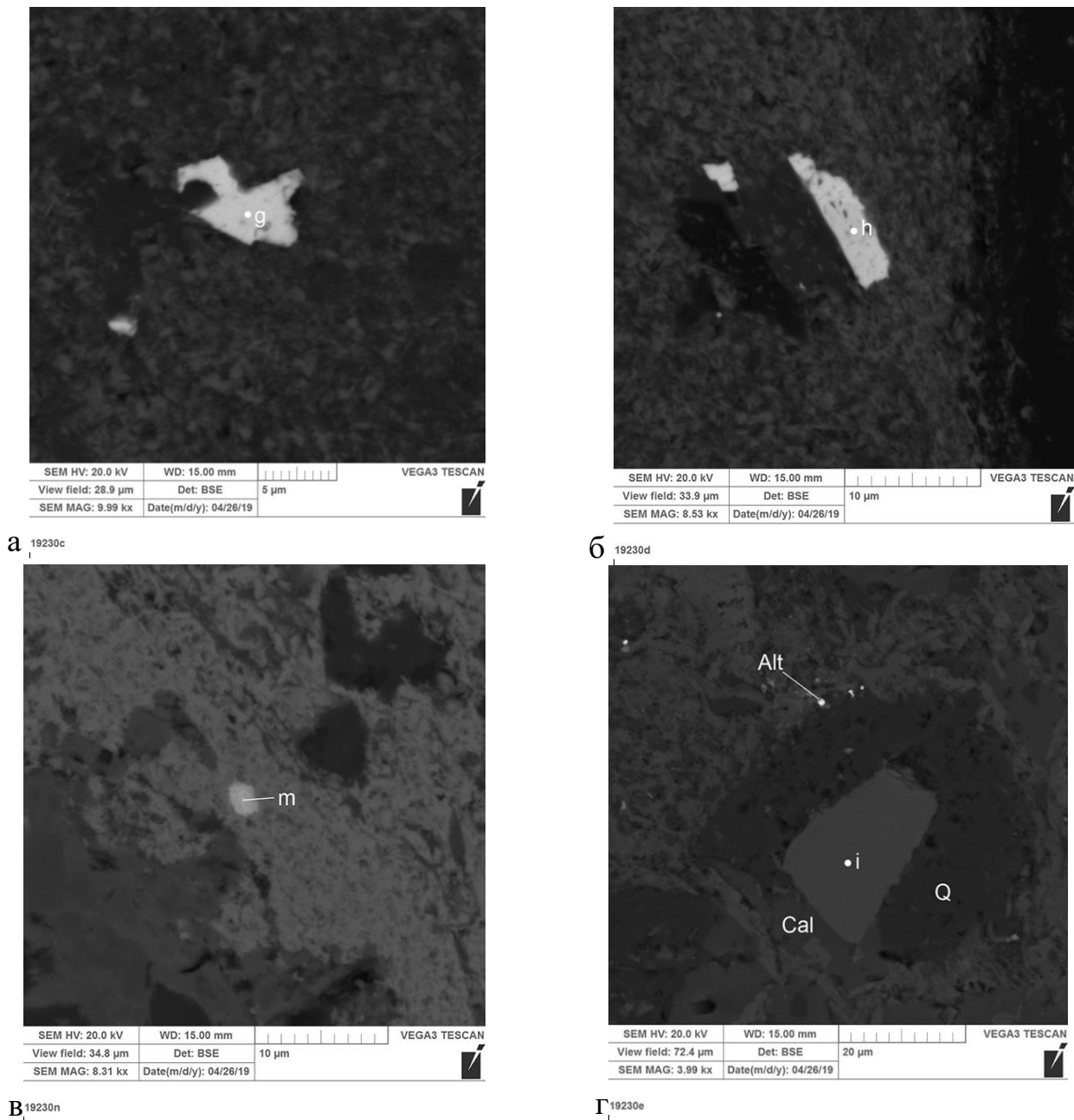


Рис. 3.8. Акцессорные минералы госсанитовых слоев: а-б – включения галенита и алтаита (точки g и h) в нерудной матрице, в – волынскит в кварц-гематитовой матрице, г – включение самородного теллура (точка i) в хлорите и зерна алтаита на контакте хлорита и кварц-гематитовых агрегатов (Cal- кальцит). СЭМ-фото.

Таблица 3.1. Химический состав аксессуарных минералов слоистых руд

	Pb	Bi	Hg	Ag	Fe	Te	Se	S	Сумма	Кристаллохимические формулы
Сульфидно-гематитовые										
галенит										
1	83.82	–	–	–	0.87	–	2.04	12.50	99.22	$Pb_{0.96}Fe_{0.04}(S_{0.94}Se_{0.06})$
2	82.58	–	–	–	1.60	–	2.61	12.38	99.17	$Pb_{0.93}Fe_{0.07}(S_{0.92}Se_{0.08})$
3	84.87	–	–	–	0.84	–	1.97	12.72	100.39	$Pb_{0.96}Fe_{0.04}(S_{0.94}Se_{0.06})$
теллуrowисмутит										
4	–	52.36	–	–	–	47.51	–	–	99.87	$Bi_{2.01}Te_{3.00}$
5	–	52.00	–	–	–	47.9	–	–	100.00	$Bi_{1.99}Te_{3.00}$
Тетрадимит [Аюпова, Масленников, 2018]										
6	–	59.05	–	0.67	–	36.39	–	3.90	100.02	$Bi_{1.98}Te_{2.00}Ag_{0.054}S_{0.85}$
колорадоит										
7	–	–	61.56	–	–	38.44	–	–	100.00	$Hg_{1.018}Te_{1.00}$
8	–	–	60.88	–	–	38.31	–	–	99.19	$Hg_{1.019}Te_{1.00}$
ВОЛЫНСКИТ										
9	–	40.91	–	15.03	–	44.06	–	–	100.00	$Ag_{0.80}Bi_{1.13}Te_{2.00}$
10	–	35.89	–	18.07	1.12	44.97	–	–	100.05	$Ag_{0.97}Bi_{0.95}Te_{2.00}$
гессит										
11	–	–	–	62.55	–	38.02	–	–	100.58	$Ag_{1.93}Te_{1.00}$
12	–	–	–	62.55	–	37.89	–	–	100.44	$Ag_{1.94}Te_{1.00}$
Цумоит [Аюпова, Масленников, 2018]										
13	–	61.97	–	–	–	38.84	–	–	100.80	$Bi_{2.93}Te_{3.00}$
Гематитовые										
алтаит										
14	61.56	–	–	–	–	37.94	–	–	99.51	$Pb_{0.99}Te_1$
ВОЛЫНСКИТ										
16	6.27	35.68	–	14.61	–	43.44	–	–	100	$Ag_{0.79}Pb_{0.34}Bi_{1.00}Te_{2.00}$

Примечание. Прочерк – элемент отсутствует.

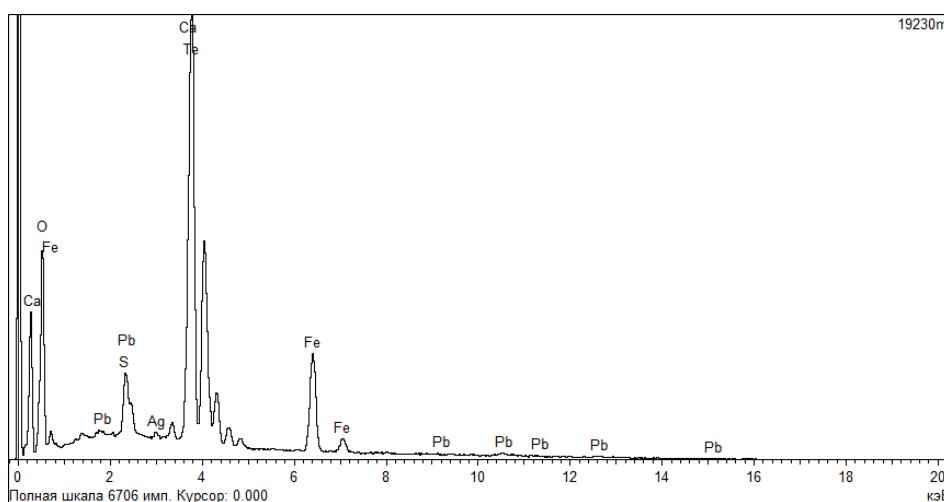


Рис. 3.9. Качественный спектр самородного теллура.

Таким образом, для изученных разновидностей слоев сульфидных турбидитов характерны свои акцессорные минералы, связанные с рН-Eh условиями диагенеза при формировании сульфидных и гематитовых слоев (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Акцессорные минералы рудных фаций Молодежного месторождения

Разновидности слоев	Акцессорные минералы
Кластогенные (слоистые сульфидные руды)	
Пирит-халькопиритовые слои	Галенит, касситерит, барит
Сульфидно-гематитовые слои	Гессит, теллуrowисмутит, тетрадимит, колорадоит, волынскит, цумоит
Гематитовые слои	Апатит, алтаит, волынскит, самородный теллур
Гидротермальные	
Сульфидные трубы черных курильщиков	Алтаит, гессит, кобальтин, галенит, теннантит, самородное золото [Токсичные ..., 2014]

3.4. Сравнительная характеристика элементов-примесей различных рудных фаций

На колчеданных месторождениях каждая выделенная рудная фация характеризуется своими геохимическими особенностями. Обнаружение многочисленных акцессорных минералов в рудах Молодежного месторождения (см. табл. 2) свидетельствует об обогащении руд элементами-примесями. Установлено обогащение верхних частей рудных тел Zn, Pb, Ba, Au, Ag, а нижних – Cu, Te, Bi [Минеральные ..., 1994]. На ее фоне отмечается локальное обогащение Zn, Ba, Pb, Ag, Bi, In, Ga, Ge, т.е. элементами полиметаллической ассоциации участков рудных тел, примыкающих к центральному субширотному разлому. Наряду с этим отмечено, что повышенные содержания Co, Au, Te, Ba, Bi, As, Ag, Sb, Se и Pb характерны не только для рудоподводящих зон, но и флангам месторождений [Минеральные ..., 1994; Аюпова и др., 2017]. Разные сульфидные минералы различных рудных фаций содержат различные концентрации элементов-примесей (табл. 3). Обогащение флангов элементами-примесями связано с присутствием собственных минералов этих элементов.

Таблица 3.3. Средние содержания элементов-примесей в сульфидных минералах труб черных курильщиков и сульфидных турбидитов Молодежного месторождения

Минерал	Te	Bi	Sn	Ag	Au	Se	Pb
Ру в трубах	1762	59	2,2	1678	52	234	14161
Срр в трубах	705	5683	305	172	10	481	5683
Ру в турбидитах	511	43	1,4	818	17	255	10173
Срр в турбидитах	215	21	4,6	8,4	6,6	318	4648
Срр в диагенитах	95	28	1167	299	0,39	1164	343
Госсанит							

Примечание. Использованы данные по [Токсичные ..., 2014].

На основании данной таблицы можно сделать выводы о том, что такие элементы как Te, Bi, Sn, Ag, Au, Se, Pb накапливаемые в трубах курильщиков при их разрушении и переотложении сохраняются и аккумулируются в кластогенных разновидностях. Высокие содержания Te, Bi, Sn, Au, Se и Pb связаны с высокотемпературным халькопиритом труб черных курильщиков.

Содержания Te, Se и Pb в халькопирите и пирите труб черных курильщиков высокие, и связаны как включением их в структуру халькопирита, так и с включениями галенита, алтаита и гессита. Уменьшение содержания Te и Pb на порядок наблюдается в слоистых сульфидных рудах – диагенитах. Некоторое увеличение Se в сульфидных диагенитах свидетельствует об образовании собственных минералов селена в низкотемпературных условиях [Аюпова и др., 2017].

Максимальные содержания Bi характерны для халькопирита труб черных курильщиков. В сульфидных турбидитах и диагенитах происходит уменьшение его содержания почти на два порядка, хотя нами обнаружены многочисленные минералы Bi: теллуrowисмутит, волинскит, цумоит, тетрадимит.

Содержания Sn неоднородны. Высокие концентрации характерны для халькопирита труб курильщиков и для диагенитов, при низких его концентрациях в сульфидных турбидитах. Аккумуляция Sn связана с присутствием касситерита как в трубах, так и в диагенитах. Накопление Sn в диагенитах, сопоставимое в халькопирите сульфидных труб курильщиков, можно объяснить его дополнительным поступлением из нерудной составляющей.

Высокие содержания Au характерны для сульфидов труб черных курильщиков и сульфидных турбидитов, и резко уменьшаются в диагенитах. Содержания Ag близки в пирите труб черных курильщиков, сульфидных турбидитов и диагенитов, в халькопирите труб курильщиков наблюдаются его крайне низкие содержания. Для колломорфного пирита характерны высокие содержания Te, Ag и Au.

Таким образом, содержание большинства рассмотренных элементов выше в пирите и халькопирите труб черных курильщиков, чем в турбидитовых отложениях и диагенитах (рис. 3.10). Следует отметить, что в диагенитах наблюдается обогащение Sn и Se. Источниками вещества для накопления элементов-примесей в сульфидных турбидитах и диагенитах служили разложившиеся высокотемпературные сульфиды, в том числе и акцессорные минералы (алтаит, гессит), труб черных курильщиков.

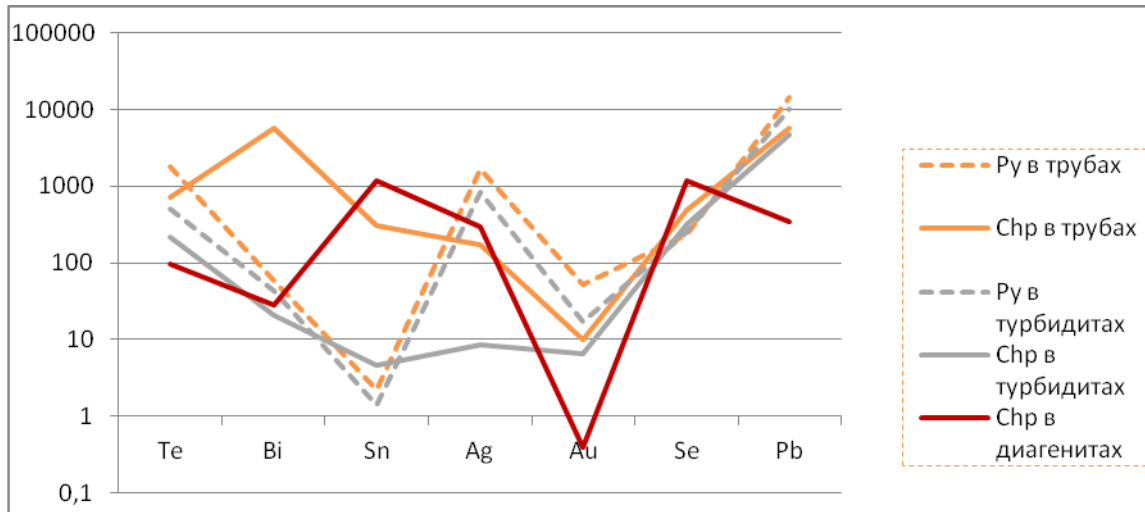


Рис. 3.10. График изменения содержаний редких элементов в различных типах сульфидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа посвящена изучению слоистых руд Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения, локализованных на юго-западном фланге 2 рудного тела. Материал для исследований был собран во время прохождения производственной практики в лаборатории минералогии рудогенеза Института минералогии УрО РАН.

Установлено ритмичное чередование в слоистых рудах: 1) существенно пиритовых и сфалерит-халькопирит-пиритовых слоев, 2) сульфидных и гематитовых слоев и 3) гематитовых слоев, отличающихся как структурно-морфологическими признаками основных сульфидных минералов, так и содержанием в них акцессорной минерализации.

Основные рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, сфалеритом, борнитом, гематитом, галенитом; нерудные минералы – хлоритом, кварцем, баритом, апатитом. Установлены различные обломки пиритового, гематит-пиритового состава и псевдоморфозы гематита по рудным обломкам.

В результате электронно-микроскопических исследований выявлены индикаторные акцессорные минералы для изученных слоев: для сфалерит-халькопирит-пиритовых – касситерит, алтаит; для сульфидно-гематитовых – теллурувисмутит, тетрадимит, гессит, колорадоит, гематитовых – алтаит, вольтскит и самородный теллур. Самородный теллур установлен впервые в рудах Молодежного месторождения. Отличительной особенностью гематитовой руды является также присутствие гематитизированной фауны. Источником вещества для образования редких минеральных ассоциаций служили разложение труб черных курильщиков при низкотемпературных условиях преобразования рудного материала.

Автор благодарен за научное руководство и консультации руководителю квалификационной работы к.г.-м.н. Аюповой Н.Р., а также за помощь в работе м.н.с. Целуйко А.С. и сотрудникам шлифовальной мастерской Института минералогии УрО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аюпова, Н.Р., Масленников, В.В. Гальмиролититы Узельгинского колчеданосного поля (Южный Урал) / Н.Р. Аюпова, В.В. Масленников. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. – 199 с.
2. Аюпова, Н.Р., Масленников, В.В., Котляров, В.А. и др. НАЗВАНИЕ СТАТЬИ // Доклады Академии наук – 2017. – Т. 473. – № 2. – С. 190-194.
3. Зайков, В.В., Масленников, В.В., Зайкова, Е.В., Херрингтон, Р. Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана/ В.В.Зайков, В.В.Масленников, Е.В.Зайкова, Р.Херрингтон – Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. – 315 с.
4. Зайков, В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданоносных зон Урала и Сибири / В.В. Зайков – М.: Наука, 2006. – 429 с.
5. Масленников, В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала) / В.В. Масленников – Миасс: Геотур, 1999. – 348 с.
6. Масленников, В.В. Литогенез и колчеданообразование / В.В. Масленников – Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. – 384с.
7. Масленников, В.В, Зайков, В.В. Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений / В.В. Масленников, В.В. Зайков – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – 224 с.
8. Масленников, В.В., Аюпова, Н.Р., Масленникова, С.П., Третьяков, Г.А., Мелекесцева, И.Ю. и др. Токсичные элементы в колчеданообразующих системах / В.В. Масленников, Н.Р. Аюпова, С.П. Масленникова, Г.А. Третьяков, И.Ю. Мелекесцева – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. – 340 с.
9. Прокин, В.А., Буслаев, Ф.П., Исмагилов, М.И. и др Медноколчеданные месторождение Урала: Геологическое строение/ В.А. Прокин, Ф.П. Буслаев, М.И. Исмагилов и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. – 241с.
10. Сафина, Н.П., Новоселов, К.А. Микроскопические методы в исследовании руд: учебное пособие / Н.П.Сафина, К.А.Новоселов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 168 с.
11. Фролов, В.Т. Литология / В.Т. Фролов – Москва: Издательство Московского университета, 1992. – 336 с.
12. Ayupova, N.R., Melekestseva, I.Yu., Maslennikov, V.V., et al. Uranium accumulation in modern and ancient fe-oxide sediments: examples from the Ashadze-2 hydrothermal sulfide field (Mid-Atlantic ridge) and Yubileynoe massive sulfide deposit (South Urals, Russia) / N.R. Ayupova, I.Yu. Melekestseva, V.V. Maslennikov // Sedimentary Geology. – 2018. – Vol.367. – P. 164–174.
13. Maslennikov, V.V., Ayupova N.R., Safina, N.P., et al., Mineralogical features of ore diagenites in the Urals massive sulfide deposits, Russia / V.V. Maslennikov, N.R. Ayupova, N.P. Safina // Minerals. – 2019. – Vol. 9. – Is. 3.