

На правах рукописи



КУЗНЕЦОВА Светлана Владимировна

**СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫЕ ПРИЗНАКИ
ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ОСАДОЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ РУД
КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ЗМЕИНОГОРСКОГО И РУБЦОВСКОГО РАЙОНОВ РУДНОГО АЛТАЯ**

Специальность 1.6.10 – Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

Научный руководитель: **Кряжев Сергей Гаврилович**, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУ «ЦНИГРИ», отдел минералогии и изотопной геохимии, начальник отдела.

Официальные оппоненты: **Дергачёв Александр Лукич**, доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Геологический факультет, заместитель декана, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, профессор.

Гаськов Иван Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник.

Ведущая организация: Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН).

Защита состоится 16 мая 2023 г. в 14 час. – 00 мин. на заседании Диссертационного совета 30.1.001.01 (Д 216.022.01), созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

Адрес: 117545, Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале научно-технической библиотеки ФГБУ «ЦНИГРИ» (г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1) и на сайте ФГБУ «ЦНИГРИ»: <http://www.tsniagri.ru/ru/kuznetsova.html>.
(http://www.tsniagri.ru/disser/kuznetsova/Kuznetsova_S_V_DIS.pdf)

Автореферат разослан « ____ » апреля 2023 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета



С.С.Двуреченская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В Российской Федерации утверждена стратегия развития минерально-сырьевой базы до 2035 года, согласно которой свинец и цинк, а также золото и серебро относятся ко второй группе полезных ископаемых, достигнутые уровни добычи которых недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 года. Высокий рыночный спрос на эти металлы делает критически важными поиски и освоение скрытых и слабо проявленных месторождений в регионах с развитой и строящейся инфраструктурой. Одним из таких регионов является российская часть Рудного Алтая с золото-серебросодержащими колчеданно-полиметаллическими месторождениями.

Особенно актуальными являются исследования колчеданно-полиметаллических месторождений северо-западной части Рудного Алтая, к которой относятся Змеиногорский и Рубцовский рудные районы, в связи с их относительно низкой изученностью по сравнению с месторождениями юго-восточной и западной его частями (Зыряновский, Лениногорский, Юбилейно-Снегирихинский, Прииртышский рудные районы).

В последние годы в результате проведения поисковых работ на колчеданно-полиметаллическое оруденение в Змеиногорском и Рубцовском рудных районах выявлен ряд новых месторождений, в том числе месторождение Западно-Захаровское. Его изучение особенно перспективно вследствие относительно слабого метаморфизма руд и хорошей сохранности их первичных структурно-текстурных характеристик. Эта особенность позволяет эффективно использовать традиционные минераграфические методы исследования для обоснования генезиса оруденения и разработки дополнительных поисковых критериев.

Цель исследований: Определение условий формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов российской части Рудного Алтая на основе анализа структурно-текстурных особенностей руд.

Основные задачи исследований:

1. Выявить первичные минералогические и текстурно-структурные особенности сульфидных агрегатов, свидетельствующие об условиях формирования рудных залежей на месторождениях Змеиногорского и Рубцовского рудных районов.

2. Проследить изменения первичных структур и текстур руд, обусловленные кумулятивным воздействием метаморфизма.

3. Провести целенаправленные поиски образований, которые могут быть идентифицированы как фрагменты палеотруб «курильщиков».

4. Разработать модель минералого-геохимической зональности рудных залежей (на примере месторождения Западно-Захаровское).

Фактический материал, методы исследования, личный вклад автора.

Работа основана на материалах, собранных автором в период с 2010 по 2021 год во время полевых и камеральных исследований в составе Алтайской партии ЦНИГРИ в рамках работ по Государственным контрактам и договорам в пределах Краснореченской, Змеиногорско-Березовогорской, Холодной, Новокузнецовской площадей, а также изучение известных месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов, принятых в качестве эталонных объектов.

Автором был изучен керн поисковых скважин, карьеры обрабатываемых месторождений, отобраны образцы для проведения минераграфических исследований. Дополнительно изучены образцы руд из коллекции сотрудника ЦНИГРИ Л.М. Половниковой, а также образцы, предоставленные сотрудником Горно-Алтайской экспедиции Ю.Н. Бузоверовым. Автором лично было изучено свыше 200 аншлифов и 40 шлифов.

Отобранные образцы были исследованы на сканирующем электронном микроскопе TESCAN в ПИН РАН (анализ около 170 точек), состав сульфидов из руд месторождений определен при помощи электронно-зондового микроанализа (СОМР в ИГЕМ РАН) и сканирующего электронного микроскопа (Zeiss в ПИН РАН). В диссертации использованы результаты нейтронно-активационного анализа, данные количественных определений золота и серебра, атомно-абсорбционного анализа, анализа изотопного состава серы сульфидов. Для изучения обнаруженных в аншлифах сульфидизированных биоморфных скоплений на сканирующем электронном микроскопе при подготовке к исследованиям автором было успешно применено структурное травление с использованием концентрированной азотной кислоты.

Автором выполнена интерпретация всех полученных результатов, проведено их обобщение и сформулированы выводы.

Защищаемые положения:

1. Выявленные в рудных телах в различной степени метаморфизованных колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая почковидные колломорфные концентрически-зональные и зонально-полосчатые сульфидные агрегаты, фрамбоидальный пирит, фоссилизированные бактериальными скопления и фауна доказывают гидротермально-осадочное происхождение рудного вещества.

Воздействие метаморфизма (контактового и регионального) выражается в постепенной потере колломорфной микротекстуры минеральных агрегатов, формировании в пределах почек кристаллографических форм пирита и их частичном или полном превращении в гранобластовый или гипидиоморфнозернистый агрегат.

2. Обнаруженные на исследованных месторождениях фрагменты концентрически-зональных сульфидных агрегатов по своему строению аналогичны современным трубам «курильщиков». Это свидетельствует о формировании рудных тел в условиях, соответствующих обстановкам современного колчеданообразования.

Для изученных палеотруб месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая характерен пиритовый, пирит-халькопиритовый,

сфалерит-пирит- халькопиритовый, галенит-сфалерит-халькопиритовый состав стенок. Каналы заполнены крупнокристаллическим баритом в ассоциации с пиритом, сфалеритом и галенитом, кварцем в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом, галенитом и ковеллином.

3. Закономерной чертой строения изученных колчеданно-полиметаллических месторождений является наличие линзовидных и холмообразных сульфидных залежей, образованных в результате разрушения древних сульфидных построек («сульфидных холмов»).

Зональность этих залежей, изученная на примере Западно-Захаровского месторождения, характерна для колчеданных месторождений. Она заключается в смене медно-цинково- колчеданных руд (в подошве) цинково-колчеданными и серноколчеданными (в кровле).

Фрагменты труб сохраняются в средней и верхней частях холма. В составе серноколчеданных руд кровли наблюдается большое количество колломорфного пирита, оруденелых бактерий и фоссилизированной фауны.

Научная новизна результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

— подтверждена первичная гидротермально-осадочная природа руд наиболее крупных и хорошо изученных месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов (Корбалихинское, Зареченское, Рубцовское);

— впервые установлена первичная гидротермально-осадочная природа руд в меньшей мере изученных и вновь выявленных месторождений (Семеновское, Западно-Захаровское, Петровское и др.);

— установлены новые минералогические признаки метаморфизованных гидротермально- осадочных руд;

— на месторождениях Западно-Захаровское, Степное, Рубцовское и Корбалихинское впервые обнаружены зональные сульфидные агрегаты, которые по своему строению могут быть идентифицированы как фрагменты труб «курильщиков»;

— в рудах Западно-Захаровского месторождения впервые выявлены остатки оруденелой фауны трубчатого облика;

— впервые выявлены закономерности строения «сульфидного холма» месторождения Западно-Захаровское.

Практическая значимость работы. Полученные доказательства гидротермально- осадочного происхождения колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов являются основанием для использования при поисковых работах литолого- фациальных критериев в качестве основных. Определены минералогические критерии, позволяющие идентифицировать кровлю «сульфидного холма» и соответственно, прогнозировать наличие пластовых и линзовидных тел, прилегающих к сульфидному холму по латерали, а также рудных тел ниже по разрезу.

Апробация работы и публикации. По материалам диссертации опубликованы 20 печатных работ, среди которых 5 статей в рецензируемых журналах, включенных в Перечень ВАК. Результаты проведенных исследований и основные положения работы представлялись и докладывались на научно-практических конференциях: «Уральская минералогическая школа» 2014, 2018, 2020 гг., г. Екатеринбург, ИГГ Ур РАН.; Международных научно-практических конференциях «Минеральное разнообразие: исследование и сохранение» в г.София (2013, 2015, 2017 гг.); Международных научно-практических конференциях «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов — состояние и перспективы» (2015–2021 гг., ЦНИГРИ).

Результаты исследований вошли в виде самостоятельных глав в годовые отчеты и в окончательный отчет по Государственному контракту: «Опережающие геолого-геофизические работы для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая (Алтайский край) с целью разработки основы для создания ведущего в Российской Федерации центра по добыче свинца и цинка».

Структура и объем работы. Диссертация общим объемом 171 страница состоит из Введения, 4 глав и Заключения, содержит 100 рисунков, 16 таблиц. Список использованной литературы включает 96 наименований.

Благодарности. Автор глубоко признателен за ценные советы и помощь в подготовке диссертации своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук С.Г. Кряжеву и кандидату геолого-минералогических наук В.В. Кузнецову. За консультации, конструктивные советы и рекомендации автор искренне благодарен кандидатам геолого-минералогических наук Кузнецовой Т.П., Кудрявцевой Н.Г., Добровольской М.Г., Миляеву С.А., консультации доктора геолого-минералогических наук, профессора Игнатова П.А., кандидата геолого-минералогических наук Двуреченскую С.С. За организацию, помощь в проведении исследований на сканирующем электронном микроскопе и консультации в проведении микробиальных исследований автор благодарит кандидата геолого-минералогических наук Жегалло Е.А. За помощь в микрозондовых исследованиях сотрудника ИГЕМ кандидата геолого-минералогических наук Чугаева А.В. и сотрудника ПИН Зайцеву Л.В. Автор благодарит сотрудников ОАО «Горно-Алтайская экспедиция» Бузовой Ю.Н., Жданова В. и сотрудников ЦНИГРИ Половникову Л.М., Медведева А.А., при поддержке которых проводились полевые исследования. Автор благодарит Половникову Л.М., Бузовой Ю.Н. за предоставление уникальных образцов. Автор с теплотой вспоминает беседы на тему гидротермального рудообразования с Ю.Г. Зориной, рекомендовавшей автору заниматься данной тематикой. За помощь в оформлении материалов работы и содействии при проведении полевых работ автор благодарит сотрудников отдела цветных металлов ФГБУ «ЦНИГРИ» и коллег: Е.В. Иваненкову, А.А. Конкину, Н.П. Кудрявцеву, С.Л. Елшину, Т.В. Серавину и М.Н. Зайцеву.

1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗМЕИНОГОРСКОГО И РУБЦОВСКОГО РУДНЫХ РАЙОНОВ

В первой главе приводятся общие сведения о геологическом строении и рудоносности Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая. Геологические исследования и отработка полиметаллических руд в этих районах были начаты в середине XVIII века и продолжаются в настоящее время.

Змеиногорский и Рубцовский рудные районы располагаются в северо-западной части Рудного Алтая (Рис. 1) и вместе с Золотушинским районом соответствуют Быструшинской и Алейской структурно-формационным подзонам (СФП). Змеиногорский рудный район располагается в пределах Быструшинского прогиба, который протягивается с северо-запада на юго-восток более чем на 100 км при ширине 10–20 км. В строении прогиба участвуют образования девон-каменноугольного структурного этажа, смятые в протяженные линейные складки. Руды известных месторождений района относятся к колчеданно-полиметаллической формации (месторождения Корбалихинское, Лазурское, Змеиногорское, Зареченское, Среднее, Семеновское). Рубцовский рудный район располагается на северо-восточном крыле Алейского антиклинория. Центральная часть антиклинория приподнята и сложена метаморфизованными в фации зеленых сланцев нижнепалеозойскими песчано-сланцевыми отложениями и прорывающими их среднепалеозойскими гранитоидами, а крылья выполнены мощной (1,5–4 км) толщей средневерхнедевонских вулканогенно-осадочных пород. В пределах района наиболее значимыми являются месторождения Рубцовское, Таловское, Степное, Захаровское. Промышленное оруденение локализуется на двух основных стратиграфических уровнях эмск- и позднеживетско–раннефранком. В пределах колчеданно-полиметаллической рудной формации, к которой относятся месторождения Рудного Алтая выделяется две субформации.

Для свинцово-цинковой колчедансодержащей рудной субформации рудовмещающей является геологическая базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация, в составе которой кислые вулканиты преобладают над основными, а осадочная составляющая над вулканогенной. Для месторождений характерно наличие примерно равных долей свинца и меди в рудах, при повышенных содержаниях цинка. Для медно-свинцово-цинковой колчеданной рудной субформации рудовмещающей является геологическая контрастная базальт-риолитовая кремнисто-терригенная формация, в которой отмечаются примерно равные соотношения кислых и основных вулканитов, а также осадочной и вулканогенной составляющих. Для месторождений рассматриваемой рудной субформации характерна незначительная роль свинца при высокой колчеданности руд и близких содержаниях цинка и меди [Кузнецов и др., 2019].

Вулканогенно-осадочные породы северо-западной части Рудного Алтая находятся в зоне контактового метаморфизма мусковит-роговиковой, а на отдельных участках пироксен-роговиковой фаций. Контактный метаморфизм связан со становлением габбро-диорит-плаггиогранит-гранитовой геологической формации позднедевонского-

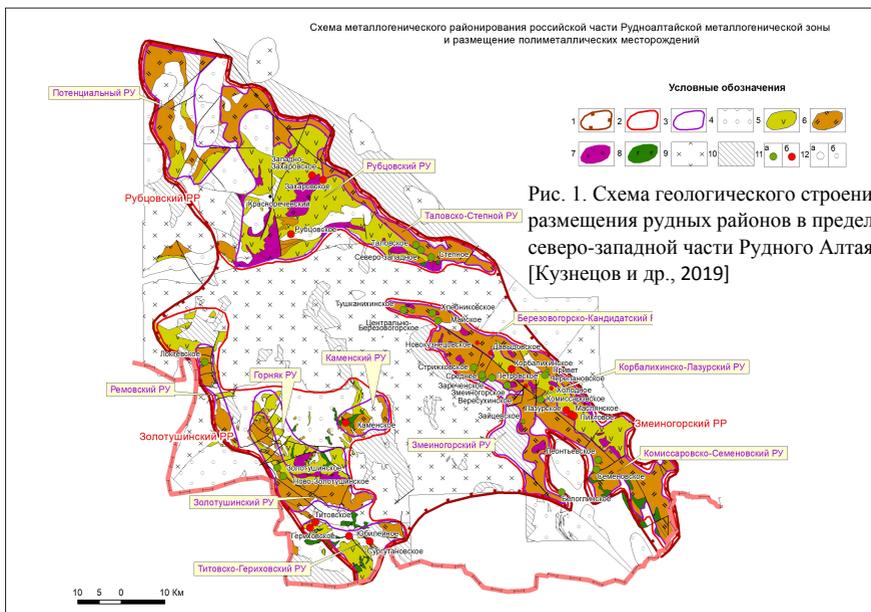


Рис. 1. Схема геологического строения и размещения рудных районов в пределах северо-западной части Рудного Алтая [Кузнецов и др., 2019]

Условные обозначения

1 — граница металлогенической зоны; 2 — границы рудных районов; 3 — границы рудных узлов; 4-10 — геологические формации: 4 — надрудные без расчленения; 5-6 — рудовмещающие: 5 — базальт-риолитовая кремнисто-терригенная), 6 — базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная; 7-9 — интрузивные и субвулканические формации: 7 — габбро-долеритовая; 8 — риолит-дацитовая (D₂), 9 — габбро-диорит-плагиогранит-гранитовая (D₃-C₁);

10 — подрудная известково-терригенная метаморфизованная; 11 — месторождения и рудопроявления: свинцово-цинково-колчеданные (а), медно-свинцово-цинково-колчеданные (б); 12 — ранг: месторождение (а), рудопроявление (б)

раннекаменноугольного возраста. Наряду с вмещающими породами контактовому метаморфизму подвержены сульфидные рудные тела. По площади проявлен слабый региональный метаморфизм зеленосланцевой фации.

Геолого-промышленный тип месторождений — золото-серебросодержащий медно-свинцово-цинковый колчеданный в осадочно-вулканогенных породах. Основные рудные тела месторождений располагаются очень компактно. Положение рудных тел в разрезе контролируется тонким чередованием вулканогенных и осадочных пород. Здесь они занимают определенное стратиграфическое положение, локализуясь среди первично кремнистых фаций. Рудные тела изометричные, линзовидные, пластовые, холмообразные и лентовидные. Руды сплошные и густо-вкрапленные медно-свинцово-цинковые колчеданные, цинково-свинцовые колчеданные и барий-свинцово-цинковые. Главными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит, халькопирит в различных соотношениях [Кузнецов и др., 2019].

2. ОСОБЕННОСТИ ПЕРВИЧНЫХ РУД И ИХ МЕТАМОРФИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

Первое защищаемое положение: *Выявленные в рудных телах в различной степени метаморфизованных колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая почковидные колломорфные концентрически-зональные и зонально-полосчатые сульфидные агрегаты, фрамбоидальный пирит, фоссилизированные бактериальные скопления и фауна доказывают гидротермально-осадочное происхождение рудного вещества.*

Воздействие метаморфизма (контактового и регионального) выражается в постепенной потере колломорфной микротекстуры минеральных агрегатов, формировании в пределах почек кристаллографических форм пирита и их частичном или полном превращении в гранобластовый или гипидиоморфнозернистый агрегат.

Вследствие сильного метаморфизма руд большинства рассматриваемых колчеданно-полиметаллических месторождений, их первичная природа часто загашена. С целью расшифровки условий накопления руд и механизмов рудообразования автором были выявлены и исследованы реликты первичных руд.

Минералогические особенности колчеданно-полиметаллических руд и их преобразование под действием метаморфизма изучены на месторождениях Корбалихинское, Лазурское, Семеновское, Майское, Зареченское, Степное, Комиссаровское, Петровское, и ряде рудопроявлений (Вересухинское, Зайцевское, Привет и др.) Руды были изучены по керну скважин, в ряде случаев по образцам из канав этих месторождений и рудопроявлений; карьеров и отвалов месторождений Лазурское, Семеновское, Степное, из шахты, вскрывающей рудное тело Центральное на месторождении Корбалихинское и из шахты на месторождении Зареченское. Выделено два этапа рудообразования: гидротермально-осадочный и метаморфогенный.

Гидротермально-осадочный (конседиментационный) этап рудообразования. Минералы первичных ассоциаций образуют реликты среди перекристаллизованных руд. Породообразующие минералы вмещающих слоистых вулканогенно-осадочных пород и сульфиды этих ассоциаций не обнаруживают секущих или коррозийных взаимоотношений. Метасоматические новообразования представлены преимущественно хлоритом, серицитом и кварцем. Наиболее хорошо сохранившиеся реликты ранних сульфидов характерны для пиритовой, пирит-сфалеритовой, халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовой ассоциаций. Пирит здесь представлен колломорфными выделениями с хорошо выраженными зональными почками, тонкозернистыми землястыми массами (мельниковиит-пиритового состава), а также фрамбоидами и фоссилизированными биоморфными образованиями. Внутреннее строение пирита выявлялось при помощи структурного травления.

Почковидный пирит. Пиритовые почки и корки представляют собой зональные образования колломорфного строения (Рис.2, а). В большей части исследуемых образцов почки имеют размер 0,05–0,4 мм, но в некоторых

случаях их размер достигает 1–7 см (месторождение Зареченское). Анализ их структурных особенностей демонстрирует отложение пирита из гелей [Дымков и др., 1977; Кузнецова, 2017]. В ряде случаев в первичных пиритовых почках зональность выражается в различных оттенках пирита из разных зон почки. Установлено, что эта зональность обусловлена колебаниями содержания мышьяка (иногда и сурьмы) в пирите, при его в целом повышенном содержании.

Почковидные выделения агрегатов нескольких сульфидов. В почках сложного состава происходит чередование последовательно нарастающих друг на друга или ритмично чередующихся тонких сульфидных слоев. Размер почек обычно 0,05–0,2 мм. Наблюдаются пирит-галенитовые (Рис. 2, б), сфалерит-пиритовые, халькопирит-галенит-пиритовые, пиритовые почки со сфалеритовым или галенитовым центром, при этом центр пирит-галенитовой почки занимает фрамбоид. Сульфидные почки сложного состава, резко обедненные пиритом, либо не содержащие пирит, отмечены на месторождении Западно-Захаровское, где развиты агрегаты галенит-халькопирит-сфалеритового, халькопирит-сфалеритового, пирит-галенит-халькопирит-сфалеритового составов. Обращает на себя внимание, что некоторые из представленных структурных форм подобны описанным для массивных медно-цинковых колчеданных руд Восточно-Тихоокеанского поднятия [Шадлун, 1992], и в ряде случаев идентичны структурам ловушечного материала, собранного близ основания трубы «черного курильщика» на поле Брокен Спур [Русаков, 2007].

Фрамбоидальный пирит и сульфидизированная фауна. В ряде случаев среди первичных сульфидов широко представлен фрамбоидальный пирит, который встречается в рудах почти всех исследованных нами месторождений. Фрамбоиды пирита группируются в скопления до 0,5 мм и ассоциируют с ранними галенитом и сфалеритом, иногда образуют обогащенные слои в микрослоистых рудах. Зафиксированы также фрамбоиды в виде вкрапленников в сфалерите. Достаточно часто фрамбоиды наблюдаются в ядрах пиритовых почек, на которые нарастает колломорфный пирит.

На основе анализа структурных особенностей фрамбоидального пирита Скрипченко Н.С. указывал на его биогенную природу [Скрипченко, 1966]. Экспериментальные исследования фрамбоидов пирита, проведенные Астафьевой М.М. с соавторами, также показали, что при кристаллизации фрамбоидальных структур преобладающую роль играет биологический фактор [Астафьева и др., 2005]. Находки других биоморфных разновидностей, кроме фрамбоидов, в рудах, подвергшихся метаморфизму, достаточно редки. Например (Рис. 3), оруденелая фауна неясного систематического положения в ядре пиритовой почки (месторождение Зареченское) служила в качестве затравки для ее роста. Таким образом, фрамбоидальные и другие биоморфные сульфиды присутствуют в качестве ядер, на которые впоследствии осаждался дополнительный сульфидный материал.

Кроме выраженных почек и фрамбоидов, пирит может образовывать тонкодисперсные землистые массы (мельниковит-пирит), которые наблюдались на месторождениях Корбалихинское, Семеновское. Ранний гидротермально-

осадочный пирит обогащён примесями Au (до 31,8 г/т), Ag (0,026%), Sb (0,027%), As (0,1-4,5%), Mn (0,071%).

Сфалерит первичных руд из-за большой пластичности, приобретаемой при метаморфическом воздействии, редко сохраняется в первоначальном виде и обычно представлен тонким (зёрна - сотые доли миллиметра) агрегатом мозаичного строения. В некоторых сфалеритовых скоплениях при помощи структурного травления были выявлены реликты почковидного строения.

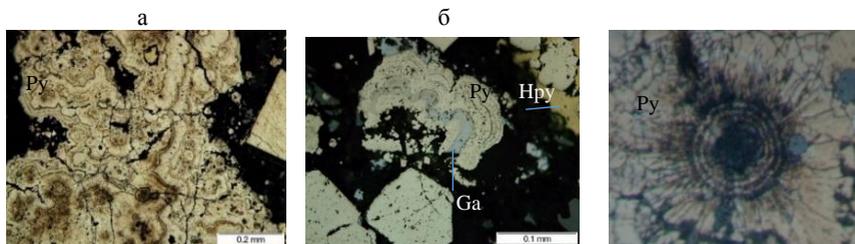


Рис. 2 Зональные почки в рудах, выявленные при структурном травлении: а — пиритовые, месторождение Лазурское; б — тонко-ритмично-зональные галенит-пиритовые, месторождение Семеновское. Отраженный свет

Рис. 3 Биоморфное образование в ядре пиритовой почки, месторождение Зареченское. Отраженный свет; увеличение 50х.

На месторождении Майское в сульфидных брекчиях были установлены обломки сфалерит-пиритовых колломорфных агрегатов. Зональный рост отдельных зёрен сфалерита также в ряде случаев прослеживается по характеру расположения эмульсионной вкрапленности халькопирита.

Метаморфогенный этап рудообразования. На изученных месторождениях Рудного Алтая проявлены слабый региональный метаморфизм, контактовый метаморфизм, локально проявлен динамометаморфизм. Наиболее значительные изменения руд происходили при контактовом метаморфизме, связанном со становлением габбро-диорит-плаггиогранит-гранитовой формации. Контактному метаморфизму подвержены стратиформные рудные тела и сопровождающие их околорудные метасоматиты. При сравнительном изучении руд месторождений установлены слабо- и значительно перекристаллизованные разновидности.

Слабое метаморфическое воздействие выражается в появлении участков с гранобластовой структурой в пределах колломорфных пиритовых скоплений, при этом внешние границы скоплений и отдельные слои могут приобретать кристаллографические очертания. Пластичный сфалерит приобретает двойниковое строение даже при слабом воздействии метаморфизма. Однако в расположении и ориентации двойников намечаются первичные почки. Мельниковит-пирит также легко переходит в тонкозернистый гранобластовый агрегат, в котором при структурном травлении наблюдаются многочисленные реликты концентрически-зонального строения. В целом для слабо перекристаллизованных руд, несмотря на примеры изменения очертаний внешних границ скоплений, в большинстве случаев, характерно сохранение минералами своей первичной внешней морфологии (например, почковидного

облика пирита) при изменении, или частичном изменении внутренней структуры (гранобластовая структура пирита, двойники сфалерита), при перекристаллизации (Рис.4).

Значительная перекристаллизация. При значительной перекристаллизации большинство зерен теряет первичную структуру. В результате метаморфической перекристаллизации возникают полосчатая и пятнистая текстуры и различные бластические структуры руд, с реликтами первичных структур. Выделения пирита, в большинстве случаев, полностью превращаются в гранобластовый агрегат (Рис.5). При дальнейшем метаморфическом воздействии гранобласты, в свою очередь, перекристаллизуются в плотные скопления гипидиоморфных зерен. В ряде случаев появляются новообразованные метакристаллы пирита. Наиболее устойчивыми являются фрамбонды, которые сохраняют первичную структуру в полностью перекристаллизованных рудах.

Перекристаллизованный сфалерит представлен мозаичным зернистым агрегатом, в сфалерите распространены двойники.



Рис. 4 Слабо перекристаллизованные руды: начало превращения в гранобластовый агрегат почки пирита — месторождение Комиссаровское. Отраженный свет

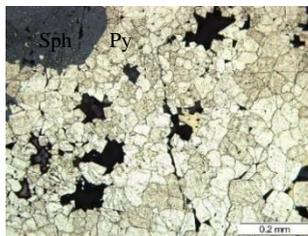


Рис. 5 Пирит гранобластовой структуры (месторождение Майское), выявленный при структурном травлении. Отраженный свет

Частичная мобилизация и перераспределение вещества обычно проявлена в пределах минеральных агрегатов. Характерно укрупнение эмульсионной вкрапленности халькопирита в сфалерите, перераспределение вкрапленности халькопирита с концентрацией вдоль двойниковых швов (Рис. 6), вдоль границ зерен и в других ослабленных зонах. Галенит, сфалерит и халькопирит из зональных почек при метаморфическом воздействии отжимаются в интестиции зерен.

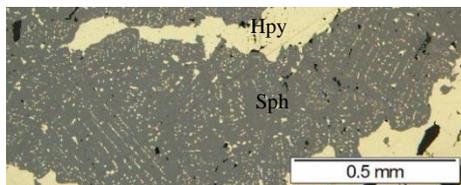


Рис. 6 Халькопирит, концентрирующийся вдоль сфалеритовых двойников. Отраженный свет

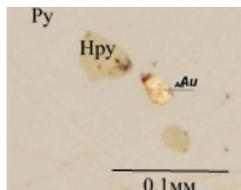


Рис. 7 Золото в пирите в ассоциации с халькопиритом — месторождение Семеновское. Отраженный свет

Мобилизация с переотложением рудного вещества проявляется локально. В результате рудное вещество концентрируется в полостях отслоения складок и трещинах.

Метаморфизованные пириты обеднены золотом и другими элементами, при этом в рудах появляется самородное золото (Рис. 7), также установлен самородный висмут. Кроме того, присутствующий в рудах моноклинный пирротин переходит в гексагональный; за счёт углистого вещества образуется графит, появляется новообразованный пирротин.

Различие в содержаниях элементов-примесей также установлено для разных генераций галенита и сфалерита. В частности, в раннем сфалерите значительно выше содержание Ag, As, Ti, в позднем — выше содержание Mn. Поздние галенит и сфалерит характеризуются пониженными по сравнению с ранними концентрациями золота. Падение содержания золота и серебра в сульфидах при одновременном появлении в самородной форме свидетельствует об их кристаллизации за счет рафинирования элементов-примесей [Викентьев, 2004].

Исследован изотопный состав серы сульфидов месторождений Змеиногорского района— Семёновское, Корбалихинское и Лазурское. Эти месторождения находятся на двух стратиграфических уровнях. В целом значения $\delta^{34}\text{S}$ колеблются от $-0,5\%$ до $+7\%$, что характерно для изотопного состава серы сульфидов вулканогенно-осадочных месторождений [Викентьев, 2004], а также соответствуют интервалу $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов для спрединговых зон океанов [Herzigtal., 1998] и соотносятся с данными, полученными предыдущими исследователями для колчеданно-полиметаллических месторождений Северо-Западного Алтая [Ковалёв и др., 2000; Гаськов, 2002; Викентьев, 2004]. Для месторождений, расположенных на разных стратиграфических уровнях, наблюдается зональность в распределении изотопного состава серы, выражающаяся в его утяжелении от нижних уровней к верхним. В целом данная зональность свидетельствует о магматическом источнике серы на ранних этапах функционирования рудообразующей системы и вовлечение сульфатной серы к поздним этапам её существования [Ковалёв и др., 2000].

Зональное распределение компонентов в рудах. Для колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая отмечалось зональное распределение компонентов в рудах. Автором было исследовано распределение минеральных типов руд на месторождении Петровское Змеиногорского района и выявлена зональность по латерали и ритмичная зональность по разрезу. К подошве рудных тел тяготеют медьсодержащие типы руд (преимущественно на центральном и восточном флангах рудной зоны) или свинцово-цинковые руды (преимущественно на западном фланге). К кровле рудных тел на большем их протяжении тяготеют цинковые, либо свинцовые руды. Фациальная изменчивость состава руд по латерали от восточного к западному флангу выражается в смене медно-свинцово-цинковых руд на востоке свинцовым и свинцово-цинковым типом руд на западе. При этом в разрезе выявляется четкая вертикальная ритмичная зональность (Рис. 8).

Подобная ритмичная зональность и закономерное размещение типов руд свидетельствует об отложении отдельных рудных тел в результате функционирования единой гидротермальной системы, а также о цикличности ее развития [Лапухов и др., 1986], что является еще одним подтверждением гидротермально-осадочного происхождения руд.

Также данная зональность свидетельствует о том, что процессы мобилизации вещества под действием метаморфизма в рудах проявлены слабо.

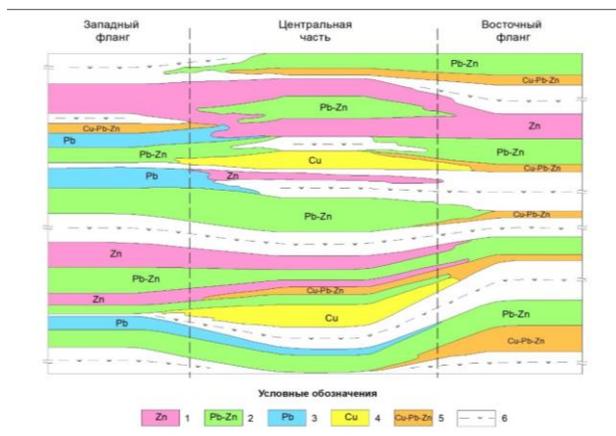


Рис. 8. Зональность в распределении минеральных типов руд (месторождение Петровское).

Руды:
 1 — цинковые,
 2 — свинцово-цинковые,
 3 — свинцовые,
 4 — медные,
 5 — медно-свинцово-цинковые;

6 — вулканогенно-осадочные породы/

Таким образом, в метаморфизованных рудных телах колчеданно-полиметаллических месторождений российской части Рудного Алтая установлены первичные руды гидротермально-осадочной природы. Гидротермально-осадочные сульфиды представлены колломорфными зонально-полосчатыми и почковидными концентрически-зональными агрегатами, которые ассоциируют с биоморфными образованиями.

Под воздействием метаморфических процессов сингенетичные руды испытывают перекристаллизацию, частичную мобилизацию и перераспределение вещества. Колломорфные руды преобразуются в кристаллически-зернистые агрегаты, моноклинный пирротин переходит в гексагональный. Помимо этого, изменяется состав или содержания элементов-примесей в сульфидах. Частичная мобилизация приводит к перераспределению вещества в пределах подвергшихся перекристаллизации скоплений. В рудах изученных месторождений наблюдаются переходы от почти не изменённых колломорфных разностей, в которых при метаморфическом воздействии наблюдается формирование кристаллографических очертаний у колломорфных слоев; появление в пределах агрегатов пирита отдельных гранобласт при сохранении почковидной морфологии выделений и следов слоев в виде заломов в их пределах, до полностью перекристаллизованных разностей, в которых первичная структура остаётся лишь в виде реликтов среди агрегатов гранобластовой структуры.

3. ФРАГМЕНТЫ ТРУБ «КУРИЛЬЩИКОВ»

Второе защищаемое положение: *Обнаруженные на данных месторождениях фрагменты концентрически-зональных сульфидных агрегатов по своему строению аналогичны современным трубам «курильщиков». Это свидетельствует о формировании рудных тел в условиях, соответствующих обстановкам современного колчеданобразования.*

Для изученных палеотруб месторождений Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая характерен пиритовый, пирит-халькопиритовый, сфалерит-пирит-халькопиритовый, галенит-сфалерит-халькопиритовый состав стенок. Каналы заполнены крупнокристаллическим баритом в ассоциации с пиритом, сфалеритом и галенитом, кварцем в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом, галенитом и ковеллином.

Фрагменты гидротермальных труб «курильщиков» в древних месторождениях встречаются не так часто вследствие подводного обрушения сульфидных построек, сноса обломочного материала и последующего метаморфизма руд. В значительном количестве они были обнаружены и исследованы в рудах палеозойских колчеданных месторождений Урала [Масленников, 2006], Казахстана [Масленников и др., 2016], где существование разрушенных гидротермальных построек, а, следовательно, образование руд по механизму «курильщиков», предполагали многие авторы [Авдонин, Дергачев, Сергеева, 1991; Авдонин, 1996]. В Змеиногорском районе находка «трубки курильщика» на месторождении Зареченское сделана Масленниковым В.В. с соавторами [Масленников и др., 2010]. В то же время, в российской части Рудного Алтая изучению этого вопроса в целом уделялось недостаточно внимания. Современные гидротермальные постройки, их минеральный состав и зональность были описаны российскими и зарубежными авторами [Шадлун, 1992; Бортников и др., 1993, 2007; Добровольская, и др., 2005, 2008; Бородаев и др., 2005; Богданов, Лисицын, и др., 2006; Hannington et al, 2005; Fouquet et al, 1993 и т.д.]. На изученных месторождениях Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая (Западно-Захаровское, Корбалихинское, Рубцовское и Степное) нами были обнаружены фрагменты гидротермальных труб «черных курильщиков» (Рис.9).

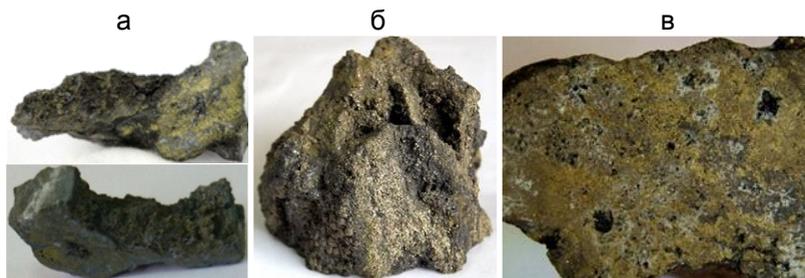


Рис. 9 Фрагменты палеогидротермальных труб (фото штуфов) в рудах. Месторождения: а — Западно-Захаровское; б — Степное, в — Рубцовское (Рудный Алтай)

Характерными структурными элементами труб являются осевой канал, стенки (внутренняя и внешняя) и оболочка [Fouquet, 1993].

На месторождении Западно-Захаровское были выявлены концентрически-зональные образования (Рис.10), которые по своему строению были идентифицированы как трубы «палеокурильщиков». В изученных образцах отчетливо наблюдаются указанные элементы: 1) главный канал (диаметром 2,5–3,5 см), частично заполненный минеральным веществом, 2) зонально построенная стенка толщиной около 5 мм, которая в некоторых участках осложнена раздувами до 1,5 см за счет развития дополнительных тонких каналов, 3) оболочка. Расчетный диаметр трубообразного образования составляет около 5 см. На основании исследования шлифов, изготовленных из фрагментов каждой из выделенных зон палеогидротермальной трубы, были установлены особенности распределения сульфидов, количественного соотношения главных сульфидов, их структурные особенности.

Главный (осевой) канал трубки полый, участками заполнен тонкопористым агрегатом сульфидов, нарастающих на внутреннюю стенку. Сульфиды представлены тонкими галенит-пиритовыми сростаниями и сфалеритом, вместе образующими пористый агрегат, в пустотах которого развиваются хорошо выраженные кристаллики барита. В ряде случаев нарастания сульфидов относительно пор являются закономерными, а именно, в сторону поры на галенит-пиритовый агрегат последовательно сначала нарастает сфалерит, затем идиоморфные кристаллы барита. Пирит-галенитовые сростания имеют сетчатоблоковую структуру, в которой пирит образует блоки, а галенит заполняет пространство между ними, формируя выделения сетчатого облика (Рис.11). Подобные сульфидные агрегаты характерны для каналов в современных курильщиках [Rona et al, 1993].

На внутренней поверхности стенки выявлены участки гроздевидных выделений барита (Рис.12) и микрокристаллы пирита пентагон-додекаэдрического габитуса, нарастающие по направлению внутрь канала.

Стенка трубы. По своему строению и минеральному составу стенка палеотрубы делится на внутреннюю, непосредственно прилегающую к каналу, и внешнюю, периферийную части.

Во внутренней части стенки пирит значительно преобладает над другими сульфидами. Локально развита галенит-сфалерит-пиритовая ассоциация. Пирит здесь представлен аллотриоморфными выделениями округлой или гребневидной морфологии. Характерны также гроздевидные и дендритовидные барит-пиритовые агрегаты.



Рис. 10 Структурные элементы палеогидротермальной трубы: а — фрагмент трубы с дополнительным каналом, штуф; б — схема выделенных зон: 1 — сульфиды выполнения осевого канала, 2 — внутренняя часть стенки, 3 — внешняя часть стенки, 4 — оболочка.

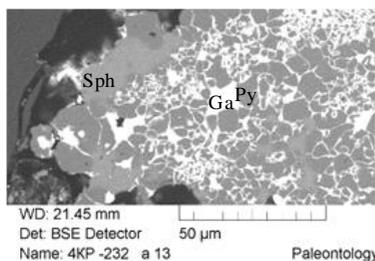


Рис. 11 Сульфиды осевого канала: сращения сетчато-блокового облика (SEM).

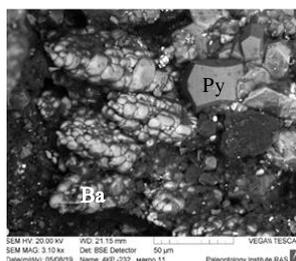


Рис. 12 Ориентированные скопления гроздевидного барита на стенке канала в ассоциации с пиритом (SEM).

Внешняя часть стенки сложена минералами галенит-сфалерит-халькопиритовой, а в участках раздувов локально развита блеклая руда-галенит-сфалерит-халькопиритовая ассоциация. Из сульфидов преобладает халькопирит, в котором неравномерно распределены скопления сфалерита и галенита, редкие зерна блеклой руды и пирита. Выделения сульфидов массивные.

Дополнительные каналы, осложняющие стенку трубы. Стенка трубы осложнена раздувами, представляющими собой мелкие дополнительные каналы размером до 1–1,5 см. Присутствуют как единичные более крупные образования, так и системы сближенных очень мелких каналов. Выделяются полые и запечатанные каналы (Рис.13, а–в). В зависимости от положения в пределах внутренней или внешней стенок, строение и состав заполнения дополнительных каналов меняется.

Для сульфидов в пределах стенок дополнительных каналов установлены многочисленные структурные элементы, представленные дендритовидными и ориентированными прорастаниями сульфидов (Рис.13, г) характерными для сульфидов современных и древних курильщиков [Halbach et al, 1993, Бородаев, Мозгова и др., 2004].

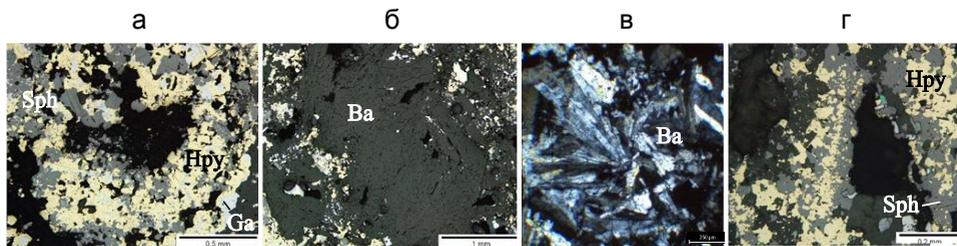
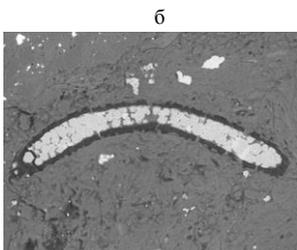
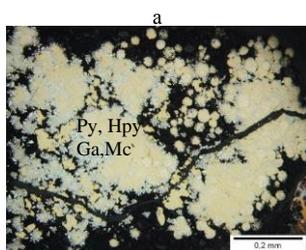


Рис. 13 Элементы строения дополнительных каналов: а — фрагмент стенки, дополнительного канала с полую осевой частью с преобладанием халькопирита в пределах стенки, б, в — канал, заполненный друзами пластинчатого барита; г — ориентированные халькопирит-сфалеритовые сростания. а, б, г отраженный свет; в – проходящий свет

Внешняя оболочка трубы. В пределах оболочки установлен тонкодисперсный и фрамбоидальный пирит в ассоциации с марказитом, халькопиритом и галенитом (Рис.14, а). Из нерудных минералов здесь присутствует опаловидный кварц, карбонат и серицит. На контакте с оболочкой трубки был обнаружен окремненный и сульфидизированный остаток фауны неясного систематического положения (Рис. 14, б).

Таким образом, в рудах, вскрытых на колчеданно-полиметаллическом месторождении Западно-Захаровское Рудного Алтая, присутствуют образования, которые по составу и морфологии могут быть идентифицированы как фрагменты палеогидротермальных труб («курильщиков»). Они представляют собой концентрически-зональные сульфидные агрегаты диаметром 3–5 см. По минеральному составу и особенностям структуры сульфидных выделений отчетливо выделяются зоны, характерные для труб современных и древних «курильщиков».



а — фрамбоидальный пирит в ассоциации с пластинчатым марказитом и халькопиритом (полированный шлиф); б — остаток fossilized фауны на контакте с оболочкой трубки (SEM).

Рис. 14 Биоморфные образования в пределах оболочки и на контакте с ней:

Оболочка отличается присутствием фрамбоидального пирита и копьевидного марказита. Во всех зонах присутствует переменное количество галенита и сфалерита. Стенка делится на внешнюю и внутреннюю части. Внешняя часть стенки сложена преимущественно халькопиритом. В пределах внутренней стенки преобладает пирит, особенностью которого являются выделения почковидного и дендритовидного облика.

Основной канал частично выполнен тонким агрегатом сульфидов — пиритом в тесном прорастании со сфалеритом и галенитом. Характерен пирит-галенитовый агрегат блоково-ячеистой структуры, где галенит образует нитевидные, сетчатые выделения в интерстициях микроблоков галенита. Дополнительные каналы чаще всего выполнены крупнокристаллическим баритом, мономинеральным или в ассоциации со сфалеритом. На контакте с оболочкой и в пределах оболочки найдены термофильные биоморфные образования, что также является важным признаком, характерным для труб «курильщиков».

В рудах *месторождения Корбалихинское* найден значительно метаморфизованный фрагмент палеотрубы, локализованный в рудных брекчиях. Палеотруба содержит все структурные элементы, характерные для современных и древних труб «курильщиков». Ее особенностью является сложная форма канала, который заполнен крупнокристаллическим кварцем и халькопиритом, участками присутствует пирит. Сульфиды канала характеризуются повышенным содержанием серебра. Стенка сложена, главным образом, пиритом в ассоциации с халькопиритом, которые отличаются повышенной мышьяковистостью, а также появлением примеси кобальта близ внешней границы зоны, где локально развиты галенит и сфалерит. В пределах оболочки наблюдается глобулярный пирит в ассоциации с марказитом.

Рубцовское месторождение. В образце массивных сульфидов с неравномерным распределением рудных минералов наблюдаются полосовидные концентрации пирит-халькопиритового и халькопирит-галенит-сфалеритового составов. На спилах обнаружены в разной степени обособленные зональные образования, концентрирующиеся вокруг крупных и мелких каналов, вместе представляющие собой многоканальное сульфидное образование.

Выделены следующие зоны: осевой канал (зона А), зона обрамления канала (зона Б), интерстициальная (зона В); повышенной кавернозности (зона Г) (Рис. 15 а-г). На контакте с каналами наблюдаются ориентированные сростания сульфидов, характерные для современных курильщиков (рис. 16, а, б).

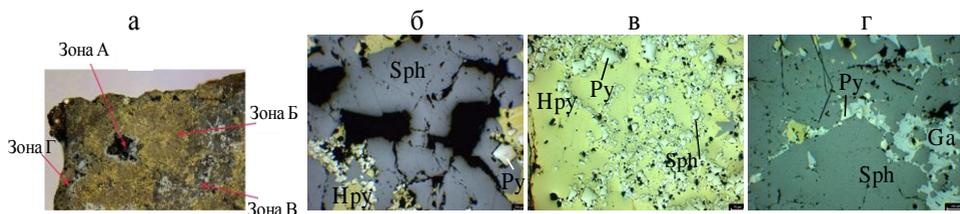


Рис. 12 Многоканальный «курильщик» месторождения Рубцовское, спил вкрест одного из каналов с выделенными зонами: а — элементы строения многоканального образования, горизонтальная секция; б — сфалерит и пирит в пределах канала; в — скопления пирита в халькопирите, тяготеющие к мелким порам в зоне обрамления канала; г — морфология сульфидов интерстициальной зоны.

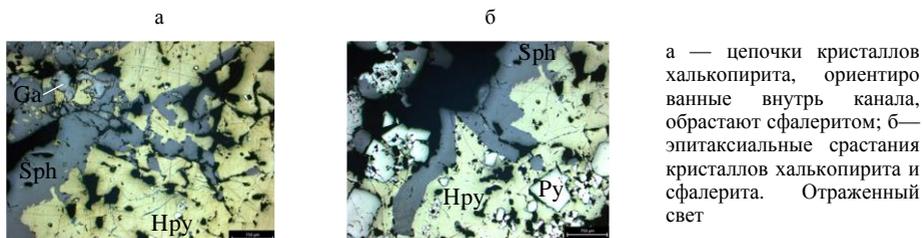


Рис. 16 Ориентированные срастания сульфидов на границе с каналом

Анализ последовательности образования, морфологии и распределения сульфидов в выделенных зонах позволяет утверждать, что первоначально вокруг сближенных источников формировались небольшие независимые трубки пирит-халькопиритового состава (как аналоги современных построек типа сближенных и сросшихся труб). После этого отложение сульфидов происходило в пространствах между трубками и в их каналах. В ходе дальнейшего развития промежутки между трубками и каналы в них были частично запечатаны сульфидами другой генерации.

Месторождение Степное. В рудах месторождения установлены многоканальные образования, в которых выделяются субвертикальные элементы строения трубообразного облика (Рис.9, б). Каналы могут быть заполнены сульфидными агрегатами или гидроксидами железа. На стенки полых каналов нарастают полнокристаллические сульфиды. В обрамлении каналов выделяются стенки с преобладанием пиритовой или сфалеритовой составляющей (Рис. 17). При этом «пиритовые» стенки более выражены и образовались раньше. Сульфиды «пиритовых» стенок характеризуются присутствием в примесях мышьяка и кобальта, низкой железистостью сфалерита. В сульфидах «сфалеритовых» стенок примесь кобальта и мышьяка не установлена, а железистость сфалерита более высокая.

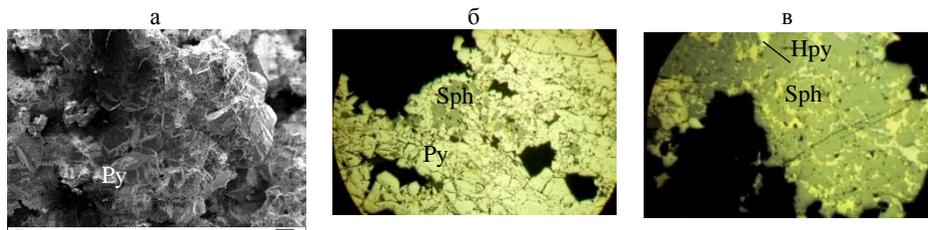


Рис. 17 Морфология сульфидов, слагающих многоканальный курильщик — месторождение Степное: а — мелкокристаллический пирит, нарастающий на стенки одного из каналов, SEM; б — характерный облик сульфидов «пиритовой» стенки; в — характерный облик сульфидов «сфалеритовой» стенки.

На периферии внешней стенки крупного канала обнаружен фрагмент внешней оболочки, сложенной зональными сульфидными почками. В пределах многоканального образования установлены био пленки, являющиеся продуктом жизнедеятельности палеобактерий. В строении сульфидов стенок выявлены

микроструктуры и текстуры, подобные описанным разными авторами для современных труб курильщиков.

Таким образом, для месторождений исследуемых районов установлены геолого-минералогические признаки присутствия древних «черных курильщиков» в колчеданно-полиметаллических рудах:

1. Трубообразная морфология образований, наличие каналов и их морфология. Наличие характерных элементов в пределах труб — канала, стенок и оболочки.

2. Присутствие друзовых и тонкопористых агрегатов сульфидов, последовательно нарастающих внутрь канала, массивных сульфидов в пределах стенок, колломорфных, тонкодисперсных и биоморфных образований в оболочке. Сочетание подобных разностей в пределах одной трубы является одной из отличительных черт современных и древних труб «курильщиков».

3. Наличие типоморфных структурных элементов, характерных для современных труб (дендритовидные и ориентированные сростания сульфидов в пределах стенок и на внутренней стенке, граничащей с каналом, тонкообломочные микробрекчии в каналах труб).

Наличие палеогидротермальных труб на колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая подтверждает предположения о формировании сульфидных залежей в результате поступления высокотемпературных гидротермальных растворов на дно палеобассейна вблизи центров вулканической активности. В свою очередь, такие центры могут быть выделены по реликтовым фрагментам «курильщиков», которые имеют характерные минералогические и текстурные особенности.

4. ХОЛМООБРАЗНЫЕ СУЛЬФИДНЫЕ ЗАЛЕЖИ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗМЕИНОГОРСКОГО И РУБЦОВСКОГО РАЙОНОВ И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ «СУЛЬФИДНОГО ХОЛМА» МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНО-ЗАХАРОВСКОЕ

Третье защищаемое положение: Закономерной чертой строения изученных колчеданно-полиметаллических месторождений является наличие линзовидных и холмообразных сульфидных залежей, образованных в результате разрушения древних сульфидных построек («сульфидных холмов»).

Зональность этих залежей, изученная на примере Западно-Захаровского месторождения, характерна для колчеданных месторождений. Она заключается в смене медно-цинково-колчеданных руд (в подошве) цинково-колчеданными и серноколчеданными (в кровле).

Фрагменты труб сохраняются в средней и верхней частях холма. В составе серноколчеданных руд кровли наблюдается большое количество колломорфного пирита, оруденелых бактерий и фоссилизированной фауны.

Сульфидные холмы являются одной из важных групп рудных тел, представленных на месторождениях Рудного Алтая. Признаками

гидротермальных сульфидных палеопостроек (захороненных придонных сульфидных построек) являются: а) холмообразная форма залежи с выпуклой или бугристой кровлей, с которой сочетается уплощенное основание. Для подрудной части (под сульфидным холмом) характерно развитие прожилково-вкрапленной минерализации и метасоматических изменений вмещающих пород; б) рудокласты на флангах и в кровле залежей, сульфиды которых по своему минеральному составу и текстурно-структурным особенностям, изотопному составу серы соответствуют сульфидам рудных тел; в) важным признаком того, что холмообразная сульфидная залежь является палеогидротермальной постройкой, является сочетание массивных, брекчиевых, струйчатых и трубчатых текстур руд, слагающих центральную часть залежей, со слоистыми разностями на их флангах; г) наличие сульфидизированных остатков фауны, сходных с органогенными колониями в местах выхода гидротерм на современное морское дно; д) присутствие донных гидротермальных сульфидных корок, локализованных в кровле сульфидного холма; е) характерно сочетание в пределах холма массивных гидротермальных, брекчиевых, гидротермально-осадочных и гидротермально-преобразованных руд [Авдонин и др., 1991, Зайков, 2006, Масленников 2006].

На исследованных нами месторождениях (Лазурское, Семеновское, Корбалихинское, Майское, Зареченское, Степное, Западно-Захаровское) по морфологии выделяются как классические холмообразные, так и линзовидные или неправильной формы сульфидные рудные тела, которые по своим характеристикам отвечают продуктам разрушения древних «курильщиков». Выраженная холмообразная форма характерна для сульфидных залежей месторождения Степное, Западно-Захаровское, Восточно-Майское, Лазурское. По латерали холмы часто переходят в пластообразные рудные залежи, в составе которых наблюдается много кластического рудного материала, однако более тонкого, чем в составе холмов. В ряде случаев холмы расщепляются на несколько пластообразных маломощных рудных тел.

Для исследованных месторождений характерно присутствие рудокластов в вышележащих толщах, распространение брекчиевых руд, присутствие реликтов гидротермально-осадочных структур различной сохранности в рудах, наличие сульфидного материала в цементе брекчий, тонко-кластические отложения сульфидного состава, присутствие в рудах донных сульфидных корок в виде колломорфного пирита почковидного облика. Перечисленные признаки служат свидетельством формирования сульфидных залежей в результате разрушения придонных гидротермальных построек.

Нами было установлена идентичность изотопного состава серы сульфидов из руд исследованных колчеданно-полиметаллических месторождений и сульфидов из рудокластов, встречающихся на их флангах.

Колчеданно-полиметаллическое месторождение Западно-Захаровское находится в Рубцовском рудном районе российской части Рудного Алтая. Оруденение приурочено к вулканогенно-осадочным породам (Рис.18), представленным кремнистыми и углистыми алевролитами, туфоалевролитами, туффитами, тефроидами, песчаниками, в ряде случаев градационно-слоистыми [Кузнецова, Серавина, 2020].

Рудные тела месторождения, главным образом, имеют пластообразную и линзовидную форму. Среди них выделяется рудное тело неправильной формы, представляющее собой сульфидный холм небольшого размера, протяженностью 140 м при мощности от 35 м. Он имеет выпуклую кровлю, крутые склоны и плоское основание. На флангах холмообразная залежь переходит в пластообразное рудное тело с раздувами, приуроченными к небольшим локальным впадинам. Нами установлено, что холм имеет зональное строение. Минеральный состав и структурно-текстурные особенности руд в подошве, средней части и кровле холма различаются. По латерали выделяются стержневая и периферические части холма. По результатам исследований построена его обобщенная модель (Рис.19).

Подошва холма. В подошве холма преобладают медно-цинково-колчеданные руды, содержание пирита 50–70 %. Особенностью этих руд является обилие тонкообломочного и новообразованного сульфидного материала в цементе крупнообломочных (до 6 см) и мелкообломочных брекчий (1–2 см), где обломки чаще всего представлены туфоалевролитами, алевролитами, при этом сульфидный цемент может составлять до 60% объема пород, локально развitics колчеданные руды, содержание пирита около 70%.

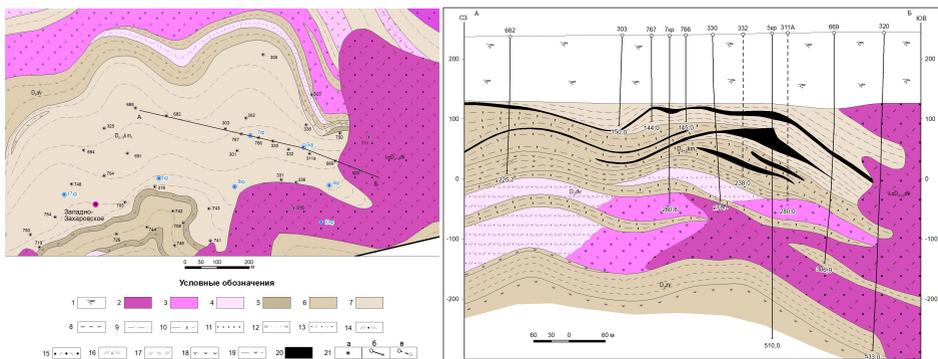


Рис. 18 Литолого-фациальная карта и разрез по линии А-В месторождения Западно-Захаровское

1 — четвертичные отложения. **Фации вулканогенных пород кислого состава:** 2 — *жерловая зона (краевая часть крупной Захаровской вулканической постройки)*; автомагматические брекчии риолитов, дацитов, риодацитов, крупно-порфировых риолитов; 3 — околожерловая зона; лавобрекчии риолитов, дацитов, риодацитов, грубообломочные туфы риолитового, дацитового, состава, 4 — *промежуточная зона*; лавы и мелкообломочные туфы риолитов, дацитов, риодацитов. **Фации вулканогенно-осадочных пород (прибрежно-морские и пирокластические):** 5 — туфы, туфоконгломераты, туфогравелиты, туфопесчаники, туфоалевролиты; 6 — песчаники, песчаники аркозовые, граувакковые песчаники, туфопесчаники; 7 — туффиты, туфоалевролиты, алевролиты кремнистые, углистые. **Литологические разности пород:** 8 — алевролиты; 9 — аргиллиты; 10 — алевролиты кремнистые; 11 — песчаники; 12 — туфопесчаники; 13 — туфы риолитового состава мелкообломочные; 14 — туфы риодацитового состава мелкообломочные; 15 — риолиты крупновкрапленные; 16 — лавобрекчии риодацитов; 17 — лавы риодацитов; 18 — туффиты; 19 — чередование туффитов кислого состава, туфопесчаников, кремнистых и туфогенных алевролитов; 20 — колчеданно-полиметаллические рудные тела; 21 — скважины: на карте (а), на разрезе (б, в): б — лежащие на линии разреза, в — отстоящие от линии разреза [Кузнецова и Серавина, 2020].

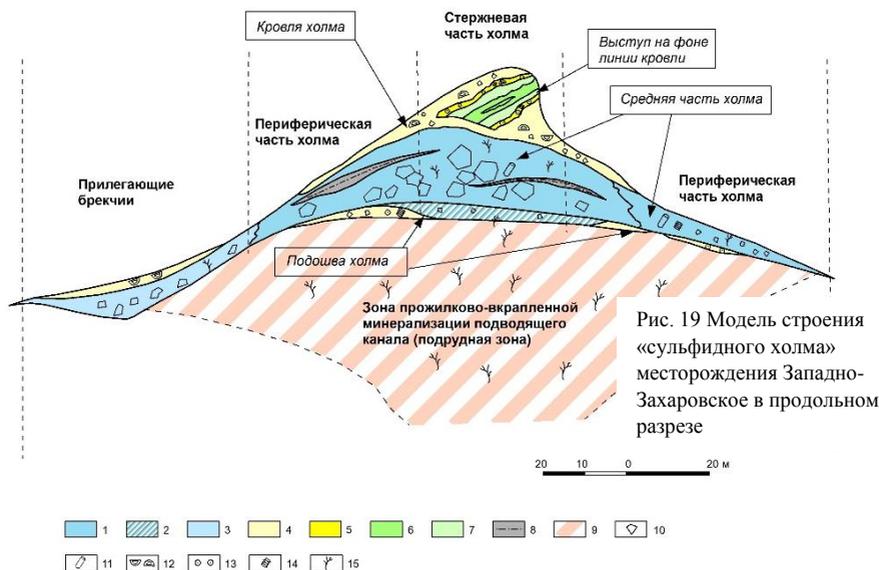


Рис. 19 Модель строения «сульфидного холма» месторождения Западно-Захаровское в продольном разрезе

Руды : 1 — барит- полиметаллические, содержание пирита $\leq 50\%$, 2 — медно-цинково-колчеданные, содержание пирита 50–70%, 3 — барит-полиметаллические, с большим количеством карбоната в цементе брекчированных разностей, содержание пирита $\leq 50\%$, 4 — колчеданные, содержание пирита $\geq 70\%$, 5 — кварц-сульфидные колчеданные, содержание пирита $\geq 70\%$, 6 — кварц-сульфидные, цинково-колчеданные барит-содержащие, содержание пирита+марказита $>50\%$, 7 — кварц-сульфидные, свинцово-цинково-колчеданные, содержание пирита $>50\%$; 8 — прослои алевролитов, 9 — зона развития кварц-серицитовых метасоматитов, 10 — рудные брекчии, 11 — обломки труб, 12 — придонные сульфидные корки, 13 — сульфидизированные бактериальные обрастания, 14 — сульфидизированная фауна, 15 — прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация.

В цементе между крупными обломками развиваются округлые кластеры фрамбOIDов, а также их обломки. Биоморфные образования свидетельствуют о придонном образовании сульфидов в подошве холма.

Средняя часть холма. В средней части холма развиты брекчиевые (Рис.20, а) и массивные руды (Рис.20, б) Руды барит-полиметаллические, содержание пирита $\leq 50\%$. Среди брекчий, локализованных ближе к оси холма, широким распространением пользуются грубообломочные разности, с размером обломков 10–14 см. Брекчия представляет собой обломочную породу, сложенную обломками барита, сульфидов и аргиллитов с аргиллитовым матриксом.

Обломочный материал угловатых, окатанных и полуокатанных, уплощённых форм размером от первых миллиметров до 10–14 см слагает 40–90% объёма породы. Обломки барита и сульфидов обычно угловатые. Кроме собственно сульфидных обломков включения сульфидов содержатся в цементе и в обломках барита. Породы отнесены к брекчиям и конгломерато-брекчиям осадочного генезиса [Кузнецов и др., 2017ф]. Для массивных руд характерно развитие сульфидов блеклорудно-галенит-пирит-халькопирит-сфалеритовой ассоциации (Рис. 20, в). В этих рудах были установлены элементы

концентрических форм, выраженных в неравномерном распределении полиметаллов.

На периферии сульфидного холма в средней его части чаще всего развита мелкообломочная сульфидная брекчия с размером обломков 0,8–2 см, обломки имеют выраженные угловатые очертания. Локально развиты мелкообломочные брекчии сфалеритового состава.

Брекчии периферической части резко отличаются по возросшему количеству цемента того же состава. Кроме брекчиевых руд здесь также представлены полосчатые, реже массивные руды.

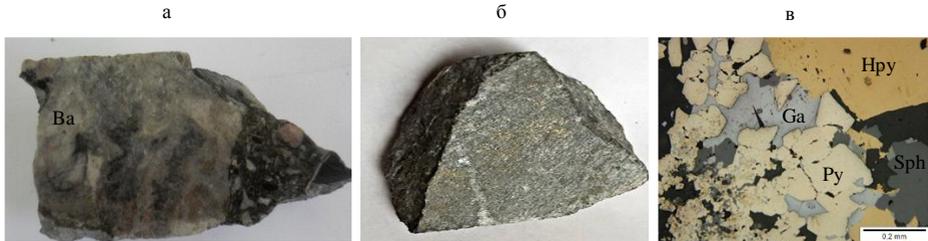


Рис. 20 Брекчиевые и массивные руды средней части холма: а — крупный обломок барита с сульфидами; б — массивные барит-полиметаллические руды (штуф); в — морфология выделения сульфидов массивных руд (отраженный свет).

Кровля холма. В кровле сульфидного холма развиты колломорфные колчеданно-полиметаллические руды, с содержанием пирита $\geq 70\%$. Кроме того, в стержневой части холм имеет более сложное строение. Здесь наблюдается выступ, сложенный зональными кварц-сульфидными, свинцово-цинково-колчеданными, барит-содержащими рудами, с содержанием пирита+марказита $>50\%$ и кварц-сульфидными, колчеданными, с содержанием пирита $>50\%$ рудами. Для них характерны выраженные субвертикальные полосчатые и трубчатые текстуры и концентрически-зональные формы. На периферии сульфидов с трубчатыми текстурами в пределах кварц-сульфидных колчеданных руд наблюдаются многочисленные пиритизированные биоморфные скопления, главным образом, бактериальные, а также трубчатые оболочки fossilized фауны, которые обрастают колломорфным пиритом (Рис. 21).

Зона подводящего канала маркируется подрудными гидротермально-метасоматическими изменениями пород, представленными кварц-серицитовыми, кварц-хлорит-серицитовыми, карбонат-кварцевыми (до кварцитов) метасоматитами и развитием прожилково-вкрапленной и гнездово-вкрапленной сульфидной минерализации. В *вышележащих* толщах по отношению к сульфидному холму наблюдаются многочисленные рудокласты, а над периферической частью сульфидного холма с юго-востока в перекрывающих слоистых толщах отмечается также и градиционная слоистость.

К северо-западной периферии сульфидного холма примыкает линзовидное рудное тело брекчиевой текстуры. В пределах брекчий присутствуют обломки массивных руд, характерных для средней части холма.

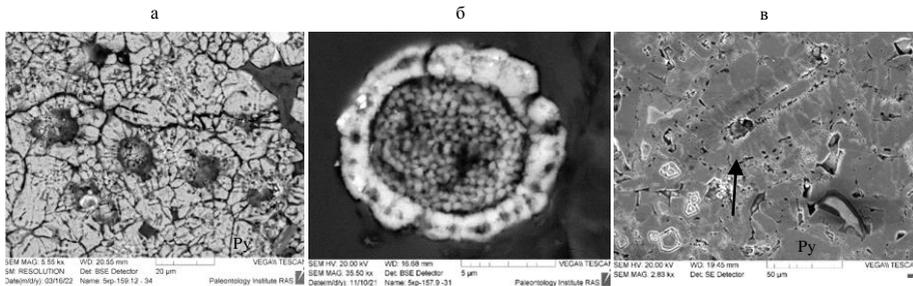


Рис. 21 Пиритизированные биоморфные скопления бактериальной природы и трубчатые оболочки биогенной фауны на периферии концентрически-зональных образований верхней части холма: а — колонии пиритизированных сферических бактерий; б — фрамбоидальный пирит, который развивался внутри трубчатой фауны неясного систематического положения; ж — пиритизированная фауна трубчатого облика, показана стрелкой

Таким образом, установлено зональное строение, выраженное в смене медно-цинково-колчеданных руд (в подошве) к цинково-колчеданным рудам и колчеданным (в кровле). Подобная зональность является характерной для многих колчеданных месторождений [Баранов, 1987]. Основная часть холма представлена массивными и брекчиевыми рудами. При этом размер обломков брекчий уменьшается от стержневой части к периферии. В пределах этих руд найдены обломки труб курильщика. В стержневой части холм имеет двухъярусное строение, выражающееся в выступе на фоне линии кровли. Руды здесь характеризуются повышенным содержанием кварца, ярко выраженной зональностью во внешней зоне. Руды стержневой части характеризуются повышенным содержанием золота и серебра. При этом присутствует тенденция к увеличению содержаний от подошвы к выступу на уровне кровли. Наибольшие содержания характерны для руд с элементами концентрически-зональных текстур (серебра— 17–21 г/т, золота— 0,6–0,8 г/т). В кровле холма развиты руды с высоким содержанием пирита. Руды кровли характеризуются развитием колломорфного пирита, который ассоциирует с многочисленными микробными скоплениями.

Согласно модели, предложенной Богдановым Ю.А., Лисициным А.П., Сагалевичем А.М. и др. (2006), многие «сульфидные холмы» имеют двухъярусное строение. Нижний ярус представляет собой раздробленный цоколь, в котором среди обломков присутствуют массивные руды и фрагменты гидротермальных труб. На разрушенную постройку надстраиваются новые трубы второго яруса. Подобное строение сульфидного холма установлено автором на месторождении Западно-Захаровское.

Холмообразная морфология сульфидной залежи, наличие рудокластов в вышележащих толщах, колломорфного пирита в кровле, а также присутствие большого количества сульфидизированных биоморфных образований хорошей сохранности свидетельствует о том, что данное тело соответствует относительно слабо разрушенным гидротермальным постройкам типа «курильщиков».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге проведенных исследований автором получены следующие результаты.

Подтверждено присутствие руд гидротермально-осадочного происхождения на колчеданно-полиметаллических месторождениях Змеиногорского и Рубцовского районов Рудного Алтая. Прослежена эволюция структур сингенетичных сульфидов в процессе их метаморфизма и обоснованы критерии, по которым гидротермально-осадочные руды могут быть опознаны в сильно метаморфизованных месторождениях.

На изученных месторождениях выявлены сульфидные холмы, по своим признакам отвечающие разрушенным гидротермальным постройкам, а в пределах холмов — фрагменты сульфидных труб «курильщиков», что в комплексе свидетельствует об образовании месторождений в условиях, соответствующих обстановкам современного колчеданообразования. Для выявленных палеотруб характерен изменчивый состав стенок, которые сложены пиритом, халькопиритом, сфалеритом и галенитом в различных соотношениях. Каналы заполнены баритом в ассоциации с пиритом, сфалеритом и галенитом или кварцем в ассоциации с сульфидами цветных металлов.

На примере Западно-Захаровского месторождения установлены основные закономерности строения сульфидных холмов. Их основной объем сложен массивными и брекчиевыми рудами, в которых понижена серноколчеданная составляющая. Фрагменты труб «курильщиков» сохраняются в средней и верхней частях холма. Руды кровли характеризуются развитием колломорфного пирита в ассоциации с оруденелыми бактериями и фоссилизированной фауной. В составе сульфидов цветных металлов в нижней части холма преобладает халькопирит, в средней — сфалерит, в верхней — галенит.

Полученные результаты являются основанием для использования при поисковых работах литолого-фациальных критериев в качестве основных. Выявление образований, по минералогическим признакам отвечающих кровле сульфидного холма, позволяет прогнозировать наличие рудных тел ниже по разрезу, а также пластовых и линзовидных рудных тел, прилегающих к холму по латерали.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в Перечень ВАК

1. Кузнецова С.В. Минералого-геохимические особенности рудных тел колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района, Рудный Алтай // Руды и металлы, 2011. № 3-4. С. 106–107.
2. Кузнецов В.В., Кудрявцева Н.Г., Галямов А.Л., Кузнецова С.В., Серавина Т.В. Геолого-генетические основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудноалтайского типа // Отечественная геология, 2014. № 2. С. 30–38.

3. Кузнецова С.В. Некоторые вопросы генезиса и минералогические особенности стратиформных руд колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая, Алтайский край // Руды и металлы, 2017. № 2. С. 40–50.

4. Кузнецова С.В. Минералогическая характеристика первых находок гидротермальных труб палеозойских «курильщиков» в российской части Рудного Алтая // Руды и металлы, 2019. № 1. С. 45–51.

5. Серавина Т.В., Кузнецова С.В., Филагова Л.К. Особенности вещественного состава вмещающих пород и руд Лазурского рудного поля (Змеиногорский рудный район, Рудноалтайская минерагеническая зона) // Отечественная геология, 2021. № 3-4. С. 36–47.

Монографии

6. Кузнецов В.В., Кудрявцева Н.Г., Серавина Т.В., Мурзин О.В., Корчагина Д.А., Кузнецова С.В., Миляев С.А. Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая –М.: ЦНИГРИ, 2019. 205 С.

Статьи в иных изданиях

7. Кузнецова С.В., Серавина Т.В. Условия локализации, особенности вещественного состава руд и строение сульфидного холма Западно-Захаровского месторождения (Рудноалтайская минерагеническая зона) // Геология и охрана недр, 2020. № 1 (74). С. 19–30.

8. Seravina T.V., Kuznetsova S.V. Localization conditions of pyrite-polymetallic mineralization of Lazurskoe ore field (Rudnoaltaiskaja mineragenic zone) // Геология и охрана недр, 2021. № 4 (81). С. 54–62.

Материалы конференций и тезисы докладов

9. Кузнецова С.В. Минералогия руд некоторых колчеданно-полиметаллических месторождений Змеиногорского рудного района (Рудный Алтай). Труды VII Международного симпозиума в музее «Земля и люди», 2013. С. 185–192.

10. Кузнецова С.В. Метаморфические преобразования первичных гидротермально-осадочных руд (на примере Змеиногорского рудного района) // Материалы XX всероссийской научной конференции «Уральская минералогическая школа-2014». С. 133–142.

11. Кузнецова С.В. Минералого-геохимические особенности месторождений Рудноалтайского типа и их поисковое значение // В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов - состояние и перспективы. Сборник тезисов докладов V научно-практической конференции. М: ЦНИГРИ. 2015. С. 72.

12. Кузнецова С.В. Эволюция структур руд колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. // В сборнике «Минеральное разнообразие: исследование и сохранение». –София, 2015. С. 45–46.

13. Кузнецова Т.П., Кузнецова С.В. Сравнительная характеристика вещественного состава руд полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья и Рудного Алтая // В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов - состояние и перспективы. Сборник тезисов докладов VI научно-практической конференции. М: ЦНИГРИ. 2016. С. 92–93.

14. Кузнецова С.В. Рудно-формационные и минеральные типы колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая (Алтайский край) // В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений

благородных, цветных металлов и алмазов Сборник тезисов докладов VII научно-практической конференции. 2017. С. 77–78.

15. Кузнецова С.В. Сульфидные почки полиметаллических месторождений Рудного Алтая и особенности их внутреннего строения. // В сборнике «Минеральное разнообразие: исследование и сохранение». – София, 2017. С. 43–44.

16. Кузнецова С.В. Вещественный состав колчеданно-полиметаллических и медно-цинково-колчеданных руд Давыдовского рудопроявления Рудного Алтая // В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции. М: ЦНИГРИ. 2018. С. 53–54.

17. Кузнецова С.В. Трубы палеозойских «курильщиков» в гидротермальных постройках на западном фланге Захаровского месторождения (Рудный Алтай) // В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции. М: ЦНИГРИ. 2019. С.180–181.

18. Серавина Т.В., Кузнецова С.В. Рудно-формационные типы месторождений и минералогические особенности руд Рудноалтайской минерагенической зоны // Материалы XXIV всероссийской научной конференции «Уральская минералогическая школа-2018». Екатеринбург, 2018. С. 192–196.

19. Кузнецова С.В. Находки сульфидных образований типа палеодиффузоров в рудах Рубцовского и Степного месторождений Рудного Алтая // Материалы XXVI всероссийской научной конференции «Уральская минералогическая школа-2020». С. 53–55.

20. Кузнецова С.В. Особенности строения сульфидного холма и биоморфные образования в рудах Западно-Захаровского месторождения (Рудный Алтай) // В книге: Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов X Международной научно-практической конференции. М: ЦНИГРИ. 2021. С. 122–124.

Подписано в печать 02.03.2023 г.
Формат бумаги 60х90/16
Тираж 99 экз.
Полиграфическая база ФГБУ «ЦНИГРИ»
117545, Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1