Федеральное государственное бюджетное учреждение «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ» (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

На правах рукописи

Старостин Иван Александрович

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ КЫЗЫКЧАДРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)

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

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук Гирфанов Михаил Миргалимович

Москва-2024

Оглавление

1. Введение Актуальность работы	3 3
Цели и задачи работы	3
Научная новизна исследований	4
Защищаемые положения:	6
Апробация диссертации	7
2. Позиция Кызыкчадрского рудного поля в региональных геотектонических структура	ιX
	9
3. І еологическое строение, вещественный состав и зональность рудно-метасоматически	X Q
Соразовании кызыкчадрского молиоден-медно-порфирового рудного поля	3
участка «Жила № 1»	8
Характеристика геологического строения, вещественного состава и зональности	
рудно-метасоматических образований месторождения Кызык-Чадр	2
 4. «Скрытая» минералого-геохимическая зональность месторождения Кызык-Чаду условия ее формирования и возможности использования в целях локальног прогнозирования медно-порфирового оруденения	2, 10 9
Распределение элементов-примесей в сульфидах по результатам масс- спектрометрического анализа с лазерной абляцией (LA-ICP-MS)	5
5. Рекомендации по использованию результатов выполненных исследований пр проведении поисковых и оценочных работ на оруденение медно-порфирового сопряженных типов в пределах Кызыкчадрского рудного поля и других перспективны	и и X
площадеи Алтас-Саянского региона	2
Список литературы	- 4

1. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Актуальность изучения перспективного Кызыкчадрского рудного поля с потенциально промышленным месторождением Кызык-Чадр определяется его значением как резервной сырьевой базы для проектируемого Аксугского ГМК в Восточной Тыве. В то же время, месторождение Кызык-Чадр вызывает научный интерес, как один из наиболее древних объектов медно-порфирового типа в Алтае-Саянском регионе, вовлеченный в интенсивную тектоническую переработку на последующих геотектонических этапах. Характерные черты геологической позиции, строения, вещественного состава и зональности месторождения Кызык-Чадр положены в основу адаптированной геолого-поисковой модели для использования при прогнозировании и проведении геологоразведочных работ в целях дальнейшего укрепления МСБ меди, молибдена и золота Алтае-Саянского региона.

Цели и задачи работы

Цель работы — установление геологического строения Кызыкчадрского рудного поля, определение типовых черт и условий образования медно-порфирового и сопряженного с ним золото-сульфидно-кварцевого оруденения; разработка рекомендаций по направлениям и методике геолого-поисковых работ на оруденение медно-порфирового типа в Алтае-Саянской металлогенической провинции.

Основные задачи, решаемые в рамках данной работы:

• Уточнение палеогеотектонической позиции Кызыкчадрского рудного поля в пределах юго-восточного сегмента Алтае-Саянского складчатого пояса.

• Уточнение геологического строения, вещественного состава руд и рудовмещающих пород, рудно-метасоматической, минералого-геохимической зональности Кызыкчадрского рудного поля, месторождения Кызык-Чадр, молибден-медно-порфировых и золото-сульфидно-кварцевых рудных тел в его пределах. На этой основе провести сопоставление оруденения Кызыкчадрского рудного поля с типовыми объектами медно-порфирового семейства.

• Уточнение и детализация прогнозно-поисковой модели Кызыкчадрского рудного поля и месторождения Кызык-Чадр.

• Разработка рекомендаций по проведению дальнейших поисковых и оценочных работ на медно-порфировое и золото-сульфидно-кварцевое оруденение в пределах Кызыкчадрского рудного поля и других перспективных площадей Алтае-Саянской металлогенической провинции.

Научная новизна исследований

Предложена современная интерпретация палеогеотектонической позиции Кызыкчадрского рудного поля в пределах южной части Алтае-Саянского региона, на основе которой намечены участки возможного проявления рудоносной плутонической формации и связанного с ней медно-порфирового оруденения. Выявлены и систематизированы особенности геологического строения и вещественного состава оруденения месторождения Кызык-Чадр, отличающие его от типовых медно-порфировых объектов. Впервые установлены элементы «скрытой» минералого-геохимической зональности состава руд и метасоматитов месторождения Кызык-Чадр, дополняющие минералогическую рудно-метасоматическую зональность. Дополнены и детализированы прогнозно-поисковые модели Кызыкчадрского рудного поля и месторождения.

Практическая значимость

В результате выполненных исследований намечены площади для постановки прогнозноминерагенических работ на оруденение порфирового типа в пределах южной части Алтае-Саянского сегмента Центрально-Азиатского орогенного пояса (ЦАОП); рекомендовано проведение оценки глубоких горизонтов рудоносной зоны месторождения Кызык-Чадр на промышленное медно-порфировое оруденение, намечены участки первоочередных буровых работ; выявленные элементы «скрытой» минералого-геохимической зональности состава руд и метасоматитов в объеме рудного пространства месторождения, рекомендованные для апробации и применения в качестве новой поисковой методики, позволяющей определять центральные, наиболее продуктивные части минерализованных зон на ранних стадиях геолого-поисковых работ; дополнена геолого-поисковая модель оруденения медно-порфирового типа, адаптированная к геологическим условиям Алтае-Саянской металлогенической провинции в целях определения направлений и оптимизации проведения дальнейших прогнозноминерагенических и оценочных работ.

Фактический материал, методы исследования и личный вклад автора

Работа основана на материалах, собранных автором в период с 2017 по 2023 год в ходе полевых и камеральных исследований объектов Кызыкчадрского рудного поля (Республика Тыва) в составе группы ФГБУ «ЦНИГРИ». Работы выполнялись в рамках Государственного контракта «Вещественный состав и зональность медно-порфирового оруденения южной части Кызыкчадрского рудного узла (Республика Тыва)» (2017–2020 гг.) и подраздела «Опытно-методические работы по применению метода масс-спектрометрического анализа с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) сульфидов с целью выявления и использования «скрытой» минералого-

геохимической зональности» Государственного задания ФГБУ «ЦНИГРИ» (2022–2023 гг.), а также тематического плана ФГБУ «ЦНИГРИ».

Исследования проводились с использованием разработанных в ФГБУ «ЦНИГРИ» методик структурно-формационного и рудно-формационного анализа разноранговых металлогенических площадей, а также специализированного изучения геологического строения, вещественного состава и рудно-метасоматической зональности, как наиболее информативных в поисковом отношении элементов медно-порфировых систем.

В ходе полевых исследований автор лично участвовал в проведении детального и крупномасштабного минералого-петрографического картирования в пределах Кызыкчадрского рудного поля и его обрамления. Выполнено выборочное специализированное изучение естественных обнажений, поверхностных горных выработок и керна скважин. Отобраны образцы и пробы пород, руд и метасоматитов, характеризующих различные части рудовмещающего пространства Кызыкчадрского рудного поля и входящих в его состав рудных объектов, для выполнения различных видов лабораторно-аналитических исследований.

В камеральный период при непосредственном участии соискателя выполнен комплекс лабораторно-аналитических исследований отобранных образцов и проб на базе лабораторий различных организаций. Проведено специализированное изучение пород, руд и метасоматитов в прозрачных шлифах (300 штук) и аншлифах (200 штук); выполнен изотопный массспектрометрический анализ серы сульфидов (40 штук), рентгеновские и ИК-спектроскопические исследования светлых слюд метасоматитов (20 штук) (ФГБУ «ЦНИГРИ»). Выполнен силикатный анализ проб основных разновидностей интрузивных пород (32 пробы) (АО «Сибирское ПГО» (АО «Росгео»). Выполнен масс-спектрометрический анализ с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) сульфидов (107 проб) (ИГЕМ РАН).

Автором выполнены обобщение и интерпретация полученных результатов с учетом данных предшествующих исследований: составлены разномасштабные графические материалы, отражающие основные закономерности геологического строения, рудно-метасоматической и «скрытой» минералого-геохимической зональности; петрохимические диаграммы, отражающие различия состава и эволюции интрузивных комплексов в пределах Кызыкчадрского рудного поля и его окружения.

В целях решения задачи определения региональных закономерностей локализации оруденения порфирового типа в структурах юго-восточного сегмента Алтае-Саянского складчатого пояса собрана фондовая и опубликованная информация о геологическом строении и металлогении южной части Алтае-Саянского региона, в пределах которого располагается изучаемый объект. В металлогеническую интерпретацию вовлечены картографические и другие

отчетные материалы предшествующих геологосъемочных и тематических работ в пределах 6 листов ГГК-1000 (N-45-47, M-45-47).

Цифровая обработка используемой информации, в т.ч. создание цифровых карт, разрезов, различных диаграмм, выполнены с использованием программ ArcGIS 10.6, Surfer 18.1, STATISTICA 10.0, Excel, CorelDraw 2021.

Защищаемые положения:

1. Кызыкчадрское рудное поле контролируется интрузиями порфировой фазы рудоносного габбро-диорит-гранодиорит-гранитового Кызыкчадрского комплекса (ε_{2-3}), прорывающего массив габбро-тоналит-плагиогранитового таннуольского комплекса (ε_2) в пределах локального провиса его кровли. Ожинский рудный узел, в состав которого входит рудное поле, расположен в области сочленения последовательно сформированных геоструктур: островодужных вулканических поясов (V- ε_1), аккреционно-коллизионных «батолитовых» массивов и рудоносных «малых» интрузий (ε_{2-3}), а также ареалов вулкано-плутонических ассоциаций кислого и субщелочного состава собственно коллизионного этапа (O-D₁), что отражает длительную магматическую активность в пределах Ожинского рудного узла и его ближнего окружения.

2. Геологическое строение, вещественный состав руд, метасоматитов и вмещающих пород и рудно-метасоматическая зональность месторождения Кызык-Чадр в целом отвечают типовой модели медно-порфировых месторождений. В то же время, установлен ряд характерных особенностей его морфологии и зональности этого объекта: ярко-выраженный линейный характер минерализованной зоны и рудных тел; редуцированность калиевой метасоматической зоны при резком преобладании филлизитовой зоны; практически полное отсутствие в биотита; ограниченное распространение метасоматитах вторичного магнетитовой И халькопиритовой минеральных ассоциаций. Эти особенности обусловлены рудных формированием месторождения в пределах долгоживущей разломной зоны, экранирующим эффектом вмещающей полифазный интрузив метаморфизованной сланцевой толщи и преимущественно кислым составом пород этого интрузива.

3. Для месторождения Кызык-Чадр установлена «скрытая» минералого-геохимическая зональность, выявляемая инструментальными физико-химическими методами (рентгеноструктурный анализ, LA-ICP-MS) и позволяющая выделять наиболее продуктивные части минерализованных зон на ранних стадиях геолого-поисковых работ по соотношению фенгит/мусковит в гидротермальных светлых слюдах и распределению элементов-микропримесей в пиритах и халькопиритах. В качестве поискового критерия предложены комплексные (мультипликативные) коэффициенты зональности:

К(пи) = Cu²×Mo/Pb×Zn×Bi (для пирита) и К(хп) = Co×Mo/Se×Bi (для халькопирита), значения которых последовательно уменьшаются от центра к периферии рудоносного штокверка Кызык-Чадр.

4. В результате выполненных исследований: выделены площади для постановки прогнозно-минерагенических работ на оруденение порфирового типа в пределах южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП; рекомендовано проведение оценки глубоких горизонтов рудоносной зоны месторождения Кызык-Чадр на промышленное медно-порфировое оруденение; дополнена геолого-поисковая модель оруденения медно-порфирового типа Кызыкчадрского рудного поля, отличительной особенностью которой является детализация зональности руднометасоматических образований месторождения и интеграция в нее элементов «скрытой» минералого-геохимической зональности; обоснована целесообразность постановки опытнометодических работ на месторождениях порфирового типа различных регионов с целью разработки методики выявления «скрытой» минералого-геохимической зональности на меднопорфировых объектах.

Апробация диссертации

Основные результаты и защищаемые положения работы докладывались и обсуждались на научных конференциях: VIII Российская молодёжная научно-практическая школа «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, ИГЕМ РАН, 2018 г.); IX Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» (Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ», 2019 г.); I, III, IV Молодежные научно-образовательные конференции ФГБУ «ЦНИГРИ»: «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов — от прогноза к добыче» (Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ», 2020, 2022, 2023 гг.).

Результаты исследований вошли в состав геологического отчета о выполненных работах по договору с АО «Сибирское ПГО» (АО «Росгеология») «Вещественный состав и зональность медно-порфирового оруденения южной части Кызыкчадрского рудного узла (Республика Тыва)» в рамках Госконтракта «№ 62 от 04.09.2017 г.» и главы геологического отчета по подразделу: «Опытно-методические работы по применению метода масс-спектрометрического анализа с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) сульфидов с целью выявления и использования скрытой минералого-геохимической зональности при локальном прогнозировании медно-порфирового оруденения (на примере месторождения Кызык-Чадр, Республика Тыва)» Государственного контракта ФГБУ «ЦНИГРИ» за 2022 и 2023 г.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано десять работ, из них четыре статьи в рецензируемых научных журналах.

Структура и объём работы

Диссертация объемом 139 страниц состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 71 рисунок, 3 таблицы и список литературы, включающий 85 наименование.

Благодарности

Автор выражает благодарность за помощь, содействие и поддержку при проведении исследований и подготовке данной работы своему научному руководителю — канд. геол.-мин. наук М.М. Гирфанову, а также дирекции ФГБУ «ЦНИГРИ»: доктору геол.-мин. наук А.И. Иванову, канд. геол.-мин. наук Е.А. Наумову, канд. геол.-мин. наук А.Г. Волчкову. За существенную помощь при подготовке диссертационной работы автор благодарит Советника ФГБУ «ЦНИГРИ» доктора геол.-мин. наук И.Ф. Мигачева. За содействие в интерпретации материалов региональных работ автор выражает признательность канд. геол.-мин. наук А.И. Черных.

За помощь и проведение лабораторно-аналитических исследований автор благодарит доктора геол.-мин. наук С.Г. Кряжева, канд. геол.-мин. наук С.С. Двуреченскую (ФГБУ «ЦНИГРИ»); канд. мат. наук В.Д. Абрамову, канд. геол.-мин. наук Е.В. Ковальчук (ИГЕМ РАН), канд. геол.-мин. наук М.С. Никольского (ИГЕМ РАН).

За содействие при проведении совместных полевых и камеральных работ автор признателен А.В. Андрееву, О.В. Авиловой, И.В. Гудковой, Э.В. Закиевой, В.Э. Мельничину, И.О. Столярову, Е.В. Тарасовой (ФГБУ «ЦНИГРИ»).

За ценные советы, конструктивную критику и рекомендации автор выражает признательность К.М. Минькину, доктору геол.-мин. наук В.С. Звездову, С.А. Карась, канд. геол.-мин. наук С.А. Миляеву, канд. геол.-мин. наук О.В. Мининой, канд. геол.-мин. наук С.Г. Мишенину, канд. геол.-мин. наук В.Е. Васюкову (ФГБУ «ЦНИГРИ»); канд. геол.-мин. наук В.А. Минаеву, канд. геол.-мин. наук С.А. Устинову (ИГЕМ РАН); канд. геол.-мин. наук Е.И. Ярцеву, канд. геол.-мин. наук Л.Н. Шишаковой (МГУ им. Ломоносова).

Автор благодарит сотрудников АО «Сибирское ПГО» М.И. Семенова, И.А. Бабкина, В.А. Москалева, Д.Н. Юрмазова за помощь при проведении полевых работ в Республике Тыва, консультации и предоставленные материалы.

2. ПОЗИЦИЯ КЫЗЫКЧАДРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Кызыкчадрское рудное поле находится на востоке Республики Тыва, в 100 км к северу от города Кызыл, в восточных отрогах Западного Саяна (Рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Схематическая карта юго-восточной части Алтае-Саянского региона, отражающая позицию молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр, медно-порфирового месторождения Сорское. Рамка на врезке — позиция показанного на карте региона в центре Евразийского континента

В геологическом отношении Кызыкчадрское рудное поле располагается в южной части Алтае-Саянского сегмента Центрально-Азиатского орогенного пояса (ЦАОП). Оно локализовано в зоне влияния субширотного Хемчикско-Азасского глубинного разлома, в пределах провиса кровли Ожинского полиформационного плутона (Рисунок 2.2), сложенного породами габбротоналит-плагиогранитовой (таннуольский комплекс, C_2) и габбро-диорит-гранодиоритгранитной (кызыкчадрский комплекс, C_{2-3}) формаций, прорывающим вулканогенно-осадочную толщу (V- C_1) и перекрытого ордовикскими, силурийскими и раннедевонскими отложениями. В металлогеническом отношении Ожинскому плутону отвечает одноименный рудный узел, включающий рассматриваемое рудное поле и несколько перспективных площадей в ранге прогнозируемых рудных полей, требующих дополнительного изучения (Рисунок 2.2). Прожилково-вкрапленное медно-молибденовое и жильно-прожилковое золото-медно-кварцевое оруденение Кызыкчадрского рудного поля пространственно и генетически связано с поздними порфировыми фазами внедрения штокообразного полифазного массива кызыкчадрского комплекса (Рисунок 2.3, Рисунок 2.4) [Андреев, Гирфанов, Старостин, 2021].



Стратифицированые образования: 1 — перекрывающие терригенно-карбонатные, трахиандезибазальтдацит-трахириолитовые и флишоидные отложения, нерасчлененные (O₁–D₁), 2 — вулканогенно-терригенные метаморфизованные образования Ожинского выступа, туматтайгинская свита (€₁tt); интрузивные образования Ожинского выступа: 3 — габбро-диорит-гранодиорит-гранитный кызыкчадрский комплекс (€₂₋₃kz), продуктивный на золото-молибден-медно-порфировое оруденение, 4 — диорит-тоналит-плагиогранитный таннуольский комплекс (€₂t); 5 — тектонические нарушения: а — региональный Хемчикско-Азасский разлом, б — оперяющие нарушения; 6 — Ожинский золото-молибден-меднорудный узел; 7 — Кызыкчадрское рудное поле; 8 — прогнозируемые рудные поля: 1 — Тараскырское, 2 — Глухариное, 3 — Бийхемское; 9 — Улубгусская перспективная площадь; 10 литохимические ореолы рассеяния: а — в коренных породах, б — в рыхлых отложениях; 11 — потоки рассеяния золота; 12–13 — месторождения, рудопроявления и точки минерализации полезных ископаемых: 12 месторождение медно-порфировое (а), урановое (б), 13 — рудопроявление медно-молибденовое (а), точка минерализации медно-молибденовая (б), точка минерализации молибденовая (в), рудопроявление золота (г), точка минерализации золота (д), рудопровления урана (е). Рамка — контур схемы геологического строения Кызыкчадрского рудного поля (см. Рисунок 2.3)

Рисунок 2.2 – Схематическая геологическая карта Ожинского рудного узла (по материалам ГГК-200 (М.И. Семенов и др., 2016), с изменениями).

Основной перспективный объект Кызыкчадрского рудного поля — среднее по масштабам золотосодержащее молибден-медно-порфировое потенциальное месторождение Кызык-Чадр (апробированные прогнозные ресурсы кат. P₁+P₂: Cu — 870 тыс. т, Mo — 40 тыс. т, Au — 40 т, Ag — 200 т). Оно открыто в 1950-х годах, детальные поиски проведены в 1970-х годах. В 2017–2020 годах АО «Сибирское ПГО» АО «Росгео» на объекте проведены ревизионные поисковые

работы [Бабкин, Семенов и др., 2019], в которых принимал участие автор в составе группы ФГБУ «ЦНИГРИ» [Андреев, Гирфанов, Старостин и др., 2021].

Результаты выполненных автором исследований положены в основу подготовленной диссертационной работы.



1 — туматтайгинская свита (С_{1tt}): а) вулканогенно-осадочные отложения, нерасчлененные, б) песчаники и алевролиты пестроцветные, в) туфы, туфобрекчии, туфоконгломераты с прослоями лав среднего состава, алевролитов, песчаников; 2–3 — кызыкчадрский габбро-диорит-гранодиорит-гранитный комплекс (С_{2-3kz}): 2 — кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры, нерасчлененные: а — отдельные дайки, б — «порфировый интрузив», образованный сближенными телами порфировых пород различного состава; 3 — граниты, гранодиориты, кварцевые монцониты, диориты и габбро-диориты, нерасчленённые; 4 — таннуольский диорит-тоналит-плагиогранитовый комплекс (С_{2t}); 5 — ороговикование; 6 — зоны развития интенсивных гидротермально-метасоматических изменений (преимущественно кварц-хлорит-серицитового состава) и сульфидной минерализации; 7 — разрывные нарушения; 8 — (золото-сульфидно)-кварцевые жилы; 9 — контур штокверкового меднорудного тела по бортовому содержанию Си 0,2%; 10–12 — вторичные ореолы рассеяния: 10 — меди, 11 — молибдена, 12 — золота; 13 — контур Кызыкчадрского рудного поля.

Рисунок 2.3 – Схема геологического строения Кызыкчадрского рудного поля. (по Р.Т. Уссар, 1978 г., И.А. Бабкин и др., 2019, А.В. Андреев и др., 2020, с изменениями и дополнениями). Рамка — контур схемы месторождения Кызык-Чадр (см. Рисунок 3.6)



Стратифицированые образования: 1 — вулканогенно-терригенные метаморфизованные образования Ожинского выступа, туматтайгинская свита (\mathcal{E}_1 tt); интрузивные образования Ожинского выступа: 2–5 — габбродиорит-гранодиорит-гранитный кызыкчадрский комплекс ($\mathcal{E}_{2.3}$ kz): 2 — габбро, диориты, гранодиориты нерасчленённые, 3 — граниты, кварцевые монцониты, диориты и габбро-диориты, нерасчленённые, 4 — кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры, нерасчлененные, 5 — диорит-тоналитплагиогранитовый таннуольский комплекс (\mathcal{E}_{2t}): диориты, тоналиты, плагиограниты нерасчленённые; 6 эксплозивные (?) брекчии; 7 — зоны развития интенсивных гидротермально-метасоматических изменений и сульфидной минерализации; 8 — контур штокверкового меднорудного тела по бортовому содержанию Cu 0,2 %; 9 — разрывные нарушения.

Рисунок 2.4 – Модель формирования медно-порфирового оруденения в связи с рудносным Кызыкчадрским интрузивным комплексом в пределах Ожинского полиформационного плутона.

Алтае-Саянский складчатый пояс (АССП), в пределах которого располагается потенциальное месторождение Кызык-Чадр и ряд других молибден-медно-порфировых и молибден-порфировых объектов (Ак-Суг, Сорское и др.), рассматривается в качестве Алтае-

Саянского сегмента ЦАОП — структуры планетарного масштаба, формирование которой продолжается уже более 700 млн лет [Буслов и др., 2013; Гордиенко, 2016; Руднев и др., 2021, Михалаский и др., 2010; Якубчук, 2017 и др.]. На сегодняшний день не существует единой точки зрения относительно истории формирования и развития этой территории.

На значительной части территории АССП выполнена геологическая съемка масштаба 1:200 000 второго поколения [Семенов и др., 2019], составлены Государственная геологическая карта масштаба 1:1 000 000 (3-е поколение) [Александровский и др., 2008, 2011; Бабин и др., 2007; Беззубцев и др., 2008; Галимова и др., 2012; Федак и др., 2011], геологическая карта 500 масштаба 1:2 000 (ВСЕГЕИ) и другие общедоступные специализированные картографические Геологическому строению территории материалы. посвящены многочисленные публикации [Буслов и др., 2013; Берзина и др., 2016; Гордиенко, 2016; Гусев и др. 2014; Руднев и др., 2021; Семенов и др., 2019; Михалаский и др., 2015; Черных и др., 2021; Якубчук, 2017 и др.], дающие общее представление о геологической позиции Кызыкчадрского рудного поля.

Тувинский аккреционно-коллизионный магматический пояс [Ветров, Черных, 2019], с которым связывается медно- и молибден-порфировое, а также золотое оруденение Алтае-Саянской области, представляет собой северо-западный сегмент более крупной Тувино-Монгольской магматической дуги (Рисунок 2.5) [Михалаский и др., 2015]. По времени формирования (€2–D1) эта структура относится к каледонскому этапу геотектонического развития [Буслов и др., 2013; Руднев и др., 2021; Семенов и др., 2019].

В целях определения закономерностей локализации оруденения Кызыкчадрского рудного поля в региональных структурах и палетектонической позиции его формирования автором рассмотрена достаточно обширная территория — юго-восточный сегмент АССП. Этот регион располагается в пределах шести листов ГГК-1000 (N-45–47; M-45–47) и включает разнотипные и разновозрастные геологические структуры и рудные объекты.

Автором выполнена специализированная интерпретация имеющихся мелкомасштабных геологических и металлогенических карт на основе методики структурно-формационного анализа и рудноформационного анализа [Кривцов и др, 2007; Мигачев, 1993; Звездов, 2023], при этом выделялись стратиграфические и магматические комплексы, отвечающие основным геотектоническим структурам и их латеральным зонам, анализировалась информация об их составе и взаимоотношениях, определялся их формационный тип и соответствующий палеогеотектонический режим формирования.

При анализе геотектонической позиции формирования Кызык-Чадра использованы современные возрастные оценки рудоносных интрузивных образований этого рудного поля, а также молибден-медно-порфирового Ак-Сугского и молибден-порфирового Сорского

месторождений, отвечающие среднему-позднему кембрию [Гусев и др., 2014; Берзина и др., 2016].



Рисунок 2.5 – Схема положения осей каледонских островодужных систем (пунктирная линия) Центрально-Азиатского орогенного пояса (по Михалаский, 2015 г.). Отмечено положение наиболее крупных медно-молибденовых месторождений каледонского этапа. Красный прямоугольник соответствует рамке структурно-формационной схемы южной части Алтае-Саянского сегмента (см. Рисунок 2.6).

Анализировалась информация по месторождениям и проявлениям полезных ископаемых в пределах рассматриваемой территории (в первую очередь, связанным с развитием меднопорфировых рудно-магматических систем), определялись рудно-формационные типы оруденения, связи рудных и геологических формаций.

Составлена схематическая структурно-формационная карта южной части Алтае-Саянского сегмента масштаба 1:3 000 000 (Рисунок 2.6). На составленной карте выделены структурно-формационные разновозрастные комплексы, отвечающие различным обстановкам геотектоническим этапам И палеогеотектоническим образования В пространственно-временных рядах океан – островная дуга – континент, а также главные региональные тектонические нарушения.





Докембрийские образования: 1 — архей-протерозой (AR-PR); 2 — рифей-венд (R-V); 3 — раннекембрийские образования (C₁): а) стратифицированные толщи; б) габбро-плагиогранитные формации; 4 — средне-(позднекембрийские) образования (C₂₋₃): а) стратифицированные толщи; б) габбро-тоналит-плагиогранитная и габбро-диорит-гранодиорит-гранитная формации; 5 — ордовик-силурийские образования (O-S): а) стратифицированные толщи; б) габбро-монцонит-сиенитовая и гранит-лейкогранитная формации; 6 — раннедевонские образования (D₁); а) стратифицированные толщи; б) габбро-монцонит-сиенитовая и гранит-лейкогранитная и гранит-лейкогранитная формации; 7 — позднепалеозойские-раннемезозойские образования (D₂-T); 8 — позднемезозойские-кайнозойские образования (J-N).

Геотектонические обстановки осадконакопления: 9 — преддуговый прогиб, 10 — аккреционная призма, 11 — магматическая дуга, 12 — задуговый бассейн, 13 — континент,14 — неустановленные; 15 — месторождения полезных ископаемых: а) молибден-медно-порфировые, б) молибденовые, в) золоторудные, г) медно-никелевые, д) колчеданно-полиметаллические; е) рудопроявления молибдена; ж) рудопроявления золота.

Рисунок 2.6 – Схематическая структурно-формационная карта южной части Алтае-Саянского сегмента (составлена с использованием ГК 1:2 500 000 (ВСЕГЕИ))

На основе анализа данных о геологическом строении южной части Алтае-Саянского сегмента АССП, обобщенных предшествующими исследователями [Буслов, 2013; Берзина и др., 2016; Гордиенко, 2016; Гусев и др., 2014; Руднев, 2021; Кузнецов и др., 2020; Семенов и др., 2019; Михалаский и др., 2015; Черных и др., 2021] составлена сводная металлогенограмма, отражающая последовательность смены геотектонических режимов и соответствующих им структурно-формационных комплексов и рудных формаций рассматриваемого региона от докембрия до среднего палеозоя (Рисунок 2.7). На составленной металлогенограмме отражена приуроченность медно-порфирового оруденения Кызыкчадрского рудного поля (а возможно и других медно-порфировых объектов южной части Алтае-Саянского сегмента) к стадии аккреции Хамсаринской островодужной системы к Сибирскому континенту в среднем-позднем кембрии, сопровождавшейся формированием, образований аккреционно-коллизионной стадии гетектонического развития территории. В составе последнего распространены крупные плутоны «батолитовой» диорит-тоналит-плагиогранитовой формации (в том числе таннуольского комплекса среднего кембрия). Такие плутоны в ряде случаев прорываются малыми интрузиями «пестрого» состава, несущими медно-молибден-порфировое оруденение. В частности, меднопорфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля приурочено к телам кварцевых диоритовых порфиритов — гранодиорит-порфиров кызыкчадрского интрузивного комплекса среднего-позднего кембрия.

Как видно из составленной металлгенограммы и схематической структурноформационной карты, выше перечисленные магматические образования образуют единую длительно развивавшуюся (ε_2 -D₁) структуру, выделяющуюся в качестве Тувинского акреционно-коллизионного вулкано-плутонического пояса (ВПП) [Ветров, Черных, 2019; Якубчук, 2017].

Как уже было отмечено, интрузивы, отвечающие по составу и времени образования магматитам кызыкчадрского комплекса, к настоящему времени обнаружены только в пределах Ожинского выступа, в составе полиформационного одноименного плутона. Не исключено, что за его пределами они оказались перекрытыми или прорванными более молодыми раннепалеозойскими образованиями коллизионной стадии. Последние представлены вулканическими и интрузивными образованиями ордовика-силура (гранит-лейкогранитового и риолитоидного состава) и раннего девона (монцонитоидного и трахиандезитоидного состава), типичными для подобных обстановок [Кривцов и др., 1995; Мигачев, 1993].



Геологические формации: осадочные (1 — карбонатная; 2 — терригенно-карбонатная; 3 — аспидная; 4 — алеврито-аргиллитовая пестроцветная; 5 — флишевая; 6 — углеродисто-кремнистая; 7 — молассовая); вулканогенные (8 — туфоглинисто-песчаная; 9 — туфопесчано-конгломератовая/вулканогенно-обломочная; 10 — андезибазальтовая/базальт-андезитовая; 11 — базальтовая; 12 — трахириолитовая; 13 — офиолитовая); метаморфические (14 — карбонатно-гранулитовая, 15 — амфиболит-гнейсовая); интрузивные (16 — диориттоналит-плагиогранитная: а) фанеритовые фазы, б) порфировые фазы; 17 — габбро-диорит-гранодиорит-гранитная; 18 — габбро-плагиогранитная; 19 — сиенитовая); 20 — монцонитовая, гранит-лейкогранитовая; 21 — рудные формации: а) молибден-медно-порфировая (КЧ — Кызык-Чадр, АС — Ак-Суг), б) золото-кварц-сульфидная (ОЧ — Ольховско-Чибежекский рудный узел), в) медно-никелевая с габброидами (К — Кингашское), г) медно-колчеданная (М — Майнское), д) колчеданно-полиметаллическая (КТ — Кызыл-Таштыгское), е) тантал-ниобиевая, неясного рудно-формационного типа (Г — Гольцевское).

Рисунок 2.7 – Схема соотношения геологических и рудных формаций (металлогенограмма) южной части Алтае-Саянского сегмента

Таким образом, проведенный анализ составленных картографических материалов показал, что медно-порфировое оруденение Кызык-Чадра связано со стадией аккреции океанической островной дуги к Сибирскому континенту в среднем-позднем кембрии (€2-3), сопровождавшейся коллизией типа дуга-континент с интенсивными тектоническими дислокациями [Буслов и др., 2013; Гордиенко и др., 2016; Якубчук, 2017] и формированием Тувинского вулканоплутонического пояса (ВПП).

Следует отметить, что формирование оруденения Кызыкчадрского рудного поля традиционно рассматривалось в связи с вулкано-плутоническим поясом девонского возраста [Звездов и др., 1989, Кривцов и др., 1986] (Таблица 2.1). Однако, значительно более древние датировки (средний-поздний кембрий), полученные относительно недавно для пород кызыкчадрского рудоносного комплекса [Гусев и др., 2014], требуют пересмотра представлений о геотектонической позиции формирования этого объекта.

Таблица 2.1.

Хронология представлений об условиях формирования кызыкчадрского габбро-диорит-гранодиорит-гранитового комплекса и связанного с ним медно-порфирового оруденения, по

Авторы	Год	Возраст	Обстановка
			формирования
А.И. Кривцов, С.Т. Агеева,	1982	Нижний-средний	Саяно-Тувинский ВПП
И.Ф. Мигачев		девон	
Н.И. Гусев, Е.И. Берзон,	2014	Средний-поздний	Аккреционно-
М.И. Семенов		кембрий	коллизионная
И.Ф. Мигачев, В.С. Звездов,	2016	Палеозой	Саяно-Тувинский ВПП
О.В. Минина			
А.С. Якубчук *	2017	Поздний кембрий	Аккреционно-
			колизионная

разным авторам

Примечание: * Кызыкчадрский комплекс в работе не рассматривается, но данная территория относится к аккреционно-коллизионной обстановке.

Сложность решения этой задачи для рассматриваемого объекта определяется широким распространением перекрывающих стратифицированных и прорывающих интрузивных формаций, а также значительными пострудными деформациями включающего его блока земной коры [Буслов и др., 2013; Гордиенко и др., 2016; Якубчук, 2017]. При этом, палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского рудного поля реконструируется только по фрагментарно сохранившимся блокам пород рудоносных и подстилающих формаций.

Для реконструкции исходной картины автором использованы сводные геодинамические модели, включающие рассматриваемый регион, разработанные рядом исследователей на основе геотектонической концепции тектоники плит [Буслов и др., 2013; Гордиенко, 2016; Руднев и др., 2021; Якубчук, 2017].

В соответствии с этими представлениями, современный Алтае-Саянский сегмент ЦАОП рассматривается как «Алтае-Саянский коллаж» позднепротерозойско-палеозойского возраста [Якубчук, 2017]. Он включает разновозрастные и разнотипные блоки земной коры, совмещенные аккреционно-коллизионных результате событий: (1)выступы докембрийских В континентальных блоков (Тувинский массив); (2) элементы океанических и островодужных систем рифей-вендского и раннекембрийского возраста (Хамсаринская палеоостроводужная система): фрагменты островодужных вулканических гряд, аккреционного клина, задуговых прогибов, сложенных терригенно-карбонатными отложениями; (3) средне-позднекембрийских «батолитовых» интрузивов и малых интрузий аккреционно-коллизионной стадии; (4) разрозненные фрагменты раннепалеозойских (ордовик-раннедевонских) вулкано-плутонических ареалов (наземные вулканогенно-осадочные отложения многочисленных свит ордовика-силура) коллизионной стадии развития территории [Гусев и др., 2014; Семенов и др., 2019]. Как уже было отмечено, образования двух последних типов (аккреционно-коллизионные интрузивы (Є2-С₂₋₃) и вулкано-плутонические образования (O-D₁) рассматриваются в качестве составляющих палеозойское акреционно-колизионное Тувинское ВПП длительного развития.

Последовательность смены геодинамических обстановок в процессе формирования отложений салаирского (раннекаледонского) венд-кембрийского структурного этажа рассматриваемой территории и механизм причленения к континенту островной дуги с формированием коллизионно-аккреционных структур обобщена (модели) на схеме геодинамического развития Хамсаринской островодужной системы, составленной нами на основе построений И.В. Гордиенко [Гордиенко, 2016] (Рисунок 2.8).

В венде – раннем кембрии в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП в процессе механизма субдукции океанической коры происходило развитие островодужной системы с типовой латеральной зональностью (преддуговый бассейн – аккреционная призма – вулканическая дуга – задуговый бассейн), элементы которой реконструируются по характерному набору фактических данных о геологическом строении, возрасте, составе и взаимоотношениях пород, позволяющих выделять «диагностические» геологические формации (как это показано на представленной схеме).

Аккреция островной дуги к Сибирскому континенту в среднем кембрии привела к интенсивным деформациям островодужных отложений и внедрению интрузивов аккреционно-коллизионной диорит-тоналит-плагиогранитовой формации (таннуольский и другие комплексы). В среднем-позднем кембрии произошло внедрение малых интрузий габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации (кызыкчадрский комплекс), с которыми связывается формирование молибден-медно-порфирового оруденения (Кызыкчадрское рудное поле).



1 — океаническая кора (в т.ч. задугового бассейна) со спрединговыми зонами; 2 — континентальная кора (Сибирская платформа); 3 — потоки магм и флюидов в спрединговых зонах и «горячих точках» (а) и направления движения океанических и континентальных плит (б); 4 — симаунты; 5 — Хамсаринская островная дуга: а — вулканиты, б — аккреционная призма; 6 — осадочные карбонатно-терригенные отложения преддугового и задугового палеобассейнов; 7 — островодужные габброиды и гранитоиды (габбро-плагиогранитовой формации); 8 – 9 — аккреционно-коллизионные гранитоиды: 8 — диорит-тоналит-плагиогранитовая формация, 9 — габбро-диорит-гранодиорит-гранитная формация; 10 — месторождения полезных ископаемых: а) медно-порфировые, б) золото-кварц-сульфидные, в) медно-никелевые, г) колчеданно-полиметаллические, д) медно-колчеданные

Рисунок 2.8 – Обобщенная модель геодинамического развития Хамсаринской островодужной системы в венде-раннем палеозое (по Гордиенко, 2016, с изменениями). На схеме обозначены основные элементы островодужных систем и слагающие их геологические формации.

По представлениям ряда исследователей Алтае-Саянской складчатой области [Буслов и др., 2013; Гордиенко, 2016; Руднев и др., 2021, Михалаский и др., 2010; Якубчук, 2017 и др.], в

рифее-венде функционировал спрединговый механизм расширения Палеоазиатского океана с заложением энсиматической островной дуги (Хамсаринской) с обширным задуговым бассейном (Рисунок 2.8). Океанические базальты этого возраста в виде тектонических линз присутствуют в составе аккреционной призмы. В подчинённом количестве здесь отмечаются вулканиты также среднего и, значительно реже, кислого состава. На этой стадии отмечается внедрение островодужных интрузий существенно габбрового состава (с небольшой долей гранитов), отнесенных к нижнеканскому, нижнедербинскому и другим магматическим комплексам [Беззубцев и др., 2008; Галимова и др., 2012; Семенов, 2016].

Раннекембрийской стадии развития территории отвечает продолжение океанического спрединга и формирования островодужной системы [Буслов и др., 2013; Гордиенко, 2016; Руднев и др., 2021; Якубчук, 2017]. Она маркируется массовым появлением, наряду с базальтами, продуктов андезит-риолитового магматизма, представленных преимущественно туфами среднего и кислого состава [Беззубцев и др., 2008; Галимова и др., 2012; Семенов и др., 2016]. В преддуговом бассейне фиксируется накопление флишевых, в задуговом — карбонатной и карбонатно-терригенных формаций. В сложенных преимущественно вулканитами осевых частях островодужной системы в это время внедрялись малые интрузии габбро-плагиогранитной формации (майнский комплекс). Интрузивные образования майнского комплекса представлены преимущественно плагиогранитами с порфировидной и реже гнейсовидной структурой. В подчинённом количестве в пределах комплекса отмечаются роговообманковые И кварцсодержащие габбро. На участках перехода от габброидов первой фазы к плагиогранитам второй фазы часто встречаются диориты и кварцевые диориты. Они не образуют обособленных тел с фиксированными границами и, возможно, являются гибридными образованиями [Руднев и др., 2021].

С основным и последовательно дифференцированным островодужным вулканизмом раннего кембрия связано формирование колчеданного оруденения (Майнское медно-колчеданное и Кызыл-Таштыгское колчеданно-полиметаллическое месторождения) [Кузнецов и др., 2020].

Позднее, в среднем-позднем кембрии, что соответствует по времени салаирскому (раннекаледонскому) этапу складчатости, произошло причленение островодужной системы к Сибирскому континенту и обрамляющим его структурам Восточного Саяна предшествующей консолидации. Процессы аккреционной коллизии, в том числе предполагаемое рядом исследователей заклинивание зоны субдукции, привели к скучиванию и утолщению земной коры и трансформации островодужной системы в аккреционный ороген [Буслов и др., 2013; Гордиенко, 2016; Руднев и др., 2021; Якубчук, 2017]. Данная коллизионно-аккреционная стадия геотектонического развития территории сопровождалась активизацией интрузивного магматизма. Произошло становление крупных батолитоподобных плутонов, сложенных породами различного состава. Основной объем магматитов пояса представлен интрузивами диорит-тоналит-плагиогранитовой формации таннуольского интрузивного комплекса и его аналогов, формировавшихся в широком возрастном диапазоне (515±4-499±6, Берзина, 2016). Они образуют батолитоподобные плутоны, с которыми связаны локальные магматогенные поднятия. Судя по редким опубликованным данным абсолютных датировок, в короткий промежуток времени (около 5-10 млн лет) такие плутоны в рассматриваемом регионе прорываются малыми по размерам штокообразными интрузивами различной формационной несущими золото-молибден-медное оруденение. Медно-порфировое принадлежности, оруденение рассматриваемого Кызыкчадрского рудного поля приурочено к интрузиям самостоятельного кызыкчадрского габбро-диорит-гранодиорит-гранитного комплекса среднегопозднего кембрия (€2-3) (508±7-490±4 млн лет, Н.И. Гусев 2014), прорывающим породы таннуольского комплекса в пределах Ожинского плутона. [Гусев и др., 2014; Семенов и др., 2016].

Следует отметить, что выделение кызыкчадрского комплекса в качестве индивидуального регионального подразделения (впервые выделен Н.С. Бухаровым с соавторами как девонский из состава кембрийского таннуольского комплекса при проведении ГС-50 в 1977 г., а в 2017 г. Н.И. Гусевым с соавторами переведен из девона в кембрий [Семенов и др., 2016]), остается дискуссионным.

Вопрос о соотношении кызыкчадрского и таннуольского комплексов требует дальнейшего изучения и продолжения поисков аналогов кызыкчадрского комплекса в смежных районах.



Петрохимические различия таннуольского и продуктивного кызыкчадрского комплексов хорошо видны на составленных диаграммах (Рисунок 2.9).

Рисунок 2.9 – Вариации щелочности пород таннуольского и кызыкчадрского интрузивных комплексов в пределах Ак-Сугского и Ожинского рудных узлов.

Плутониты обоих комплексов в составе Ожинского плутона сформированы на островодужном субстрате, сложенном интенсивно дислоцированными и ороговикованными раннекембрийскими вулканогенно-осадочными и терригенными образованиями (туматтайгинская свита). Вулканиты среднего-позднего кембрия в рассматриваемом регионе развиты весьма ограниченно. Они представлены туфами и эффузивами различного, преимущественно среднего, реже кислого состава [Беззубцев и др., 2008; Галимова и др., 2012; Семенов и др., 2016].

В региональном масштабе магматические образования данной стадии, включая таннуольский интрузивный комплекс и его аналоги, а также более поздние малые интрузии (кызыкчадрский, аксугский комплексы) и ограниченно проявленные вулканиты, могут рассматриваться в качестве продуктов ранней стадии развития акреционно-коллизионного Тувинского ВПП длительного развития.

На современном эрозионном срезе интрузивные тела кызыкчадрского комплекса проявлены в виде малых интрузий, сложенных породами нескольких фаз внедрения: среднезернистыми габбро, диоритами, мелкозернистыми гранодиоритами, биотитовыми двуполевошпатовыми гранитами и, наконец, кварцевыми диоритовыми порфиритами, с которыми непосредственно ассоциирует прожилково-вкрапленное медно-молибден-порфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля. Непосредственно интрузивные взаимоотношения между телами таннуольского и кызыкчадрского комплексов не наблюдались. Однако, тела кызыкчадрского комплекса локализованы в ороговикованных осадочных и вулканогенноосадочных породах туматтайгинской свиты раннего кембрия, предположительно в провесе кровли краевой части массива таннуольского комплекса (в составе Ожинского плутона) (см. Рисунок 2.3, Рисунок 2.4), с внедрением и остыванием которого предположительно связано ороговикование.

Дальнейшее развитие каледонского Тувинского ВПП включает становление вулканоплутонических ассоциаций кислого (O₁-S₂) и субщелочного (D₁) составов. Образование этих ассоциаций связывается с собственно коллизионной стадией развития Тувинского пояса (М.И. Семенов, 2016). С учетом результатов выполненной палеотектонической интерпретации, автором составлена схематическая карта распространения магматических образований южной части Алтае-Саянского сегмента (Рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Распространение кембрийских, ордовикско-силурийских и раннедевонских магматических образований в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП (красными рамками показаны участки пространственного совмещения (сочленения) ареалов распространения магматических образований трех геотектонических стадий): а — схематическая структурно-формационная карта, б-г — карты-врезки для геотектонических стадий: б — ордовик-силур и ранний девон (коллизионная стадия развития ВПП), в — средний-поздний кембрий (аккреционно-коллизионная стадия), г — рифей-венд и ранний кембрий (островодужная стадия)

На составленной схеме видно, что позиция известных в пределах региона месторождений, относящихся к медно-молибден-порфировому рудно-формационному семейству (Ак-Суг, Сорское, Кызык-Чадр), отвечает участкам пространственного совмещения (сочленения) магматических ареалов трех геотектонических стадий: островодужных вулканических поясов (V- ε_1), аккреционно-коллизионных «батолитовых» массивов и прорывающих их локально проявленных «малых» интрузий ε_{2-3} (маркирующих проявления коллизии дуга-континент), а также более поздних вулкано-плутонических ассоциаций кислого и субщелочного состава собственно коллизионного этапа (O-D₁).

Совмещение ареалов разновременных магматических образований, по-видимому, отражает длительно сохраняющуюся магматическую активность в таких участках. Это позволяет предполагать присутствие в них еще не выявленных проявлений рудоносных «малых» интрузий, аналогичных по составу образованиям кызыкчадрского комплекса.

В контексте формирования медно-порфирового оруденения Кызыкчадрского рудного поля, история развития Алтае-Саянского сегмента ЦАОП реконструирована рядом исследователей [Буслов и др., 2013; Гордиенко, 2016; Руднев и др., 2021; Якубчук, 2017]. В схематизированной форме [Старостин и др., 2023] она выглядит следующим образом.

Развитию позднепротерозойско-палеозойского Алтае-Саянского коллажа предшествовал распад суперконтинента Родиния 720 млн. лет назад (поздний рифей), в результате чего обособились, в частности, Сибирский и Восточноевропейский кратоны, а также целая серия небольших Алай-Тарим-Северокитайских кратонных блоков [Буслов и др., 2013; Гордиенко, 2016; Руднев и др., 2021; Якубчук, 2017].

После формирования байкальских структур на периферии Сибирского кратона (600 млн. лет, начало венда) активизировался рост террейнов Хамсаринской (один из сегментов Тувинско-Монгольской) островной дуги (Рисунок 2.11).

Хамсаринская надсубдукционная дуга, формирующаяся, предположительно в краевой части одного из микроконтинентальных блоков, начинает своё движение в Палеоазиатском океаническом бассейне в сторону Сибирского кратона. В раннем палеозое в составе данной дуги присутствовали аккретированные океанические отложения, в том числе, обломки вендского симаунта и офиолиты аккреционного клина Горного Алтая, Западных Саян и запада Монголии [Гордиенко, 2016; Черных, 2021]. Параллельно с Хамсаринской дугой формируется Салаирская магматическая дуга, отделенная серией аккреционных клиньев (Рисунок 2.11).

В среднем кембрии происходит аккреция Хамсаринской островной магматической дуги к континенту и ее начальная деформация. В результате формируется магматическая дуга аккреционно-коллизионного типа и начинают внедряться гранитоидные массивы, с которыми связано формирование порфировых месторождений в среднем-позднем кембрии, в том числе, месторождения Кызык-Чадр.

Магматические образования среднего и средне-позднего кембрия рассматриваются автором в качестве продуктов ранней стадии развития Тувинского окраинно-континентального ВПП длительного развития. Эта структура включает также образования более поздних вулканоплутонических ассоциаций кислого (ордовик-силур) и субщелочного (нижний девон) составов, которые сформировались на собственно коллизионной стадии, определявшейся столкновением с Сибирским кратоном более мелких кратонных блоков (Тувинский микроконтинент).

Формирование Центрально-Азиатского орогенного суперколлажа продолжалось и в позднем палеозое, когда происходила коллизия между консолидированными блоками континентальной коры с Таримским и Северокитайским кратонами. Вероятно, наиболее интенсивная тектоническая деформация в рассматриваемой части Алтае-Саянского сегмента, в том числе в Кызыкчадрском рудном районе, относится именно к этому периоду.

В мезозое Алтае-Саянский коллаж находился в пределах суперконтинента Лавразия, вдали от континентальных окраин, и здесь преобладали платформенные обстановки.

На рассмотренных ниже геодинамических схемах, составленных для различных геологических периодов [Якубчук, 2017], автором определена позиция Кызык-Чадра и двух крупных эталонных порфировых месторождений региона — медно-порфирового Ак-Суг и молибден-порфирового Сорское. Кызык-Чадрское и Ак-Сугское месторождения локализованы в пределах фрагментов Хамсаринской магматической дуги, а Сорское относится к Салаирской дуге. Как видно из схематической палеореконструкции для раннепалеозойского этапа, крупные промышленные порфировые объекты располагались существенно ближе к границе Сибирского кратона, чем среднее по запасам Кызык-Чадрское месторождение.



Рисунок 2.11 – Палеотектоническая реконструкция расположения магматических дуг Алтае-Саянского региона на начало кембрия, ордовика и среднего девона и палеогеотектонической позиции месторождений порфирового типа в региональных структурах того времени (Yakubchuk, с изменениями 2017)

3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ЗОНАЛЬНОСТЬ РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ КЫЗЫКЧАДРСКОГО МОЛИБДЕН-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Кызыкчадрское рудное поле (Рисунок 2.3) включает штокверковое рудное тело одноименного месторождения и несколько золото-кварц-сульфидных жил и жильнопрожилковых зон, в том числе наиболее крупную из них жилу № 1. Рудные тела и минерализованные зоны вскрыты канавами и пересечены буровыми скважинами по серии профилей.

Краткая характеристика геологического строения и вещественного состава руд участка «Жила № 1»

Жила № 1 с рудами золото-сульфидно-кварцевого типа была первым выявленным объектом рудного поля, неоднократно разведывалась, частично отработана [Уссар, 1978]. Она приурочена к крупному разрывному нарушению, ограничивающему тектоническую линзу катаклазированных гранитоидов кызыкчадрского комплекса, заключенную в алевросланцевой толще. Жила содержит богатые золото-халькопирит-борнитовые руды (с содержаниями золота до 150 г/т и меди до 20%), однако имеет небольшие размеры (170х95х0,1–4,5 м) и запасы — 311,6 кг золота (С_{ср} Au 8,2 г/т), 1400 т меди (С_{ср} Cu 4,6%) [Варанд, 1954] (Рисунок 3.1).

Участок сложен преимущественно мелкозернистыми диоритами и среднезернистыми гранодиоритами, прорванными дайками кварцевых диорит-порфиритов. Все породы интенсивно метасоматически преобразованы с развитием изменений преимущественно пропилитового, реже филлизитового типов (серицит, альбит, кварц, хлорит). Плагиоклаз интенсивно замещен серицитом и/или альбитом. Темноцветные минералы (роговая обманка и биотит) полностью замещены хлоритом, в меньшей степени серицитом, лейкоксеном, эпидотом. Кварц образует вкрапленность и гнездовые срастания размером до 7 мм; он обрастает, корродирует зерна плагиоклаза.

Локально развиты зоны тектонических брекчий с кварц-хлоритовым цементом: относительно крупные обломки кварца остроугольной формы размером 1–6 мм цементируются мелкими (0,02–1 мм) обломками кварца с хлоритовым цементом пленочного типа, доля которого в объеме породы составляет около 3–5 %.



Рисунок 3.1. Участок «Жила №1» с рудами жильного и жильно-прожилкового золото-сульфидно-кварцевого типа: а — схематическая карта участка, б — поверхность и проекции подземных горных выработок, в — геологический разрез по линии II–II. Составлено по материалам Варанд, 1954ф с изменениями

Меднорудная минерализация участка «Жила № 1», кроме собственно кварцевой жилы, развита также в виде вкрапленности и маломощных прожилков в измененных породах кызыкчадрского комплекса (гранитах, кварцевых диоритах).

Прожилково-вкрапленные первичные руды образуют линейную минерализованную зону (рудное тело) мощностью около 10 м, прослеженное на 100 м в северо-западном направлении (Рисунок 3.1). Руды представлены борнитом (скв. С-917, С-918), содержания которого в аншлифах составляют 5–7%, достигая в отдельных участках 20%. В борните отмечаются редкие микровключения самородного золота округлой формы размером 0,005 мм (Рисунок 3.2).

Главным рудным минералом прожилково-вкрапленных руд является борнит, второстепенными — халькозин, халькопирит, пирит, самородное золото, гематит. Гипергенные минералы представлены халькозином, ковеллином, дигенитом, малахитом, азуритом, хризоколлой, купритом, самородной медью.

В зоне окисления медной минерализации широко развиты прожилки и примазки малахита и гидроксидов железа (Рисунок 3.3). Ниже по разрезу развиты гипергенные халькозин, в меньшей степени дигенит, ковеллин. Халькозин (до 2–3%) образует срастания с борнитом, развиваясь в его краевых частях, замещает борнит в виде каемок и микропрожилков, иногда в срастании с небольшим количеством халькопирита (Рисунок 3.4).



Рисунок 3.2. Вкрапленная борнитовая минерализация в жильном кварце. Борнит (розовое) замещается гипергенными халькозином, дигенитом и ковеллином (серо-голубое), развитыми в виде микропрожилков и кайм. Ярко-желтое - микровключение самородного золота. Участок «Жила № 1». Аншлиф КЧ-С917-53,1

Кварцевая «Жила № 1» прослежена канавами, штольнями и буровыми скважинами в субширотном направлении на 170 м и на глубину около 100 м при средней мощности 0,3–

0,8 м, с раздувами и пержимами [Уссар, 1978]. Жила сложена молочно-белым брекчированным кварцем; из жильных минералов кроме кварца присутствует хлорит.



Рисунок 3.3. Прожилок малахита (темно-серое) и вкрапленность лейкоксена (светло-серое) (а) и их внутренние рефлексы (б) в жильном кварце. Участок «Жила №1». Аншлиф КЧ-С917-53,1.



Рисунок 3.4. Срастания борнита (розовое) и халькопирита (желтое) в жильном кварце. Сульфиды замещаются срастаниями гипергенных халькозина, дигенита и ковеллина (серое), развитых в виде микропрожилков и кайм. Участок «Жила №1». Аншлиф КЧ-ЖЗ

Обломки жильного кварца сцементированы преимущественно борнитом, количество которого местами достигает 60%, иногда отмечается его срастание с халькопиритом (Рисунок 3.4). Борнит из цемента брекчированной кварцевой жилы имеет однородное строение, структур распада твердого раствора не наблюдается, что может говорить о невысокой температуре его образования.

Самородное золото образует вкрапленность в кварце, борните (Рисунок 3.26), пирите (Рисунок 3.5), гидроксидах железа, развитых преимущественно по пириту. Тонкодисперсные (0,005 мм) интерстиционные, мелкие (0,01–0,03 мм) кристаллические и дендритовидные выделения высокопробного самородного золота приурочены к

идиоморфным выделениям пирита (практически всегда замещенного гидроокислами железа).



Рисунок 3.5. Микровключение самородного золота (ярко-желтое) в пирите (белое) в кварцсульфидной жиле. Желтое – халькопирит, серое – рутил. Участок «Жила №1». (Аншлиф КЧ-С910-28,6).

В зоне окисления сульфиды в объеме кварцевой жилы частично или полностью замещены гипергенными минералами — халькозином, дигенитом, ковеллином, малахитом, азуритом, хризоколлой, купритом. Текстура руд брекчиевая, при развитии гипергенных минералов развиты каемочная, прожилковая, сетчатая микротекстуры.

По данным анализов, выполненных в аналитическом центре АО «Сибирское ПГО» по штуфным пробам, отобранным автором в ходе полевого сезона, содержания золота в «Жиле № 1» составляют от 10 до >20 г/т, серебра от 2,28 до 10 г/т, присутствуют повышенные содержания теллура 2,88–8,44 г/т.

Характеристика геологического строения, вещественного состава и зональности рудно-метасоматических образований месторождения Кызык-Чадр

Основным объектом рудного поля, определяющим его экономическое значение, является медно-порфировое рудопроявление (потенциальное месторождение) Кызык-Чадр — крупнообъемный кварц-сульфидный штокверк с золотосодержащими молибденмедными рудами. Размеры штокверкового рудного тела составляют около 2350 м по простиранию, 175–250 м по мощности, и прослежены до глубины 500 метров при средних содержаниях меди 0,34 %, молибдена 0,015 %, золота 0,156 г/т (Рисунок 3.6).



1 — туматтайгинская свита (C1tt): метаморфизованные вулканогенно-осадочные отложения, нерасчлененные, ороговикованные; кызыкчадрский габбро-диорит-гранодиорит-гранитный комплекс (C2-3kz): 2 — среднезернистые граниты, кварцевые диориты, мелко-среднезернистые гранодиориты, нерасчлененные; 3 — кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры, нерасчлененные «порфировый интрузив», образованный сближенными телами порфировых пород различного состава; 4 — брекчии; 5 — разрывные нарушения; 6 — зоны развития интенсивных гидротермально-метасоматических изменений и сульфидной минерализации; 7 — кварцевая жила (вне масштаба); 8 — контур меднорудного тела по С борт Cu 0,2%; 9 — контур распространения медной минерализации по содержанию Cu 0,05%; 10 — буровые скважины: а — пройденные в 2017–2019 гг. [Бабкин, 2017], 6 — пройденные в 1976–1977 гг. [Уссар, 1978]

Рисунок 3.6. Схема геологического строения месторождения Кызык-Чадр.

Комплексная геолого-минералогическая характеристика месторождения Кызык-Чадр может быть представлена на основе сопоставления основных черт его геологического строения, состава руд, рудовмещающих пород и метасоматитов; а также минералогической зональности рудно-метасоматических образований с моделями медно-порфировой системы, развивамыми зарубежными [Mihalasky, 2010] и отечественными [Кривцов, Мигачев, Попов, 1986] исследователями, в первую очередь с классической моделью, разработанной А.И. Кривцовым с коллегами [Кривцов, 1983; Кривцов, Звездов, Мигачев, Минина, 2001]. Такая модель, как известно, включает совокупность взаимосвязанных элементов рудовмещающего И околорудного пространства медно-порфирового месторождения. Это интрузивная рама; интрузивный массив, сложенный фанеритовыми фазами пород рудоносного магматического комплекса; «порфировый интрузив»; тела брекчий: зональный относительно порфирового эксплозивных интрузива ореол гидротермально-метасоматических изменений; штокверковые рудные тела, сложенные комплексом рудных минеральных ассоциаций; «пиритовый ореол»; сопутствующая жильная минерализация.

Как будет показано далее, для Кызык-Чадра установлены все перечисленные необходимые элементы типовой медно-порфровой системы с теми или иными варианциями, определяемыми специфическими условиями его формирования.

Основные элементы медно-порфировой системы Кызык-Чадрского месторождения отражены на обобщенной модели его геологического строения в вертикальном сечении, составленной на основе серии поперечных геологических разрезов по буровым линиям с разными уровнями эрозионного среза минерализованной зоны (Рисунок 3.7). Далее приводится их краткая характеристика.

Интрузивная рама месторождения Кызык-Чадр представлена породами дорудных («подстилающих») геологических формаций, распространенных в пределах Кызыкчадрского рудного поля и его ближнего окружения. К ним относятся орговикованные породы туматтайгинской свиты раннего кембрия, включающие алевросланцы и кварцито-песчаники терригенной флишоидно-сланцевой формации и зеленокаменно измененные вулканиты базальт-андезитобазальтовой вулканогенноформаций, а также прорывающие их среднезернистые карбонатно-терригенной плагиогранитоиды диорит-тоналит-плагиогранитовой плутоногенной формации среднего кембрия (таннуольский интрузивный комплекс С2), слагающие основной объем полиформационного Ожинского массива. В современном эрозионном срезе породы туматтайгинской свиты слагают провес кровли в краевой части массива таннуольского интрузивного комплекса в участке пересечения разноориентированных разрывных нарушений, выполняя грабеноподобную структуру, прорванную гранитоидами рудоносного кызыкчадрского комплкеса (€2-3) габбро-диорит-гранодиорит-гранитной формации (Рисунок 2.3, Рисунок 2.4).

Интрузивный массив, сложенный фанеритовыми фазами кызыкчадрского рудоносного комплекса. Массив представляет собой полифазную интрузию кызыкчадрского комплекса ($C_{2\cdot3}$) габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации. Имеет линзовидную, выпуклую на север и вытянутую в субширотном направлении форму с размерами в плане 12,5×3 км. В составе массива на современном уровне эрозионного среза преобладают кислые дифференциаты главных фаз комплекса (граниты, в меньшей степени гранодиориты). В строении массива отмечаются признаки зонального распространения дифференциатов главных фаз: тело преобладающих в составе интрузии гранитов обрамляется мозаично распределенными на флангах телами неравномернозернистых и порфировидных гранодиоритов, монцодиоритов, диоритов и кварцевых диоритов, габбродиоритов и габбро. Фанеритовые, хорошо раскристаллизованные гранитоиды прорываются телами порфировых фаз рудноносного комплекса, образующими «порфировый интрузив», непосредственно обрамляя последний в объеме Кызыкчадрского рудного поля.



1 — рудоносный порфировый интрузив: кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры; 2 — граниты среднезернистые, часто катаклазированные; 3 — кварцевые диориты, гранодиориты среднезернистые; 4 — дайки: андезит-порфиритов (а); долеритов, базальтовых-порфиритов (б); 5 — брекчии; 6 — разрывные нарушения (а), зоны трещиноватости и катаклаза с интенсивными кварц-карбонатными изменениями (б); 7 — границы генерализованных зон гидротермально-метасоматических изменений с индексами (К — калиевая, Р₁ — внутрення пропилитовая, F — филизитовая, Р₂ — внешняя пропилитовая); 8 — контур меднорудного тела по С борт Cu 0,2%; 9 — контур распространения медной минерализации по С борт Cu 0,05%; 10 — скважины АС «Сибирское ПГО» 2017–2019 гг. и их глубина, м

Рисунок 3.7. Обобщенная модель геологического строения месторождения Кызык-Чадр в вертикальном сечении, сформированная в результате сопоставления геологических разрезов по линиям поискового бурения с разными уровнями эрозионного среза

Рудоносный «порфировый интрузив» месторождения Кызык-Чадр образован сближенными в пространстве пластинообразными и дайкообразными телами порфировых пород различного состава (преимущественно гранодиорит- и гранит-порфирами). Имеет неправильные очертания с извилистыми границами, часто смещенными по поперечным малоамплитудным нарушениям; удлиненную в западно-северо-западном направлении форму, протяженностью около 2500 м при ширине 50–500 м, крутое падение в северных румбах. Интрузив вытянут согласно простиранию основных дизьюнктивных нарушений, представленных зонами дробления с крутым (субвертикальным) падением.

Порфировый интрузив месторождения Кызык-Чадр сложен несколькими петрографическими разновидностями (генерациями) пород порфировой структуры: кварцевыми диорит-порфиритами, гранодиорит-порфирами, «кварцевыми порфирами» гранит-порфирового состава, которые интенсивно дислоцированы, что затрудняет их расчленение.

Выраженная линейная морфология и сложное строение порфирового интрузива объясняются его приуроченностью к крутопадающим разрывным нарушениям в пределах долгоживущей разломной зоны, смещения по которой неоднократно возобновлялись в аккреционно-коллизионной обстановке.

Тела эксплозивных брекчий вскрыты бурением в наименее эродированной восточной части рудоносной зоны месторождения Кызык-Чадр (скв. 909). Брекчии сложены угловатыми обломками измененных интрузивных пород. Маломощные брекчиевые тела приурочены к экзоконтактам порфирового интрузива в апикальной части последнего.

Гидротермально-метасоматические изменения месторождения Кызык-Чадр

Все породы в пределах месторождения Кызык-Чадр интенсивно гидротермально изменены. Главными минералами ореола гидротермально-метасоматических изменений месторождения Кызык-Чадр являются кварц, серицит, хлорит, альбит, карбонат, калишпат, мусковит, эпидот; второстепенными — калишпат, эпидот, мусковит; очень редко встречается вторичный биорит, устанавливаемый по реликтам хлорита и лейкоксена. Прожилковая минерализация, являющаяся неотъемлемой составляющей метасоматического ореола месторождения, также представлена преимущественно кварцем, хлоритом, альбитом, карбонатом (кальцитом), серицитом.

По результатам выполненного минералого-петрографического изучения шлифов установлены устойчивые минеральные ассоциации метасоматических минералов, отвечающие следующим характерным для медно-порфировых месторождений [Гирфанов, 1993; Кривцов, Мигачев, Минина, 1985; Кривцов, 2007; Mihalasky, 2010; Sillitoe, 2010] типам гидротермально-метасоматических изменений: калиевые (калишпат, кварц, хлорит, единичный биотит); филлизитовые (серицит, кварц, хлорит, спорадически присутствующие кальцит, альбит); пропилитовые (хлорит, эпидот, альбит, кальцит) (Таблица 3.1).
Таблица 3.1

Тип ГМИ	Минералы ГМИ		
	Типоморфные минералы	Минералы месторождения Кызык- Чадр	
	типовых месторождений		
	[Кривцов, Мигачев, Попов,	Главные	Воростепенные и
	1986; Mihalasky, 2010]		редкие
Калиевый	Калишпат	Калишпат	(Биотит)
(Potassic)	Кварц	Кварц	Хлорит?
	Биотит		
Филлизитовый	Серицит	Серицит	Кальцит
(Phyllic)	Кварц	Кварц	Альбит
	Хлорит	Хлорит	
Пропилитовый	Эпидот	Хлорит	Эпидот
(Propilitic)	Хлорит	Кальцит	Серицит
	Карбонат	Альбит	
	Альбит		

Состав гидротермально-метасоматических изменений (ГМИ) месторождения Кызык-Чадр

Различные типы гидротермально-метасоматических изменений в пределах метасоматического ореола месторождения Кызык-Чадр пространственно совмещаются (телескопируются) с частичным или полным замещением минералов ранних гидротермальных минеральных ассоциаций поздними. При этом области распространения ранних минеральных ассоциаций реконструируются по реликтам характерных для них минералов, как это было ранее показано для многочисленных типовых медно-порфировых месторождений [Гирфанов, 1993; Кривцов, Мигачев, Попов, 1986; Mihalasky, 2010].

<u>Калиевые изменения</u> являются наиболее ранними для типовых медно-порфировых месторождений. Они проявляются в калишпатизации и окварцевании гранитов и гранодиоритов, биотитизации темноцветных минералов. Данные изменения зачастую замещены более поздними и диагностируются по реликтам.

На месторождении Кызык-Чадр калиевые изменения развиты в центральной (осевой) части месторождения зоне распространения наиболее богатых медно-порфировых руд (скважины 902, 908, 910, канава 511). Вторичные кварц и калишпат образуют неравномернозернистые срастания, замещающие граниты в виде вкрапленности, зонок, гнезд размером от первых миллиметров до первых сантиметров. Они также формируют штокверк калишпат-кварцевых, кварцевых, иногда с хлоритом, прожилков мощностью от первых миллиметров до первых сантиметров, содержащие гнезда халькопирита, очень редко — халькопирита и пирита. Породы, подвергшиеся калиевым изменениям, имеют ярко-розовый цвет. На калиевые изменения повсеместно наложены изменения филлизитового или пропилитового типов, калишпат зачастую замещен шахматным

альбитом (Рисунок 3.8). В пределах слабо измененных поздними процессами участков калиевой зоны иногда сохраняется магнетит, свойственный изменениям данного типа.



Рисунок 3.8. Изменения калиевого типа с наложенными изменениями пропилитового типа: а – прожилок шахматного альбита по калишпату в граните; б – шахматный альбит частично замещает выделение калишпата с образованием псевдоморфозы. Месторождение Кызык-Чадр. Фото шлифов (проходящий свет; ник. +)

В кварцевых диорит-порфиритах (скважина 902) калиевые изменения представлены замещением роговой обманки агрегатными псевдоморфозами метасоматического мелкочешуйчатого хлорита. В отдельных случаях можно предположить, что такой хлорит замещает агрегаты более раннего вторичного биотита, диагностируемого только по наличию лейкоксенового агрегата по спайности. В отличие от типичных меднопорфировых месторождений, вторичный биотит, характерный для изменений этого типа, установлен на месторождении Кызык-Чадр лишь в единичных случаях в виде хлоритизированных реликтов.

<u>Филлизитовые изменения</u> (Рисунок 3.9, Рисунок 3.8) являются ведущим типом метасоматических изменений Кызык-Чадра. Размеры ореола развития филлизитовых изменений на поверхности рудного поля составляют около 4000×700 м. Изменения выражены интенсивно проявленными серицитизацией, окарцеванием и хлоритизацией; иногда развиты карбонатизация (кальцит) и альбитизация. При этом плагиоклаз замещается агрегатными псевдоморфозами серицита, альбита, иногда кальцита; темноцветные минералы — кварцем, хлоритом, серицитом или мусковитом; калишпат — шахматным альбитом и кальцитом. Филлизиты сопровождаются штокверком кварцевых и карбонат-кварцевых прожилков и маломощных жил.



Рисунок 3.9. Изменения филлизитового типа: а – вкрапленник роговой обманки замещен псевдоморфозой хлорита, основная масса - серицитом, в меньшей степени карбонатом, кварцем; б – серицитизация и окварцевание в граните; в – полное замещение порфирового выделения плагиоклаза агрегатной псевдоморфозой серицита; г серицит-кварцевый метасоматит по граниту; д – серицит-кварцевый метасоматит по граниту, бластокластическая структура; е – серицитизация и окварцевание по кварцевому диорит-порфириту. Месторождение Кызык-Чадр. Фото шлифов (проходящий свет; ник. +)

Развиваются филлизиты преимущественно по среднезернистым гранитам, а в пределах осевой части месторождения — по телам кварцевых диорит-порфиров и

гранодиорит-порфиров. Наиболее интенсивно изменены породы, которые подверглись существенной тектонической проработке — катаклазу, брекчированию, милонитизации.Часто они представляют собой сланцеватые породы, в которых распространены порфирокласты кварца, реликтовые гнезда, линзы серицита и карбоната, заместивших плагиоклаз, иногда — хлорита. Расположенные на флангах месторождения тела гранодиоритов, кварцевых диоритов и монцонитоидов кызыкчадрского комплекса слабо затронуты этими изменениями.

Как уже было отмечено, филлизиты накладываются по системе разнопорядковых трещин на более ранние калиевые изменения, зачастую полностью их замещая. Степень окварцевания, серицитизации и карбонатизации возрастает с приближением к крупным «осевым» трещинным структурам (малоамплитудным тектоническим нарушениям), маркируемыми зонами интенсивно проявленных изменений этого типа.

Широкое развитие филлизитовых изменений на месторождении Кызык-Чадр, как и редуцированное развитие калиевых изменений, является характерной особенностью рассматриваемого объекта.

На глубоких уровнях степень серицитизации в изменениях этого типа значительно снижается, преобладают окварцевание и хлоритизация, усиливается альбитизация, и они постепенно переходят в пропилитоподобные образования существенно кварц-альбитхлоритового состава.

Часто они представляют собой сланцеватые породы, в которых распространены порфирокласты кварца, реликтовые гнезда, линзы серицита и карбоната, заместивших плагиоклаз, иногда — хлорита.

К филлизитовым изменениям приурочен основной объем сульфидной минерализации месторождения и его флангов. Медная (халькопиритовая) минерализация тяготеет к осевой части филлизитового ореола, где формирует собственно меднорудную зону, пирит распространен в пределах всего обширного ореола этих изменений, молибденит распространен в небольших количествах как в пределах меднорудной зоны, так и на флангах филлизитового ореола. Сульфидная минерализация в филлизитах представлена как вкрапленной (мелкой, до пылевидной), прожилковой и гнездовой (преимущественно в кварцевых и карбонат-кварцевых прожилках и маломощных жилах) формами.

<u>Пропилитовые изменения (Рисунок 3.10, Рисунок 3.11)</u> на месторождении Кызык-Чадр представлены типичной для таких изменений минеральной ассоциацией: хлорит, минералы эпидот-цоизитового ряда, альбит, иногда в подчиненных количествах кальцит, кварц, серицит. Собственно пропилитовые изменения развиты на периферии месторождения.



Рисунок 3.10. Изменения пропилитового типа. Эпидот и хлорит развиты по вкрапленникам темноцветных минералов и основной массе диорит-порфиритов. Месторождение Кызык-Чадр. Шлиф С904-147 (проходящий свет, ник.+)

С удалением от рудоносной зоны пропилиты переходят в зону слабых гидротермальных изменений, трудно отличимых от продуктов регионального метаморфизма (Рисунок 3.11).



Рисунок 3.11. Диорит-порфирит слабо пропилитизированный (эпидот, хлорит, серицит). Месторождение Кызык-Чадр. Шлиф С904-150. (проходящий свет; а — ник. II; б — ник.+)

Рудная минерализация месторождения Кызык-Чадр

Оруденение месторождения Кызык-Чадр представлено прожилково-вкрапленными кварц-сульфидными рудами, образующими крупнообъемное штокверковое рудное тело. Границы штокверкового рудного тела выделяются только по данным опробования. Руды месторождения имеют комплексный медно-молибденовый с золотом состав при

сравнительно невысоких средних содержаниях меди (десятые доли процента) и молибдена (тысячные-сотые доли процента). Вариации содержаний главных рудных компонентов: Cu 0,05–0,5%, редко до 1–2,6%; Mo 0,005–0,02%, редко до 0,08%; Au 0,0n–0,n г/т, редко до 1–2 г/т. Основные попутные компоненты — молибден и золото значительно повышают общую ценность руд. Попутные компоненты 2-й группы — серебро, попутные компоненты 3 группы — Re и Se (не оценены).

В составе зоны гипергенеза над рудным телом выделяется зона выщелачивания мощностью 10–20 м (с уменьшением содержаний Си в 2–3 раза), невыдержанная, распространяющаяся на глубину от 0 м в плотных окварцованных участках до 100 м вдоль разрывных нарушений. Зона окисления развита до глубины 40–100 м, также невыдержанная с преобладанием полуокисленных руд. Зона вторичного сульфидного обогащения проявлена фрагментарно.

<u>Минеральный состав первичных руд</u> достаточно простой. Главные минералы — пирит (среднее содержание составляет 4,5%) и халькопирит (среднее содержание 1,5%); второстепенные — молибденит, галенит, блеклая руда и магнетит присутствуют в небольших количествах. К редким относятся арсенопирит, самородное золото.

Ассоциации Минералы	Пиритовая	Халькопиритовая	Пирит- халькопирит- молибденитовая	Полисульфидная (борнит-блеклорудно- галенит-сфалеритовая)	Гипергенная
Пирит					
Магнетит	•				
Халькопирит					9
Молибденит					
Борнит					
Блеклая руда					
Арсенопирит					9
Сфалерит					
Галенит					
Золото		1			
Ковеллин					
Халькозин					

Схема последовательности минералообразования

Рисунок 3.12. Схема последовательности минералообразования месторождения Кызык-Чадр

Пирит является наиболее распространенным рудным минералом месторождения и его периферии. Даже в пределах меднорудной зоны месторождения количество пирита зачастую превышает количество халькопирита. Пирит образует вкрапленность, гнезда, линзы, шлиры, прожилки совместно с кварцем, кальцитом, хлоритом в различных соотношениях (Рисунок 3.13). Количество пирита варьирует от долей до 5–7 %.



Рисунок 3.13. Выделения пирита (белое) в рудах месторождения Кызык-Чадр: а – обильная вкрапленность пирита; б – ситовидная структура пирита за счет многочисленных включений жильных минералов. Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифов.

Халькопирит — основной медный минерал медно-порфировых руд месторождения, образует вкрапленность, микропросечки (в том числе в пирите), гнезда в прожилках кварцевого, карбонат-кварцевого, кварц-калишпатового состава. Халькопирит иногда содержит включения галенита и пирита; в виде микропрожилков в пирите ассоциирует с блеклой рудой. Содержание халькопирита в метасоматитах редко превышает 1,5 %, с чем связано общее низкое содержание меди в руде (Рисунок 3.14).

Молибденит редко образует значительные скопления. В основном это микрочешуйчатые выделения. Изредка молибденит представлен видимой вкрапленностью и гнездами в прожилках кварца, примазками по тектоническим трещинам (Рисунок 3.15). Значительных скоплений не образует.

Самородное золото — один из важнейших попутных компонентов медно-порфировых руд, существенно повышающий их ценность. В рудах месторождения Кызык-Чадр золото преимущественно образует мелкие (от 1–5 мкм) включения в пирите, халькопирите и борните. Отмечаются микровключения в пирите и в микропрожилках халькопирита, пересекающих выделения пирита (Рисунок 3.16, Рисунок 3.17, Рисунок 3.18). В рудных и нерудных минералах месторождения присутствуют также более крупные обособления золота размерами до 0,1–0,2 мм.



Рисунок 3.14. Выделения халькопирита (желтое) в рудах месторождения Кызык-Чадр (белое — пирит, серое — блеклая руда): а – халькопирит обрастает зерна более раннего пирита; б – микропойкилитовая структура за счет включений в халькопирите; в – халькопирит в срастании с блеклой рудой корродирует пирит; г – срастание халькопирита и блеклой руды. Фото аншлифов.



Рисунок 3.15. Чешуйчатые выделения молибденита. Серое — молибденит, желтое — халькопирит, белое — пирит. Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифов.



Рисунок 3.16. Выделения самородного золота (ярко-желтое) в просечке халькопирита (желтое), пересекающей пирит (белое). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.



Рисунок 3.17. Выделения самородного золота в микропрожилке халькопирита, пересекающем пирит. Месторождение Кызык-Чадр. Крупное зерно пирита (белое) подроблено и пересекается прожилками халькопирита (желтое) с микровключениями самородного золота (ярко-желтое). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.



Рисунок 3.18. Выделения самородного золота в гнезде пирит-халькопиритового состава. Месторождение Кызык-Чадр. Аншлиф С-904-125. Серия последовательных увеличений.

Кроме основных рудных минералов, в меднорудной зоне и на ее периферии установлены редко встречающиеся магнетит, борнит, блеклая руда, галенит, сфалерит, арсенопирит, рутил. *Магнетит* фиксируется в осевых частях рудной зоны, образует неравномерно распределенную вкрапленность (Рисунок 3.19), иногда неравномерно замещен гематитом. *Борнит* представлен вкрапленностью наряду с халькопиритом и пиритом и отмечен только в верхних частях минерализованной зоны; предположительно имеет гипогенное происхождение (Рисунок 3.20).



Рисунок 3.19. Выделения магнетита (серое) в рудах месторождения Кызык-Чадр (желтоехалькопирит, белое — пирит, светло-серое - гематит): а – гнездовое скопление магнетита, частично замещенного гематитом; б – включения магнетита в пирите. Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.



Рисунок 3.20. Вкрапленность борнита (розовое) в рудах месторождения Кызык-Чадр (желтое — халькопирит, белое — пирит). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.

Блеклая руда теннантит-тетраэдритового ряда образует срастания с халькопиритом в микропрожилках (Рисунок 3.21). *Галенит и сфалерит* присутствуют в виде вкрапленности и сростков в прожилках кварца и гнездах окварцевания (Рисунок 3.22).



Рисунок 3.21. Срастание блеклой руды (серое) с халькопиритом (желтое) и рутилом (темно-серое). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.



Рисунок 3.22. Выделения галенита (серое) в минеральных агрегатах (белое – пирит, желтое - халькопирит): а – выделение галенита с треугольниками выкрашивания; б – галенит обрастает и корродирует выделения пирита; в – микропрожилки галенита и халькопирита пересекают раздробленное зерно пирита. Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифов.

Арсенопирит образует вкрапленность идиоморфных кристаллов (Рисунок 3.23), пересекается тонкими микропрожилками халькопирита в срастании с блеклой рудой. *Рутил*

формирует тонкую вкрапленность, прожилковидные и гнездовые мелкозернистые скопления, часто пространственно ассоциирует с халькопиритом.



Рисунок 3.23. Кристаллы арсенопирита (белое) (желтые микровыделения – халькопирит). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.

<u>Гипергенные рудные минералы</u>

В приповерхностных условиях в верхней части минерализованной зоны неравномерно развита *зона окисления и вторичного сульфидного обогащения* переменной мощности. Степень преобразования первичных рудных минералов в основном умеренная.

В зоне гипергенеза часто развиты вторичные сульфиды меди — ковеллин, дигенит халькозин, которые частично или полностью замещают первичные сульфиды меди, часто с образованием прожилков и каемок (Рисунок 3.24). Иногда наблюдается полное замещение первичных сульфидов меди вторичными, при этом пирит и молибденит сохраняются и могут быть не затронуты окислением (Рисунок 3.25). Часто вторичные сульфиды меди образуют тонкие («сажистые») агрегаты (Рисунок 3.25, Рисунок 3.26, Рисунок 3.27).

Халькозин, дигенит, ковеллин и куприт замещают халькопирит в виде тонких прожилков и кайм (Рисунок 3.27). Локально развиты дендриты и прожилки самородной меди. Малахит, хризоколла, в меньшей степени азурит, образуют примазки. Гидроксиды железа замещают сульфиды, главным образом, пирит и халькопирит. Локально развиты дендриты и прожилки самородной меди.



Рисунок 3.24. Гнездовое скопление тонкозернистого агрегата ковеллина (синее). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.



Рисунок 3.25. Сульфиды меди полностью замещены ковеллином (синее), пирит (белое) не затронут гипергенными изменениями (фото аншлифа). Ковеллин окаймляет каверны, образовавшиеся при изготовлении аншлифа, заполненные эпоксидной смолой (серое, без рельефа). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.



Рисунок 3.26. Халькопирит частично замещен ковеллином (синее), пирит (белое) не затронут гипергенными изменениями. Ковеллин окаймляет каверны, образовавшиеся при изготовлении аншлифа, заполненные эпоксидной смолой (серое, без рельефа). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа).



Рисунок 3.27.Халькопирит (желтое) частично замещен тонкой («сажистой») смесью ковеллина(синий) и дигенита (серый). Вторичные сульфиды были частично вымыты при изготовлении аншлифа. Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.

Проведенные в ФГБУ «ЦНИГРИ» изотопные исследования руд месторождения Кызык-Чадр показали, что они характеризуются повышенным содержанием тяжелого изотопа серы сульфидов. При этом отчетливо выражена изотопно-геохимическая зональность, заключающаяся в закономерном снижении показателя δ^{34} S пирита и халькопирита от рудных тел к «пиритовому» ореолу с +4‰ до +0,5‰ и, соответственно, практически прямая зависимость показателя δ^{34} S от содержания меди в рудах.

Структуры и текстуры руд месторождения Кызык-Чадр

Текстуры руд вкрапленные, прожилково-вкрапленные, прожилковые, полосчатые (Рисунок 3.28).



Рисунок 3.28. Текстуры руд месторождения Кызык-Чадр: а) вкрапленная, б) прожилкововкрапленная. Месторождение Кызык-Чадр. Керн буровых скважин.

Структуры руд неравномернозернистые, гипидиоморфнозернистые, реже аллотриоморфнозернистые; микроструктуры — ситовидные, микропойкилитовые, разъедания, нитевидные, каемчатые, реликтовые (Рисунок 3.29).

Для руд месторождения Кызык-Чадр весьма характерны деформационные микротекстуры – дробления, катаклаза (Рис. 3.30). Это свидетельствует о формировании оруденения в условиях интенсивных тектонических дислокаций.

Установленные текстурные и структурные характеристики руд свидетельствуют о длительной и сложной истории формирования месторождения Кызык-Чадр, что характепрно для месторождений медно-порфирового типа [Кривцов, Мигачев, Минина, 1985; Кривцов, Звездов, Мигачев, Минина, 2001; Гирфанов, 1989].



Рисунок 3.29. Структуры руд месторождения Кызык-Чадр: а) гипидиоморфнозернистая (обрастание выделениями халькопирита субгедральных зерен пирита); б) ситовидная (включения нерудных минералов в зернах халькопирита); в) разъедания (коррозия зерен раннего пирита); г) микропойкилитовая (включения микрозерен халькопирита в зернах пирита). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.

Рудные минеральные ассоциации месторождения Кызык-Чадр

На основании наблюдаемых минеральных соотношений и положения агрегатов в объеме рудно-магматической системы, а также по аналогии с известными месторождениями медно-порфирового типа [Кривцов, Мигачев, Попов, 1986; «Комплексные модели месторождений порфирового типа цветных и благородных металлов», 1995], рудные минералы месторождения Кызык-Чадр объединены в следующие рудные минеральные ассоциации (от ранних к поздним): магнетитовая (реликтовая), халькопиритовая, молибденитовая, пирит-халькопиритовая, пиритовая, полисульфидная (галенит-сфалеритовая, блеклорудная), полностью соответствующие выделяемым на типовых медно-порфировых объектах [Кривцов, Мигачев, Минина, 1985; Кривцов, Звездов, Мигачев, Минина, 2001].



Рис. 3.30. Деформационные микротекстуры руд месторождения Кызык-Чадр: а – дробления (брекчированные выделения пирита (белый)), б-г – катаклаза (пирит пересекается разноориентированными микропрожилками халькопирита (желтый), блеклой руды (серый), выполняющими микротрещины катаклаза различной интенсивности). Месторождение Кызык-Чадр. Фото аншлифа.

В составе рудной зоны месторождения Кызык-Чадр выделены следующие рудные минеральные ассоциации (от ранних к поздним).

Магнетитовая минеральная ассоциация: представлена магнетитом, который на месторождении распространен ограниченно, преимущественно в виде редких микровключений в пирите, фиксирующихся обычно вблизи границы области распространения халькопиритовой ассоциации. Вероятно, эти выделения являются реликтами и могут свидетельствовать об интенсивном замещении рудно-метасоматических образований ранней стадии поздними.

Халькопиритовая: представлена халькопиритом, отличается практически полным отсутствием пирита (единичные выделения). Данная ассоциация выявлена во внутренних частях минерализованного ореола месторождения, но, как правило, характеризуется относительно невысокими содержаниями меди. Может быть сопоставлена с магнетитборнит-халькопиритовой ассоциацией крупных типовых медно-порфировых месторождений, однако, на месторождении Кызык-Чадр магнетит и борнит в ее составе практически не отмечаются (возможно, они замещены или разложены на поздних стадиях минералообразования).

Молибденитовая: выделена и оконтурена по наличию молибденитовой минерализации; ее контур отвечает содержаниям Mo>0,005 %, т.е. промышленно извлекаемым концентрациям молибдена; обнаруживает видимую корреляцию с основной меднорудной пирит-халькопиритовой ассоциацией.

Пирит-халькопиритовая: сложена пиритом и халькопиритом с широкими вариациями их соотношений, контур ее распространения отвечает содержаниям меди >0,05 %. Повсеместно содержит примесь молибденита (содержания Мо более 0,005 %,); вероятно, образует с молибденитовой ассоциацией единый пирит-халькопиритмолибденитовый минеральный комплекс (тип руд), в аншлифах стабильно присутствуют выделения халькопирита).

Пиритовая: представлена пиритом, слагает «пиритовый ореол» во внешних частях филлизитовой зоны и во внешней пропилитовой зоне.

Галенит-сфалеритовая (полисульфидная): представлена сфалеритом, галенитом, выделяется по повышенным (0,05–0,1 % и более) содержаниям этих элементов. Также в ассоциацию могут входить пирит, халькопирит, блеклые руды, золото. Как правило, сопровождает кварц-карбонатную прожилковую минерализацию.

Блеклорудная (медно-сурьмяно-мышьяковистая): представлена блеклыми рудами теннантит-тетраэдритового ряда, ассоциирующими с пиритом, борнитом, халькопиритом. Развита локально, в зонах малоамплитудных разрывных нарушений; часто ассоциирует с полисульфидной ассоциацией, с которой, вероятно, образует единый полиметаллический минеральный комплекс.

Золоторудная минерализация на месторождении развита неравномерно. Максимумы ее в значительной степени контролируются тектоническими нарушениям, в связи с чем часто совпадают с проявлениями полисульфидной и мышьяковистой минерализации. В то же время, во многих случаях отмечается сочетание повышенных содержаний золота с основными продуктивными пирит-халькопиритовой и молибденитовой минеральными ассоциациями. Кроме того, на флангах штокверкового рудного тела, на его выклиниваниях по простиранию и, вероятно, по восстанию присутствуют маломощные (до 14 м) непротяженные (40–170 м) золото-сульфидные минерализованные зоны с осевыми золото-кварцевыми жилами.

Рудно-метасоматическая зональность месторождения Кызык-Чадр

Анализ распределения в рудовмещающем и околорудном пространстве месторождения Кызык-Чадр выделенных минеральных ассоциаций рудных минералов и околорудных метасоматитов позволил установить взаимосвязанную схему руднометасоматичекой зональности (PM3) месторождения, являющуюся одним из наиболее важных элементов типовой модели медно-порфировых месторждений [Кривцов, Мигачев, Попов, 1986; Кривцов, Звездов, Мигачев, Минина, 2001; John at all, 2010].

В рамках типовой модели медно-порфировго оруденения, РМЗ рассматривается как многоуровневая система, включающая комплекс разностадийных и разноранговых элементов (комплексный рудно-метасоматический ореол), приведенных ниже [Гирфанов, 1993; «Комплексные модели месторождений порфирового типа цветных и благородных металлов», 1995].

Комплексный рудно-метасоматический ореол (КРМО) может быть представлен как результат сочетания двух последовательно сформированных и пространственно совмещенных (телескопированных) "систем" (минеральных комплексов) руднометасоматических образований — ранней и поздней систем. Каждая из названных систем объединяет разномасштабные зонально построенные ореолы, приуроченные к определенным геологическим элементам либо совокупности последних [Бин, Титли, 1984; Гирфанов, 1993; «Комплексные модели месторождений порфирового типа цветных и благородных металлов», 1995, Sillitoe, 2010].

По результатам изучения керна скважин месторождения Кызык-Чадр, в том числе с применением петрографических методов, выделены области распространения минеральных ассоциаций гидротермально-метасоматических изменений и рудной минерализации. Состав этих минеральных ассоциаций был подробно рассмотрен выше.

<u>Метасоматическая зональность</u> (зональность распределенния гидротермальнометасоматических изменений) определялась на основое анализа пространственновременных соотношений минеральных ассоциаций метасоматических изменений. Выявленные и оконтуренные области распространения таких ассоциаций отвечают следующим *генерализованным метасоматическим зонам* типовых медно-порфировых месторождений [Гирфанов, 1993; «Комплексные модели месторождений порфирового типа цветных и благородных металлов», 1995, John at all, 2010].

Калиевая зона (К) определяется наличием интенсивно проявленных изменений калиево-кремниевого типа. Типоморфные минералы зоны — кварц и калишпат; широко развит хлорит, замещающий темноцветные минералы; однако, в отличие от типичных медно-порфировых месторождений, практически не установлен вторичный биотит или его

хлоритизированные реликты. В небольших количествах присутствуют наложенные альбит, серицит и другие минералы поздней системы. Калиевая зона распространена крайне ограниченно, что может быть результатом особенностей условий рудообразования.

Внутренняя пропилитовая зона (P1) определяется телескопированием тесно связанных с филлизитами пропилитоподобных образований и умеренно проявленных изменений калиево-кремниевого типа (аналоги этой зоны выделяются под различными названиями на всех значительных месторождениях медно-порфирового типа [Гирфанов, 1993; Кривцов, Мигачев, Попов, 1986; «Комплексные модели месторождений порфирового типа цветных и благородных металлов», 1995; Кривцов, Звездов, Мигачев, Минина, 2001, John at all, 2010]. Типоморфные минералы зоны — кварц, хлорит, альбит, в подчиненных количествах могут присутствовать эпидот, серицит, карбонат; калишпат практически отсутствует. Данная зона достаточно определенно выделяется как визуально, так и по результатам петрографических исследований, содержит значительную долю меднорудной минерализации месторождения.

Филлизитовая зона (F) определяется преобладанием интенсивных изменений филлизитового типа. Типоморфные минералы зоны — серицит, кварц, хлорит; иногда присутствуют карбонат, альбит, эпидот. Филлизитовая зона весьма интенсивно и широко развита на месторождении, что так же, как и редуцированное развитие калиевой зоны, является характерной особенностью данного объекта.

Внешняя пропилитовая зона (P2) определяется преобладающим развитием собственно пропилитовых изменений на периферии месторождения. Типоморфные минералы зоны — хлорит, минералы эпидот-цоизитового ряда, альбит, иногда кальцит, редко серицит. Типичная периферическая зона рудно-метасоматических ореолов медно-порфировых месторождений, переходящая в зону слабых гидротермальных изменений, трудно отличимых от продуктов регионального метаморфизма.

Метасоматическая зональность заключается в смене с удалением от апикальных и эндо-экзоконтактовых частей порфирового интрузива следующих концентрическирасположенных генерализованных метасоматических зон: калиевой (кварц-калишпатовой с хлоритом); внутренней пропилитовой (кварц-альбит-хлоритовой); филлизитовой (кварцсерицитовой с хлоритом); внешней пропилитовой (эпидот-хлоритовой).

На основе имеющихся данных составлены четыре схематических геологических разреза с элементами метасоматической зональности по поперечным профилям скважин С-907–С-928–С-929, С-905–С-904–С-922–С-925, С-901–С-902–С-919, С-909–С-908–920 (Рисунок 3.31). На разрезах показаны основные разновидности пород, слагающих центральный участок месторождения (среднезернистые граниты, гранодиорит-порфиры,

диоритовые и андезитовые порфириты, долериты), предполагаемые контуры намеченных вышеперечисленных генерализованных метасоматических зон, а также предполагаемые контуры распространения меднорудной минерализации (по содержанию Cu выше 0,05 %), прогнозируемого рудного тела (по содержанию Cu выше 0,2 %) и участки относительно богатого медного оруденения (интервалы по содержанию Cu выше 0,4 % — показаны только по стволам скважин).

В целях интерпретации и обобщения выявленных особенностей состава и зональности оруденения и сопровождающих метасоматических изменений месторождения Кызык-Чадр, была составлена комбинированная модель метасоматической зональности месторождения Кызык-Чадр в вертикальном сечении. Методика такого моделирования заключалась в следующем. С учетом типовой модели метасоматической зональности медно-порфировых месторождений оценивалось положение разреза, вскрытого в каждом из основных поисковых буровых профилей, в предполагаемой общей вертикальной и латеральной зональности рудно-магматической системы месторождения. После этого, разрезы с рудно-метасоматической зональностью составляющей рудно-метасоматической зональности месторождения является вертикальная составляющая. Составленная комбинированная модель отражает общие тенденции метасоматической зональности месторождения и соответствует типовой модели для месторождений медно-порфирового типа.

В обобщенном виде модель метасоматической зональности Кызыкчадрского месторождения (в вертикальном поперечном сечении) представлена (Рисунок 3.31). Эта модель отражает преимущественно *вертикальную составляющую метасоматической зональности* рассматриваемого месторождения.

Однако, составленная таким образом модель недостаточно учитывает наличие латеральной составляющей метасоматической зональности, которая хорошо выражена на рассматриваемом объекте. С целью характеристики латеральной составляющей зональности, нами был составлены продольный схематический геологический разрез (разрез-накладка) с метасоматической нагрузкой (Рисунок 3.32). Линия продольного разреза проведена по центральным скважинам каждого из поисковых профилей, вскрывшим максимальные по мощностям и содержаниям основных полезных компонентов рудные сечения. Таким образом, продольный разрез по этой линии может рассматриваться как наиболее представительный с точки зрения основных закономерностей руднометасоматической зональности.



1 — рудоносный порфировый интрузив: кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры; 2 — граниты среднезернистые, часто катаклазированные; 3 — кварцевые диориты, гранодиориты среднезернистые; 4 — дайки: андезит-порфиритов (а); долеритов, базальтовых-порфиритов (б); 5 — брекчии; 6 — разрывные нарушения (а), зоны трещиноватости и катаклаза с интенсивными кварц-карбонатными изменениями (б); 7–10 генерализованные зоны гидротермально-метасоматических изменений: 7 — калиевая (основные минералы Q, Kfsp, второстепенные Chl, Ab), 8 — внутренняя пропилитовая (основные минералы Q, Chl, Ab, второстепенные Kfsp, Ser, Cc), 9 — филлизитовая (основные минералы Ser, Q, Chl, второстепенные Ab, Cc), 10 — внешняя пропилитовая (основные минералы Chl, Ep, Cc, второстепенные Ser, Q, Ab); 11 — границы генерализованных зон гидротермально-метасоматических изменений; 12 — контур меднорудного тела по С борт Cu 0,2%; 13 — контур распространения медной минерализации по C борт Cu 0,05%; 14 — скважины AC «Сибирское ПГО» 2017–2019 гг. и их глубина, м.

Рисунок 3.31. Обобщенная модель метасоматической зональности месторождения Кызык-Чадр (вертикальная проекция), сформированная в результате сопоставления геологических разрезов с метасоматической нагрузкой по линиям поискового бурения с разными уровнями эрозионного среза

На продольном разрезе фиксируются морфология пластинообразного порфирового интрузива с перегибами и изменениями по мощности. При этом, максимальная мощность порфирового интрузива отмечается в центральной его части (в районе профилей скв. 909–908–920 и 927–910–923), совпадающей с зоной интенсивных тектонических дислокаций, а минимальная — в участках его выклинивания на западном и восточном флангах рудоносной зоны.

В продольном сечении, как и в поперечных сечениях, намечаются элементы концентрической метасоматической зональности с локализацией редуцированной калиевой зоны в центральной части комплексного рудно-метасоматического ореола месторождения. Калиевая зона облекается внутренней пропилитовой зоной, сменяющейся на флангах интенсивно проявленной филлизитовой зоной. Как видно, общая морфология метасоматического ореола и его отдельных зон вполне конформны пластинообразным телам кулисно построенного порфирового интрузива и его апофиз.

Таким образом, набор типов гидротермальных изменений и последовательность их чередования, установленные для месторождения Кызык-Чадр, полностью отвечают типовым медно-порфировыми объектам.

Существенными особенностями ореола гидротермально-метасоматических образований месторождения являются резкое преобладание кварц-серицитовых метасоматитов над калишпатовыми, практически полное отсутствие вторичного гидротермального биотита и его реликтов в составе метасоматитов калиевой и внутренней пропилитовой зон. Для меднопорфировых систем такие особенности связываются с высокой флюидонасыщенностью (высокими отношениями вода/порода) рудовмещающего пространства, повышенной кислотностью И пониженной магнезиальностью гидротермальных растворов. Для Кызык-Чадра такая обстановка может объясняться формированием месторождения в относительно «закрытой» рудно-магматической системе — в пределах вмещающего блока интенсивно трещиноватых гранитов, облекаемого экранирующими сланцами.



1 — рудоносный порфировый интрузив: кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры; 2 — граниты среднезернистые, часто катаклазированные; 3-6 — генерализованные зоны гидротермально-метасоматических изменений: 3 — калиевая (основные минералы Q, Kfsp, второстепенные Chl, Ab), 4 — внутренняя пропилитовая (основные минералы Q, Chl, Ab, второстепенные Kfsp, Ser, Cc), 5 — филлизитовая (основные минералы Ser, Q, Chl, второстепенные Ab, Cc), 6 — внешняя пропилитовая (основные минералы Chl, Ep, Cc, второстепенные Ser, Q, Ab); 7 — зоны интенсивной трещиноватости, катаклаза и милонитизации (малоамплитудные тектонические нарушения); 8 — контур меднорудного тела по С борт Cu 0,4%; 9 контур меднорудного тела по С борт Си 0,2%; 10 — контур распространения медной минерализации по С борт Си 0,05%; 11 — скважины АС «Сибирское ПГО» 2017–2019 гг. и их глубина, м.

Рисунок 3.32. Продольный схематический геологический разрез месторождения Кызык-Чадр с элементами метасоматической зональности (серой пунктирной рамкой отмечено предполагаемое продолжение рудной зоны на глубоких горизонтах месторождения)

61

<u>Зональность рудной минерализации</u> определялась на основе анализа пространственного размещения областей распространения выделенных рудных минеральных ассоциаций.

Рудные минеральные ассоциации сменяются от центра к периферии руднометасоматического ореола в последовательности: магнетитовая – халькопиритовая – молибденит-пирит-халькопиритовая – пиритовая; полисульфидная борнит-блеклорудно-галенитсфалеритовая минеральная ассоциация приурочена к узким крутопадающим линейным зонам, контролируемым разрывными нарушениями, и локализуется как на флангах, так и в центральных частях месторождения.

Рудно-минералогическая зональность представлена на поперечных (Рисунок 3.33) и продольном (Рисунок 3.34) разрезах, иллюстрирующих распределение рудных минеральных ассоциаций в объеме месторождения.



1 — рудоносный порфировый интрузив: кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры; 2 — граниты среднезернистые, часто катаклазированные; 3 — кварцевые диориты, гранодиориты среднезернистые; 4 — брекчии; 5 — дайки: андезит-порфиритов (а); долеритов, базальтовых-порфиритов (б); 6 — малоамплитудные тектонические нарушения; 7–12 — области распространения рудных минеральных ассоциаций (от ранних к поздним): 7 — магнетитовой (реликты), 8 — халькопиритовой, 9 — молибденитовой (Мо >= 0,005%), 10 — пирит-халькопиритовой (Cu >=0,05%), 11 — пиритовой; 12 — полисульфидной (а — галенит-сфалеритовой Pb+Zn >=0,01%, 6 — блеклорудной As+Sb>=0,01%); 13 — контур меднорудного тела по С борт Cu 0,2%; 14 — контур распространения медной минерализации по С борт Cu 0,05%; 15 — контур меднорудного тела по С борт Cu 0,4%; 16 — скважины АО «Сибирское ПГО» 2017–2019 гг. и их глубина, м.

Рисунок 3.33. Схематические геологические разрезы месторождения Кызык-Чадр с рудной минералого-геохимической нагрузкой по линиям I–I, II–II, III–III и IV–IV

На составленных поперечных и продольном разрезах отчетливо проявлены основные тенденции строения рудно-магматической системы месторождения, включая морфологию порфирового интрузива, основные элементы генерализованной зональности метасоматических изменений и закономерно-зонального распределения рудного вещества (рудно-минералогогеохимической зональности).

Морфология и распределение зон рудной минерализации различного состава, фиксирующихся в геохимическом поле по данным опробования, вполне конформна морфологии порфирового интрузива и зон метасоматических изменений. Редуцированная халькопиритовая ассоциация с реликтами магнетита в краевых ее частях сменяется с удалением от предполагаемого центра системы «базовой» пирит-халькопиритовой ассоциацией и затем пиритовой ассоциацией пиритового ореола. Полиметаллическая (галенит-сфалеритовая) ассоциация закономерно локализуется в узких крутопадающих линейных зонах, очевидно, контролируемых разрывными нарушениями. К ним же приурочены и локально проявленные участки развития блеклорудной минерализации.

Золотая минерализация развита неравномерно. Как можно предположить из рассмотрения составленных графических материалов, максимумы ее контролируются тектоническими нарушениям, в связи с чем часто совпадают с проявлениями полисульфидной и мышьяковистой минерализации. В то же время, во многих случаях отмечается сочетание повышенных содержаний золота и меди, что вполне типично для медно-порфировых объектов. Молибденитовая минерализация по распределению ее концентраций и контурам зон практически совпадает с пирит-халькопиритовой.

По итогам проведенных исследований составлена обобщенная схема рудно-<u>метасоматической зональности</u> месторождения Кызык-Чадр. Как установлено на основе графических материалов, потенциально-промышленные анализа составленных тела прожилково-вкрапленных молибденит-пирит-халькопиритовых (с блеклыми рудами, борнитом) руд приурочены к областям сопряжения калиевой, филлизитовой и внутренней пропилитовой метасоматических зон. Полиметаллическая минерализация, включающая полисульфидную (галенит-сфалеритовую) И блеклорудную минеральные ассоциации, распространена фрагментарно и приурочена к дискордантным (диагональным) зонам малоамплитудных тектонических разрывных нарушений. В пределах внешних частей филлизитовой зоны и внешней пропилитовой подзоны развита прожилково-вкрапленная минерализация существенно пиритового состава («пиритовый ореол»).

Сопоставление намеченной схемы зональности метасоматических изменений и распределения содержаний основных полезных компонентов для месторождения Кызык-Чадр

показало следующее. Внутренние зоны (калиевая и внутренняя пропилитовая), охватывающие тела порфировых пород и их экзоконтакты, характеризуются наиболее высокими содержаниями меди. Здесь локализуется собственно медно-порфировая минерализация, представленная молибденитовой, пирит-халькопиритовой и халькопиритовой минеральными ассоциациями. Общая мощность этих зон составляет от 150 до более 200 м. Полиметаллическая минерализация, включающая галенит-сфалеритовую и блеклорудную минеральные ассоциации, распространена фрагментарно и приурочена к дискордантным (диагональным) зонам малоамплитудных тектонических разрывных нарушений.

На флангах меднорудной зоны в ассоциации с филлизитовыми изменениями установлен широкий (до 400 м на южном фланге и до 200 м на северном) ореол пиритовой минерализации («пиритовый ореол»). Содержания пирита здесь достигают 3–5 % и более. Широкое развитие имеют кварц-пиритовые прожилки, изредка в прожилках отмечается молибденит. Медная минерализация в этой части рудной зоны крайне слабая, количество халькопирита редко достигает 0,1% в отдельных маломощных зонках.

На флангах рудно-метасоматического ореола во внешней пропилитовой зоне отмечается бедная вкрапленность пирита.

В целом, можно заключить, что контур рудного тела по бортовому содержанию 0,2 % меди выделяется внутри поля распространения пирит-халькопиритовой минеральной ассоциации, конформно повторяя конуры последнего. Как видно, как на продольном, так и на поперечных рудно-метасоматических разрезах, рудное тело располагается в области сопряжения калиевой, внутренней пропилитовой и внутренних частей филлизитовой зон.



1 -рудоносный порфировый интрузив: кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры; 2 -граниты среднезернистые, часто катаклазированные; 3-8 -области распространения рудных минеральных ассоциаций (от ранних к поздним): 3 -магнетитовой (реликты), 4 -халькопиритовой, 5 -молибденитовой (Mo >= 0,005%), 6 -пирит-халькопиритовой (Cu >=0,05%), 7 -пиритовой; 8 -полисульфидной (a - галенит-сфалеритовой Pb+Zn >=0,01%, 6 -блеклорудной As+Sb>=0,01%); 9 -зоны интенсивной трещиноватости, катаклаза и милонитизации (малоамплитудные тектонические нарушения); 10 -контур меднорудного тела по C борт Cu 0,4%; 11 -контур меднорудного тела по C борт Cu 0,2%;; 12 -контур распространения медной минерализации по C борт Cu 0,05%; 13 -скважины AC «Сибирское ПГО» 2017–2019 гг. и их глубина, м.

Рисунок 3.34. Продольный схематический геологический разрез месторождения Кызык-Чадр с рудной минералого-геохимической нагрузкой (серой пунктирной рамкой отмечено предполагаемое продолжение рудной зоны на глубоких горизонтах месторождения)

Таким образом, наличие основных элементов типовой модели медно-порфировой рудномагматической системы позволяет уверенно относить месторождение Кызык-Чадр к меднопорфировому рудно-формационному (геолого-промышленному) типу.

В то же время, автором выявлен ряд особенностей, отличающих Кызык-Чадр от типовых эталонных месторождений медно-порфирового типа. К таким особенностям относятся: ярко выраженный линейный характер и крутое падение рудных тел и рудоносной зоны в целом, редуцированное распространение калиевых изменений с практически полным отсутствием реликтов вторичного биотита, а также резкое преобладание филлизитовых изменений в объеме месторождения; ограниченное распространение магнетитовой и халькопиритовой рудных минеральных ассоциаций (Таблица 3.2). Установленные отличия объясняются причинами, связанными с формированием объекта в аккреционно-коллизионной обстановке.

Кроме того, спецификой Кызыкчадрского рудного поля является интенсивная тектоническая деформация всех элементов медно-порфировой системы, включая многочисленные смещения контуров порфирового интрузива и конформного ему рудного тела, брекчирование, милонитизацию и катаклаз пород, руд и метасоматитов, которые объясняются деформациями на последующих стадиях геотектонического развития, определяющихся пострудными деформациями.

Полученные результаты и составленные схематические геолого-геофизические разрезы с рудно-метасоматической нагрузкой позволяют конкретизировать геолого-поисковую модель медно-порфирового оруденения Кызыкчадрского рудного узла, представляя графическое отображение схемы РМЗ как одной из основных составляющих такой модели.

Элемент модели МПРМС	Характерные особенности, отличающие от типовой	Причины воз характеристи
1	2	
Рама рудоносного интрузива	Отсутствие комагматичных вулканитов рудоносной ВПА	Связь с аккрен поясом
Рудоносный интрузив продуктивной интрузивной формации	Сугубо локальное развитие продуктивной формации в регионе: рудоносный интрузив отнесен к габбро- диорит-гранодиорит-гранитовой формации Э ₂₋₃ , установленной в пределах юга Алтае-Саянской области только в пределах Ожинского выступа (Кызыкчадрский узел). Рудоносный интрузив представлен одним малым полифазным штокообразным телом.	По данным ан участки возмо
	Кислый состав основной фазы рудоносного интрузива: преобладающая фаза внедрения представлена среднезернистыми равномернозернистыми биотитовыми двуполевошпатовыми гранитами; фазы среднего и основного, в том числе монцонитоидного, составов представлены преимущественно мелкозернистыми и порфировыми разностями; локально проявлены среднезернистые габбро.	Пространствел магматизмом таннуольского
	Интенсивная дислоцированность пород рудоносного интрузива: породы брекчированы катаклазированы	Влияние герци
Порфировый интрузив	Линейная лентовидная в плане морфология и сложное строение порфирового интрузива: крутопадающий порфировый интрузив вытянутой пластинообразной формы образован серией сближенных дайкообразных тел, сложенных породами, варьиующими по составу от гранодиорит-порфиров до диоритовых порфиритов.	Формировани аккреционно-н
	Интенсивная деформация порфирового интрузива: устанавливается дислоцированность порфирового интрузива по серии малоамплитудных тектонических смещений. Породы порфирового интрузива интенсивно дислоцированы — брекчированы, катаклазированы, милонитизированы	Влияние герци
Штокверковое рудное тело	Рудное тело вытянутое в субширотном направлении пластинообразной морфологии, имеет крутое падение (к северу) и пологое склонение (к востоку)	Общая конфор
	Контуры рудного тела в плане смещены по серии разноориентированных поперечных тектонических нарушений	Влияние герци
Термобарогеохимические элементы	В кварцевых прожилках отсутствуют первичные газово-жидкие включения	Влияние герци
	Расчеты температуры образования сульфидов с использованием микропримесных (Со в пирите и халькопирите, по Безмену) геотермометров дают нереалистичные значения	То же

Особенности морфологии рудных тел и вещественного состава оруденения месторождения Кызык-Чадр, отличающие его от типовых медно-порфировых месторождений

Таблица 3.2.

зникновения	отклонений	0Т	типовь	IX

ик

3

ционно-коллизионным вукано-плутоническим

нализа региональных материалов нами намечены ожного проявления данной формации

нно-временная связь с гранитоидным

кислых (плагиогранитных) интрузий

о комплекса

инской коллизии

е в пределах долгоживущей разломной зоны в коллизионной обстановке

инской коллизии

рмность рудного тела порфировому интрузиву

инской коллизии

инской коллизии

1	2	
Метасоматический ореол	Резкое преобладание филлизитовых (кварц-серицитовых) метасоматитов над калишпатовыми в метасоматическом ореоле месторождения	Формирование магматической вмещающей и интенсивная определяющая вода/порода
	Отсутствие вторичного гидротермального биотита и его реликтов в составе метасоматитов калиевой и внутренней пропилитовой зон метасоматического ореола	Предположите с повышенной гидротермалы при формиров вмещающих п
	Интенсивное рассланцевание кварц-серицитовых метасоматитов	
Прожилковая минерализация	Преобладание тонких (до 1 мм) кварц-сульфидных прожилков, более мощные распространены ограниченно.	Формирование преобладанием
	Широко распространены маломощные кварц-хлорит-сульфидные (пирит, халькопирит) прожилки неправильной, часто ветвистой формы.	
	Кварц-сульфидные прожилки интенсивно деформированы, брекчированы и смещены. Прожилковый кварц катаклазирован, раздроблен.	
	Широко распространены поздние существенно кальцитовые прожилки	
	Редуцированное распространение гидротермального магнетита в составе рудной минерализации	Согласуется метасоматитов
	Редуцированное распространение халькопиритовой (без пирита) минеральной ассоциации	
Рудная минерализация	Широкое распространение поздней полисульфидной (пирит, халькопирит, борнит, сфалерит, блеклые	Развита в пред
	руды, золото) минеральной ассоциации	Характерно дл
	Интенсивная деформация сульфидных минералов: дробление, микропрожилковые структуры замещения ранних сульфидов более поздними, развитие «притертых» агрегатов сульфидных минералов по трещинам	Влияние герци

3

е гидротермалитов в «закрытой» рудной системе (влияние экранирующего эффекта интрузив метаморфизованной сланцевой толщи); трещиноватость вмещающих пород, в высокую эффективную пористость и отношение

ельно, парагенезис калишпата с хлоритом в связи й кислотностью и пониженной магнезиальностью ных растворов ранней стадии рудообразования зании в «закрытой» системе с кислым составом ород (граниты)

нской коллизии

е в аккреционно-коллизионной обстановке с м сжатия

инской коллизии

с редуцированным распространением калиевой зоны (калишпатизация, биотитизация)

делах стержневых малоамплитудных нарушений. ия крупных медно-порфировых объектов

инской коллизии

4. «СКРЫТАЯ» МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ месторождения КЫЗЫК-ЧАДР, УСЛОВИЯ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ И возможности использования в целях локального прогнозирования медно-порфирового оруденения

В практике геолого-поисковых работ все большее внимание уделяется разработке минералого-геохимических методик, основанных на «векторном» принципе — определении закономерностей в изменении содержаний элементов-микропримесей в составе минералов-индикаторов, а также других типоморфных свойств таких минералов, по направлению к зонам промышленного оруденения. Такие вариации состава индикаторных минералов в объеме рудовмещающего пространства, которые устанавливаются только с применением высокоточного локального микроанализа, рассматриваются в качестве «скрытой» минералого-геохимической зональности [Еремин, 1977; Еремин, Сергеева, Шишаков, 1979; Гирфанов, Сергеева, Шишаков, 1991, 1992; Гирфанов, 1993].

С целью выявления элементов «скрытой» зональности для месторождения Кызык-Чадр, автором применены два минералого-геохимических метода: (1) определение отношения фенгит/мусковит в светлослюдистых метасоматитах по данным рентгено-структурного анализа и инфракрасной спектроскопии, с целью установления различий этого параметра для центральных и фланговых зон месторождения (2) определение вариаций в пространстве месторождения концентраций микропримесей в сульфидах методом масс-спектрометрии с лазерной абляцией (LA-ICP-MS).

Для исследований были отобраны образцы руд и метасоматитов из керна скважин, вскрывших различные части рудно-метасоматического ореола месторождения Кызык-Чадр: из внутренних зон этого ореола с медно-порфировой минерализацией и из его фланговой «безрудной» зоны.

Минералогическая зональность по данным рентгено-структурного анализа и

инфракрасной спектроскопии

Изучение распределения в пространстве вариаций фазового состава светлых слюд с использованием рентгенофазового анализа и инфракрасной спектроскопии. Изучены диоктаэдрические слюды изоморфного ряда мусковит KAl2 [(OH,F)2|AlSi3O10] — фенгит K(Fe, Mg)Al[(OH,F)2|(Al,Si)Si3O10]. В слюдах определялся параметр элементарной ячейки с sin β, зависящий от изоморфизма мусковит-фенгит [Нагорная, 2013]. Определения выполнены на рентгеновском дифрактометре D2 PHASER и ИК-Фурье спектрометре Nicolet-380 с ИК-микроскопом Centaurus (США); аналитик — С.Г. Кряжев (Отдел минералогии и изотопной

геохимии ФГБУ «ЦНИГРИ»). Проанализированы и обработаны данные по 20 образцам. (Рисунок 4.1).

С этой целью анализировались образцы из керна скважин, вскрывших различные части рудно-метасоматического ореола месторождения Кызык-Чадр — из внутренних зон этого ореола с медно-порфировой минерализацией (скважины С-902, С-908, С-910, С-922) и из его фланговой «безрудной» зоны (С-901, С-904, С-905, С-923). В слюдах определялся параметр элементарной ячейки $c \sin \beta$, характеризующий толщину слюдяного пакета, которая зависит как от изоморфизма в пределах слюдяного слоя (мусковит-фенгит), так и от характера межслоевого заполнения (калий-натрий) [Дриц, 1991]. Других слюдистых фаз (парагонит, пирофиллит, гидрослюды, смектиты) установлено не было.

Как показали выполненные исследования, в пределах изученной части руднометасоматического ореола состав основных минералов метасоматитов достаточно однообразен. Измененные породы сложены преимущественно кварцем и диоктаэдрической калиевой слюдой мусковит-фенгитового ряда, которые доминируют практически во всех метасоматических зонах; парагенезис альбита с хлоритом и эпидотом характерны лишь для периферических частей ореола, где проявлены изменения пропилитового характера. В центральных и глубоких частях ореола фиксируются кварц-калишпатовые изменения.

По результатам рентгенофазового анализа И инфракрасной спектроскопии светлослюдистых метасоматитов месторождения Кызык-Чадр установлены элементы «скрытой» минералогической зональности, обусловленной вариациями соотношения фенгитового и мусковитового компонентов в слюдистых агрегатах. При этом, в качестве индикатора такой «скрытой» зональности принимается определяемое значение параметра $c \sin \beta$ (Рисунок 4.2). Интерпретация аналитических результатов позволила автору выявить четко проявленную тенденцию в изменениях минерального состава серицитов светлослюдистых метасоматитов в объеме рудовмещающего пространства месторождения Кызык-Чадр: в центральной и глубоких частях рудно-метасоматического ореола в серицитах преобладает фенгитовая составляющая, а к его флангам и верхним частям последовательно увеличивается доля мусковитового компонента. Намеченная зональность имеет выраженный концентрический характер и отражена на составленной модели месторождения Кызык-Чадр в вертикальном и продольном сечениях (Рисунок 4.3, Рисунок 4.4).

Область развития существенно фенгитовых слюд фиксирует наиболее продуктивную зону медно-порфировой системы, вмещающую промышленные рудные тела. Это дает основание для использования индикатора «скрытой» минералогической зональности по соотношению «фенгитмусковит» как объективного критерия при увязке полученных рудных пересечений и прогнозировании медно-порфировых рудных тел на ранних стадиях ГРР.



Рисунок 4.1. Вариации состава слюд в кварц-серицитовых метасоматитах месторождения Кызык-Чадр (определения выполнены С.Г. Кряжевым, ФГБУ «ЦНИГРИ»)



1 — Рудоносный порфировый интрузив: кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры; 2 — граниты среднезернистые, часто катаклазированные; 3 — кварцевые диориты, гранодиориты среднезернистые; 4 — брекчии; 5 — 8 — генерализованные зоны гидротермально-метасоматических изменений: 5 — калиевая, 6 — внутренняя пропилитовая, 7 — филлизитовая, 8 — внешняя пропилитовая; 9 — границы метасоматических зон; 10 — зоны интенсивной трещиноватости, катаклаза и милонитизации (малоамплитудные тектонические нарушения); 11 — контур меднорудного тела по С борт Си 0,4%; 12 — контур меднорудного тела по С борт Си 0,2%; 13 — контур распространения медной минерализации по С борт Си 0,05%; 14 — скважины АО «Сибирское ПГО» 2017–2019 гг. и их глубина, м; 15 — индикатор "скрытой" минералогической зональности: значения с sin β, определенные в пробах светлослюдистых метасоматитов по данным рентгено-структурного анализа. Количественные определения параметров ячейки и расчет соотношения фенгит/мусковит в изоморфном твердом растворе выполнены С.Г. Кряжевым («ФГБУ» ЦНИГРИ).

Рисунок 4.2. Месторождение Кызык-Чадр. Схематические геологические разрезы по буровым профилям С-909–С-908–С920, С-901–С-902–С919, С-907–С-928–С929, С-905–С-904–С922–С925 с элементами «скрытой» минералогической зональности по соотношению «фенгит/мусковит» в светлослюдистых метасоматитах


Рисунок 4.3. Модель «скрытой» минералогической зональности месторождений Кызык-Чадр по соотношению фенгит/мусковит в светлослюдистых метасоматитах в вертикальном сечении (по дынным рентгено-структурного анализа)

Цвета зон соответствуют цветам значений индикатора в условных обозначениях (Рисунок 4.2)



Рисунок 4.4. Модель «скрытой» минералогической зональности месторождения Кызык-Чадр по соотношению фенгит/мусковит в светлослюдистых метасоматитах в продольном сечении

Цвета зон соответствуют цветам значений индикатора в условных обозначениях (Рисунок 4.2).

74

Распределение элементов-примесей в сульфидах по результатам массспектрометрического анализа с лазерной абляцией (LA-ICP-MS)

Изучение распределения в пространстве вариаций состава элементов- микропримесей в пиритах и халькопиритах выполнено с использованием масс-спектрометрического анализа с индукционно-связанной плазмой с системой лазерной абляции (LA-ICP-MS). Определения выполнены. В.Д. Абрамовой (ИГЕМ РАН). Масс-спектрометрический анализ и обработка данных выполнена по 107 образцам.

Проанализирован следующий набор изотопов: ³³S, ⁵⁷Fe, ⁵⁹Co, ⁶⁰Ni, ⁶⁵Cu, ⁶⁶Zn, ⁷⁵As, ⁷⁷Se, ⁹⁵Mo, ¹⁰¹Ru, ¹⁰³Rh, ¹⁰⁵Pd, ¹⁰⁷Ag, ¹⁰⁸Pd, ¹⁸⁵Re, ¹⁸⁹Os, ¹⁹¹Ir, ¹⁹⁷Au, ²⁰⁸Pb и ²⁰⁹Bi. Для измерений был использован квадрупольный масс-спектрометр ThermoXSeries 2 и лазерная приставка NewWaveResearchUP-213.

Параметры лазера: Nd:YAG, длина волны излучения 213 нм, энергия пучка (fluence) 4,5– 6,5 Дж/см², частота повторения импульсов 15Hz, диаметр пятна абляции — 40–60 мкм, несущий газ — He, скорость потока 0.65 л/мин, при абляции профилем скорость 7 мкм/сек. Время анализа: 30 с (background, холостой ход) + время анализа (в случае точки 60 с, профиль — длина/скорость) + 30 с (промывка).

Параметры масс-спектрометра: RFPower 1250 Вт, рабочий газ Ar, скорость несущего потока 0,95 л/мин, плазмообразующий поток Ar — 15 л/мин, охлаждающий поток Ar 0,9 л/мин. Калибровка масс-спектрометра осуществлялась на калибровочных мультиэлементных растворах.

Для градуировки и расчета использовались международные стандарты: прессованный сульфид USGSMASS-1 (Wilson et al., 2002) и UQAC-FeS1 (UQAC, Chicoutimi, Canada), прессованный порошок природного сульфида, легированный микроэлементами. Расчет проводился в программе Iolite с использованием ⁵⁷Fe в качестве внутреннего стандарта [Викентьев, Абрамова, Иванова и др., 2016].

Для анализа выбирался такой диаметр лазерного пучка, чтобы максимально избежать загрязнения пробы вмещающей матрицей, но в то же время получить максимально возможное количество вещества.

В ходе выполнения аналитических исследований отобранных образцов методом LA-ICP-MS получены данные по распределению микропримесей перечисленных выше элементовпримесей в зернах минерала-хозяина вдоль выбранных микропрофилей лазерного прожига (Рисунок 4.5). Для каждого образца рассчитаны также средние значения концентрации каждого элемента-примеси, выполнена статистическая обработка полученных результатов.

В результате выполненных лабораторно-аналитических работ методом LA-ICP-MS получен массив аналитических данных, включающий концентрации элементов-микропримесей

в сульфидах (пирит и халькопирит), входящих в состав основных распространенных на месторождении Кызык-Чадр рудных минеральных ассоциаций.

На основе выполненной статистической обработки первичных данных составлены диаграммы, отражающие вариации содержаний микроэлементов в пиритах и халькопиритах («диаграммы размаха») по данным LA-ICP-MS (Рисунок 4.6).

Дальнейшая статистическая обработка аналитических данных как по всему массиву, так и отдельно для выделенных рудных минеральных ассоциаций позволила выявить ряд типоморфных геохимических особенностей микропримесного состава сульфидов этих минеральных ассоциаций месторождения. Полученные результаты отражены в таблицах (Таблица.4.1, Таблица.4.2).

Пирит

В пиритах месторождения отмечено высокое содержание таких микроэлементов как Co (до 4 000 ppm) и Cu (более 2 000 ppm). В исследуемых образцах присутствует Ni (до 2 000 ppm). Практически во всех образцах были обнаружены Zn, As, Se, Ag, Pb и Bi. В отдельных образцах зафиксированы содержания Au и Mo, близкие к минимальному порогу обнаружения для применяемого метода.

Уровень содержаний элементов-примесей в пиритах в ряде случаев зависит от принадлежности их к определенной рудной минеральной ассоциации. Так, для халькопиритовой ассоциации характерны пириты с повышенным содержанием кобальта (до 4 000 ppm), никеля (до 1000 ppm) и селена (до 380 ppm). Для блеклорудной (галенитовой и сфалеритовой) и пиритхалькопирит-молибденитовой ассоциаций наблюдается похожая картина в распределении микроэлементов. Кроме того, среди пиритов данных минеральных ассоциаций фиксируются образцы с содержаниями Au (до 6 ppm), а также достаточно высокие содержания Ag (100 и более ppm) и Pb (более 1000 ppm).

Для пирит-магнетитовой ассоциации характерны наиболее низкие значения содержаний микроэлементов (за исключением висмута) в пиритах.

Для ряда элементов-примесей (Zn, Bi и др.) изменения их в распределении содержаний, в зависимости от рудных минеральных ассоциаций, не наблюдается.

Халькопирит

В халькопиритах месторождения, по сравнению с пиритами, отмечаются, в целом значительно более низкие содержания кобальта (не более 300 ppm), а молибден, наоборот, присутствует в значительно больших количествах (до 16 ppm).



Рисунок 4.5. Анализ микропримесей в пирите методом LA-ICP-MS: a) Обр. КЧ-902-369; б) Обр. КЧ-908-57,6; в) Обр. КЧ-910-230. Слева — распределение микропримесей по профилю через кристаллическизональный пирит (черный прямоугольник — участок для расчёта содержаний микропримесей); справа изучаемый профиль через зерно пирита (стрелка показывает направление прожига)



Рисунок 4.6. Диапазоны вариаций содержаний микроэлементов в пиритах и халькопиритах основных минеральных ассоциаций («диаграммы размаха») по данным LA-ICP-MS.

Таблица.4.1

элемент	S	Со	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
все ассоциации												
кол-во замеров	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
кол-во замеров с Q1 по Q3	56	55	56	55	47	56	55	55	57	55	50	48
среднее арифметическое, ррт	549626	529	171	1512	14	246	88	3	6	0	48	7
медиана, ррт	543720	213	82	108	9	144	56	0	3	0	10	2
Q1, ppm	510270	73	40	76	6	91	28	0	2	0	7	1
Q3, ppm	582360	543	167	262	13	245	98	0	5	0	34	6
min, ppm	396000	2	1	24	1	4	0	0	0	0	1	0
max, ppm	819260	4324	1922	137700	181	2284	741	190	132	6	1242	200
блеклорудно-галенит-сфалеритовая												
элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
кол-во замеров	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
кол-во замеров с Q1 по Q3	8	8	8	8	8	8	8	8	9	8	7	4
среднее арифметическое, ррт	522389	128	70	166	9	240	55	4	7	0	45	15
медиана, ррт	523890	89	54	117	6	170	52	0	3	0	9	1
Q1, ppm	503302	43	33	84	5	125	24	0	3	0	7	1
Q3, ppm	534980	182	75	175	10	210	73	0	5	0	41	5
min, ppm	472330	10	17	46	2	25	12	0	2	0	2	0
max, ppm	609040	368	293	544	30	1012	135	69	55	3	280	200
		nup	рит-ма	гнетито	зая							
элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
кол-во замеров	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
кол-во замеров с Q1 по Q3	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	5
среднее арифметическое, ррт	577422	741	142	232	10	116	71	0	3	0	20	6
медиана, ррт	547530	174	49	90	8	135	50	0	2	0	9	3
Q1, ppm	517465	35	36	55	6	39	22	0	2	0	7	1
Q3, ppm	609809	783	67	120	11	158	82	0	3	0	21	11
min, ppm	451720	16	2	49	3	12	0	0	1	0	2	0
max, ppm	819260	4124	947	1394	30	228	297	0	7	1	80	19

.Сводные статистические данные о распределении содержаний элементов-примесей в пиритах основных рудных минеральных ассоциаций месторождения Кызык-Чадр по данным LA-ICP-MS (ppm)

Окончание таблицы 4.1

элемент	S	Со	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
пирит-халькопирит-молибденитовая												
элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
кол-во замеров	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
кол-во замеров с Q1 по Q3	38	37	37	37	35	38	37	37	34	37	34	27
среднее арифметическое, ррт	547005	471	189	2112	16	277	89	3	6	0	55	5
медиана, ррт	548020	221	121	108	9	136	54	0	3	0	11	2
Q1, ppm	507840	80	47	76	6	91	28	0	2	0	7	1
Q3, ppm	582360	522	171	246	14	257	100	0	5	0	34	5
min, ppm	396000	2	1	24	1	4	2	0	0	0	1	0
max, ppm	670220	3335	1922	137700	181	2284	741	190	132	6	1242	74
		x	алькоп	иритовая								
элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
кол-во замеров	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
кол-во замеров с Q1 по Q3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	5
среднее арифметическое, ррт	585062	1395	228	448	12	159	148	0	6	0	22	3
медиана, ррт	581440	1082	146	464	9	166	88	0	2	0	8	3
Q1, ppm	543277	577	98	115	6	58	66	0	2	0	7	1
Q3, ppm	633728	1844	183	737	14	246	238	0	4	0	20	6
min, ppm	494500	148	61	62	3	23	45	0	1	0	4	0
max, ppm	674907	4324	1090	879	45	293	380	2	25	2	80	7

Таблица.4.2

элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
все ассоциации												
кол-во замеров	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
кол-во замеров с Q1 по Q3	36	10	40	36	36	37	36	6	36	36	37	32
среднее арифметическое, ррт	497164	7	13	319484	53	100	146	1	195	0	65	6
медиана, ррт	480000	0	5	331200	39	58	138	0	19	0	28	4
Q1, ppm	432900	0	1	311100	28	22	84	0	10	0	17	2
Q3, ppm	556283	1	10	343752	61	163	192	1	44	0	44	7
max, ppm	785400	304	210	386100	243	531	459	16	8370	2	1590	55
min, ppm	325552	0	0	55800	9	4	0	0	0	0	3	0
блеклорудно-галенит-сфалеритовая												
элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
кол-во замеров	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
кол-во замеров с Q1 по Q3	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	6
среднее арифметическое, ррт	435714	2	14	311784	83	141	96	2	107	0	189	8
медиана, ррт	435000	0	7	327000	39	144	102	0	40	0	22	4
Q1, ppm	407251	0	3	280620	31	28	63	0	17	0	14	1
Q3, ppm	459600	1	10	343671	117	183	129	2	64	0	82	7
max, ppm	558000	10	66	352948	243	531	190	16	816	1	1590	55
min, ppm	325552	0	0	243900	9	7	0	0	7	0	3	0
		пир	ит-ма	ігнетито	вая							
элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
кол-во замеров	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
кол-во замеров с Q1 по Q3	3	3	3	3	2	1	3	2	2	2	2	2
среднее арифметическое, ррт	447900	20	43	273120	64	55	73	1	30	0	16	12
медиана, ррт	390000	0	0	318900	39	33	66	0	25	0	17	3
Q1, ppm	388500	0	0	309000	26	12	8	0	17	0	10	3
Q3, ppm	519000	0	7	332400	71	36	138	1	46	0	23	14
max, ppm	600000	102	210	349500	165	186	153	2	49	0	27	39
min, ppm	342000	0	0	55800	17	7	0	0	14	0	4	1

Сводные статистические данные о распределении содержаний элементов-примесей в халькопиритах основных рудных минеральных ассоциаций месторождения Кызык-Чадр по данным LA-ICP-MS (ppm)

Окончание таблицы 4.2

элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
пирит-халькопирит-молибденитовая												
элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
кол-во замеров	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
кол-во замеров с Q1 по Q3	25	25	25	25	22	24	24	24	23	24	25	21
среднее арифметическое, ррт	499439	7	10	325924	46	100	154	1	241	0	47	6
медиана, ррт	480000	0	5	336000	39	74	144	0	15	0	29	4
Q1, ppm	434700	0	1	312300	28	20	96	0	8	0	19	2
Q3, ppm	555000	0	8	343936	57	163	204	0	29	0	42	7
max, ppm	687000	304	108	386100	128	300	459	14	8370	2	516	37
min, ppm	380117	0	0	181830	12	4	0	0	0	0	7	1
		xa.	лькопі	іритовая								
элемент	S	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Au	Pb	Bi
кол-во замеров	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
кол-во замеров с Q1 по Q3	5	3	4	5	4	4	5	4	4	4	4	4
среднее арифметическое, ррт	587250	3	12	319593	51	76	203	0	143	0	35	4
медиана, ррт	585000	0	5	327030	38	37	210	0	27	0	42	3
Q1, ppm	534600	0	1	319800	34	31	90	0	8	0	24	2
Q3, ppm	620400	1	11	339240	66	96	281	1	36	0	44	5
max, ppm	785400	20	39	363000	117	270	446	2	1086	0	52	12
min, ppm	486000	0	0	220500	18	11	0	0	3	0	13	2

Как и в случае с пиритами, для халькопиритов пирит-магнетитовой ассоциации характерны наименьшие значения содержаний элементов-примесей в целом, что позволяет сделать вывод о том, что сульфидные минералы, относящиеся к пирит-магнетитовой ассоциации, являются наиболее «чистыми» с точки зрения содержаний элементов-примесей (микроэлементов).

По сравнению с пиритами, в халькопиритах отмечаются более высокие содержания серебра и цинка (до 8000 и 250 ppm, соответственно). При этом, для халькопиритов характерны повышенные значения содержания микроэлементов для образцов, относящихся к блеклорудной (галенитовой и сфалеритовой) ассоциации, а не халькопиритовой, как в случае с пиритами. Халькопириты халькопиритовой ассоциации, наоборот, характеризуются относительно небольшими значениями содержаний микроэлементов, немного превышая по данному показателю халькопириты пирит-магнетитовой ассоциации.

Содержание золота в халькопиритах значительно ниже, чем в пиритах. Большинство исследуемых образцов характеризовалось околонулевыми значениями содержания данного элемента (при пороге чувствительности 0,08 ppm). Максимальное значение содержания золота составило 2 ppm (пирит-халькопирит-молибденитовая ассоциация)

Особое внимание при проведении исследований было уделено изучению закономерностей пространственного распределения элементов-примесей в пиритах и халькопиритах месторождения с целью выявления элементов «скрытой» минералогогеохимической зональности [Еремин, 1977; Еремин, Сергеева, Шишаков, 1979; Гирфанов, 1993; Cook at all, 2011]. Обработка пространственных данных, интерполяция значений и оформление производилось с использованием программного обеспечения Surfer. С помощью этой программы распределение концентраций элементов-микропримесей в пиритах и отстраивалось халькопиритах, а также их соотношений, в вертикальных сечениях вдоль продольного разреза через месторождение, а также вдоль поперечного разреза через центральную часть месторождения по линии буровых скважин 909-908-920. Графическое отображение результатов выполненных исследований представлено на разрезах (Рисунок 4.7–Рисунок 4.20).

Интерполяция данных на разрезах производилась в автоматическом режиме, путём построения цифровых моделей (grid) геостатистическим методом «кригинга» (kriging). Размер ячеек создаваемых моделей определялся исходя из параметров исходной сети скважин (половина межскважинного расстояния). Для продольного разреза данная величина составила 100 м, при среднем расстоянии между скважинами 200 м, для поперечного — 50 м, при среднем расстоянии между скважинами 200 м, для поперечного — 50 м, при среднем расстоянии расстоянии между скважинами 200 м. Для принимался равным 20 м, как усреднённое расстояние половины интервала между образцами. Таким образом, размеры ячеек цифровой

модели, являющейся основой для продольного разреза, составил 100х20 м, а для поперечного — 50х20 м.

Также при выполнении интерполяции были внесены параметры анизотропии исходя из представлений об элементах залегания прогнозируемой минерализованной зоны и порфирового интрузива. Так, угол анизотропии составил 100° для поперечного и 140° для продольного разрезов. Параметр соотношения (ratio) принимался равным 5 в обоих случаях. При выполнении интерполяции применялась процедура логарифмирования для корректного построения разрезов с большим разбросом значений переменных (содержаний микроэлементов в сульфидных минералах — пиритах и халькопиритах).

Распределение элементов-микропримесей в пиритах меторождения Кызык-Чадр

Одним из наиболее распространённых и информативных микроэлементов *в пирите* рудных месторождений является *кобальт* [Безмен, 1978; Шишаков, Сергеева, 1991; Raič S., 2021; Rivas Romero C., 2021]. В целом, для пиритов месторождения Кызык-Чадр характерно увеличение содержания кобальта в пиритах (до 1000 и более ppm) на глубоких горизонтах и флангах рудных тел, преимущественно в эндоконтактовых частях порфирового интрузива (Рисунок 4.7). Относительное увеличение кобальта в пиритах (от 50 до 200 ppm), заметное на продольном разрезе в осевой части рудного тела, также связано с приконтактовой зоной апофизы порфирового интрузива (за плоскостью разреза). Наименьшими значениями содержаний кобальта характеризуются пириты, относящееся к блеклорудно-галенит-сфалеритовой минеральной ассоциации (менее 100 ppm).

Для *никеля* в пиритах месторождения Кызык-Чадр максимальные значения содержаний (до 1000 ppm и более) тяготеют к флангам и подрудным частям рудных тел, преимущественно в экзоконтактах порфировых интрузивов (Рисунок 4.7). Фоновые значения содержания никеля в пирите составляют 100–300 ppm.

Картина распределения содержаний *меди* в пиритах отличается высокой контрастностью. Максимумы (до 800–1000 ppm) фиксируются преимущественно в осевых частях рудного тела и локализуются в экзоконтактах апофиз порфирового интрузива. Максимумы обрамляются зонами минимумов (менее 100 ppm), что обуславливает полицентрический рисунок зональности этого параметра в продольном сечении месторождения (Рисунок 4.8). Максимальные содержания меди отмечаются в пиритах халькопиритовой и блеклорудногаленит-сфалеритовой минеральных ассоциаций, в то время как для пиритов молибденит-пиритхалькопиритовой ассоциации часто характерны низкие и минимальные концентрации примесей меди. В объеме месторождения Кызык-Чадр пириты с повышенными концентрациями *цинка* (до 130 ppm) тяготеют к флангам рудного тела и эндоконтактам порфирового интрузива. Минимумы цинка (менее 10 ppm) отмечаются в пиритах подрудной зоны (Рисунок 4.8).

Распределение *свинца* в пиритах в объеме месторождения характеризуется в целом низкими концентрациями и малой контрастностью, изредка превышая 100 ppm на фоне 10–50 ppm. Зональность по свинцу в пиритах близка зональности по цинку. Образцы с максимальным содержанием свинца приурочены, как правило, к эндоконтактовой зоне порфирового интрузива и флангам рудного тела (Рисунок 4.9).

Для *висмута* картина распределения примесей в пирите практически повторяет картину распределения свинца, при содержаниях до 10 ppm (Рисунок 4.9). Чёткой связи между содержаниями висмута и принадлежностью пиритов к определённым минеральным ассоциациям в пределах изучаемого месторождения не фиксируется.

Для *молибдена* характерно преобладание очень низких значений содержаний в пирите (менее 1 ppm). Максимумы содержаний фиксируются в единичных пробах, отобранных на глубоких горизонтах порфирового интрузива, и составляют 1–5 ppm. Также отмечается увеличение содержания молибдена в пирите в пределах наиболее богатой части прогнозируемого рудного тела (до 0,5 ppm) (Рисунок 4.10).

Для *серебра* в пирите характерно увеличение содержаний (до 50 и более ppm, в отдельных пробах до 100 ppm, при фоновых концентрациях 2–3 ppm) в осевой части рудного тела, висячем экзоконтакте порфирового интрузива (Рисунок 4.10). Повышение концентрации серебра в пирите в рудном теле говорит о возможном наличии положительной корреляционной связи между данным элементом и медью, что ранее было выявлено и описано для медно-порфирового месторождения Рио-Бланко [Crespo, J. at all, 2020].

Содержание *золота* в пиритах месторождения характеризуется весьма низкими значениями (менее 2 ppm). Лишь в отдельных образцах пирита фиксируются значения более 2 ppm. Относительное повышение концентраций золота в пиритах отмечается в пределах намечающихся крутопадающих зон в западной и восточной частях продольного разреза, которые тяготеют к участкам увеличения мощности рудного тела (Рисунок 4.11). Возможно, эти зоны маркируют долгоживущие рудоподводящие зоны.

Для *мышьяка* в пиритах характерны максимумы содержаний (500–1000 ppm) в подрудной зоне и периферических сателлитных рудных телах. Относительно повышенные концентрации мышьяка в пиритах (до 500 ppm на фоне 100–200 ppm) характерны также для флангов рудного тела (Рисунок 4.11).

Для *селена* характерны максимумы содержаний в пиритах (200–300 ppm, в отдельных пробах более 700 ppm при фоновых 20–50 ppm) в западной и восточной частях рудной зоны, в

участках увеличения мощности рудного тела (Рисунок 4.12). Такое распределение напоминает тенденцию распределения примеси золота в пиритах месторождения.

При проведении опытно-методических работ, помимо изучения пространственного распределения содержаний отдельных элементов-примесей в пиритах, было проанализировано пространственное распределение *отношений содержаний* некоторых микроэлементов в пиритах.

Пространственное распределение отношения Co/Ni в пиритах маркирует своими максимумами (значения более 10) порфировый интрузив (Рисунок 4.12). Максимальные значения отношения Ag/Co приурочены к центральной, наиболее богатой части рудного тела, в т.ч. к обогащенной медью зоне окисления (Рисунок 4.13). Максимумы отношения Co/Cu в пиритах отчетливо тяготеют к фланговым и подрудным зонам месторождения (Рисунок 4.13).

Таким образом, можно заключить, что вариации содержаний микроэлементов в пиритах связаны с положением в пространстве главных элементов геологического строения месторождения — с морфологией «порфирового интрузива» и его контактов, и с контурами рудных тел (оконтуренными по содержанию Cu 0,2 %), и их обогащенных участков (по содержанию Cu 0,4%).

Порфировый интрузив маркируется максимумами концентраций в пиритах Se, Bi, Zn, Mo, а также отношений Co/Ni. Для краевых частей порфирового интрузива характерны максимумы содержаний в пиритах Ag, Co, Cu, Zn. Для наиболее богатой части рудного тела характерно увеличение содержания в пиритах Ag, Cu, Co, а также увеличение значений отношения Ag/Co. Для окисленных частей минерализованной зоны характерны повышенные содержания в пиритах Bi и Zn. За пределами прогнозируемой минерализованной зоны максимальное содержание в пирите имеют As и Ni, отношение Co/Cu. Максимумы примесей золота в пиритах тяготеют к участкам увеличения мощности рудного тела и, возможно, маркируют долгоживущие рудоподводящие каналы.



Рисунок 4.7. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в пиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению кобальта и никеля



Рисунок 4.8. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в пиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению меди и цинка



Рисунок 4.9. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в пиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению свинца и висмута



Рисунок 4.10. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в пиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению молибдена и серебра



Рисунок 4.11. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в пиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению золота и мышьяка



Рисунок 4.12. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в пиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению селена и по соотношению кобальта к никелю.



Рисунок 4.13. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в пиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению соотношения серебра к кобальту и по соотношению кобальта к меди

Распределение элементов-микропримесей в халькопиритах

меторождения Кызык-Чадр

Характер пространственного распределения концентраций элементов-примесей в халькопиритах месторождения Кызык-Чадр значительно отличается от установленного для пиритов.

Распределение концентраций *кобальта* в халькопиритах довольно контрастно, максимумы (10–20 ppm) тяготеют к эндо-экзоконтактам порфирового интрузива на среднерудном уровне (Рисунок 4.14).

Высокие содержания *никеля* в халькопиритах (до 100 ppm) распространены весьма широко в пределах рудного тела и рудоносного порфирового интрузива (Рисунок 4.14). Низкие концентрации фиксируются на флангах, в подрудной зоне и в осевой зоне рудного тела.

Для концентрации *меди* в халькопиритах удалось выявить образцы с пониженными относительно фонового (350000 ppm) значениями (до 300000 ppm). Такие образцы отобраны из средних и глубоких частей порфирового интрузива (Рисунок 4.15), которые также характеризуются повышенными содержаниями кобальта, никеля, свинца и ряда других микроэлементов, «характеризующих» медь в халькопиритах.

Цинк в халькопиритах характеризуется приуроченностью максимумов (50–100 ppm) к центральным (окисленным?) и нижнерудным частям рудного тела (Рисунок 4.15).

Картина распределения содержаний *свинца* в халькопиритах в значительно степени отличается от распределения содержаний цинка. Так, практически все максимумы содержаний свинца в халькопиритах (100 и более ppm) приурочены к порфировому интрузиву. Отдельные «ураганные» содержания превышают 1000 ppm. Такие зоны с экстремально высокими содержаниями свинца в халькопирите соответствуют участкам порфирового интрузива с сниженными значениями содержаний меди в халькопиритах. Фоновые значения содержания свинца в пределах месторождения составляют 25–50 ppm (Рисунок 4.16).

Висмут в халькопиритах в пределах всего месторождения распределён относительно равномерно. Значения выше 10 ppm на фоне 3–5 ppm отмечаются преимущественно на флангах рудного тела (Рисунок 4.16).

Максимумы содержаний *молибдена* в халькопиритах отчетливо приурочены к двум зонам: верхний контакт порфирового интрузива (до 13 ppm) и наиболее богатая часть прогнозируемого рудного тела (до 16 ppm).



Рисунок 4.14. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в халькопиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению кобальта и никеля



Рисунок 4.15. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в халькопиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению меди и цинка



Рисунок 4.16. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в халькопиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению свинца и висмута

В других частях месторождения содержания молибдена в халькопирите распределены весьма равномерно и отличаются пониженными значениями (менее 1 ppm) (Рисунок 4.17).

Для *серебра* в халькопиритах характерна приуроченность максимумов (до 1000 ppm и более) к центральной, фланговым и подрудной частям рудного тела (Рисунок 4.17). Фоновые значения содержаний серебра в халькопиритах составляют, как правило, менее 20 ppm.

Золото в халькопиритах распределено весьма неравномерно. Максимумы содержаний данного элемента в халькопиритах (до 1 ppm) приурочены к намечающейся крутопадающей зоне в западной части рудного тела, в участке градиентного увеличения его мощности (Рисунок 4.18). В пределах большей части месторождения значения содержаний золота в халькопиритах составляют весьма малые показатели, как правило, ниже предела обнаружения (0,1 ppm и менее). Стоит отметить, что для многих месторождений медно-порфирового семейства золото приурочено именно к халькопиритам [Zwahlen, C. at all, 2014].

Максимумы содержаний *мышьяка* в халькопиритах соответствуют энодоэкзоконтактовым частям порфирового интрузива (верхний и нижний контакты). Значения содержаний мышьяка здесь достигают 100–200 ppm, в единичных пробах до 500 ppm. Фоновые содержания мышьяка составляют менее 100 ppm (Рисунок 4.18).

Распределение *селена* в халькопиритах в пределах месторождения Кызык-Чадр напоминает распределение селена и золота в пиритах этого месторождения. Максимумы (200–300 ppm) тяготеют к западной и восточной частям месторождения (в продольном разрезе), к участкам увеличения мощности рудного тела. В центральной части месторождения, которая также маркировалась повышенными содержаниями свинца в халькопирите, значения содержаний селена в халькопиритах снижено и составляет менее 100, а местами менее 10 ppm. Наиболее отчётливо зона сниженных значений содержаний селена в халькопиритах в пределах порфирового интрузива прослеживается на поперечном разрезе (Рисунок 4.19).

В ходе выполнения опытно-методических работ были также зафиксированы элементы платиновой группы в халькопиритах: платина, палладий и родий (Рисунок 4.19). В большинстве изученных образцов содержания данных элементов в халькопиритах ниже предела обнаружения, либо приближены к нему. Однако, выделяется отдельная зона в центральной части прогнозируемого рудного тела, где значения суммы содержаний элементов платиновой группы в халькопиритах составляют до 10 ppm. Также в отдельных образцах халькопирита отмечены ураганные содержания родия (1230 ppm) и палладия (480 ppm). Среди трёх перечисленных элементов платиновой группы наибольшее распространение в халькопиритах имеет именно родий. Платина и палладий зафиксированы лишь в единичных образцах. Образцы халькопирита с элементами платиновой группы относятся к пирит-халькопирит-молибденитовой и халькопиритовой минеральным ассоциациям. Стоит также отметить, что в пиритах месторождения Кызык-Чадр в ходе проведения опытно-методических работ металлы платиновой группы встречены не были, однако для многих молибден-медно-порфировых месторождений характерно наличие металлов платиновой группы именно в пиритах, при этом прослеживается корреляция между содержанием кобальта и данных элементов. Для халькопиритов наличие металлов платиновой группы не столь характерно, однако для некоторых месторождений (Рио-Бланко в Чили, Кальмакыр в Узбекистане [Pašava at all, 2010] было ранее обнаружено содержание металлов платиновой группы именно в халькопиритах, при этом отмечалась приуроченность металлов платиновой группы к зоне калиевых изменений [Crespo at all, 2018].

Так же, как и в случае с пиритами, для халькопиритов были проанализированы пространственные распределения *отношений содержаний* элементов-микропримесей. Изучались отношения Co/Ni и Ag/Co.

Максимумы значений отношения содержаний Co/Ni в халькопиритах (до 0,5) соответствуют верхнему контакту порфирового интрузива в зоне окисления. Также повышенными значениями данного отношения (до 0,3) характеризуется порфировый интрузив в целом. Фоновые значения отношения содержаний Co/Ni в халькопиритах составляют, как правило, менее 0,1 (Рисунок 4.20).

Максимумы значений отношения содержаний Ag/Co в халькопиритах соответствуют центральной части прогнозируемого рудного тела и локализуются за пределами порфирового интрузива и зоны окисления (Рисунок 4.20). Значения отношения Ag/Co в халькопиритах здесь составляют 10 и более, в отдельных случаях более 100, фоновые значения Ag/Co в халькопиритах менее 10. Также на поперечном разрезе прослеживается некоторая приуроченность максимумов значений Ag/Co в халькопиритах для зоны контакта порфирового интрузива.

Таким образом, для халькопиритов, как и для пиритов, по содержанию микроэлементов устанавливается чередование зон с максимальными и минимальными значениями содержаний микроэлементов-примесей и их отношениями, связанное с положением в пространстве главных элементов строения месторождения — порфирового интрузива и его контактов и контурами рудных тел.

Так, для порфирового интрузива характерны максимальные значения содержаний в халькопиритах Au, Pb, Ni, Co, Bi, минимальные значения содержаний Cu и Se. Для наиболее богатой части рудного тела максимальные значения содержаний в халькопиритах характерны для Mo, Cu, Zn, Ni. Для контактов порфирового интрузива характерны повышенные значения содержаний As, Mo, Ag, Ni и элементов платиновой группы, а также отношений Ag/Co и Co/Ni. В отдельных частях зоны окисления фиксируются повышенные значения содержаний Co, Ag, Zn и отношения Co/Ni. Элементом, повышенные содержания которого фиксируются за пределами контура прогнозируемого рудного тела, является Ag.

Интерпретация полученных аналитических данных с использованием цифровых методик обработки позволила автору выявить закономерные черты зональности распределения микропримесей основных элементов-индикаторов в объеме месторождения. Отмечено, что от центра к периферии рудного тела в пиритах отчетливо снижается содержание меди, серебра, молибдена и соотношение серебра к кобальту, а также увеличивается доля никеля, мышьяка и соотношения кобальта к меди, а в халькопиритах уменьшается содержание кобальта, молибдена, цинка, суммы платиноидов.

Наибольшей контрастностью характеризуются разработанные автором комплексные (мультипликативные) коэффициенты зональности: К(пи) = Cu²×Mo/Pb×Zn×Bi (для пирита) и K(хп) = Co×Mo/Se×Bi (для халькопирита), значения которых последовательно уменьшаются от центра к периферии рудоносного штокверка месторождения Кызык-Чадр (Рисунок 4.21). В числителе коэффициентов зональности помещены элементы, характерные для центральных частей месторождения, а в знаменателе — для фланговых частей.

Выявленные тенденции «скрытой» минералого-геохимической зональности, установленные с использованием различных физико-химических методов (рентгенофазовый и микрозондовый анализы, инфракрасная спектроскопия, масс-спектрометрия с лазерной абляцией), согласуются с установленной традиционными методами концентрической минералогической рудно-метасоматической зональностью месторождения

100



Рисунок 4.17. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в халькопиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению молибдена и серебра



Рисунок 4.18. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в халькопиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению золота и мышьяка



Рисунок 4.19. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в халькопиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению селена и по сумме платиноидов (платина+палладий+родий)



Рисунок 4.20. Продольные и поперечные (по буровому профилю 909-908-920) разрезы с элементами «скрытой» минералого-геохимической зональности в халькопиритах месторождения Кызык-Чадр по распределению соотношения кобальта к никелю и серебра к кобальту



1 — точки отбора проб; 2 — контур меднорудного тела по С борт Си 0,2%; 3 — контур меднорудного тела по С борт Си 0,4%; 4 — рудоносный порфировый интрузив: кварцевые диорит-порфириты, гранодиорит-порфиры; 5 — зоны интенсивной трещиноватости, катаклаза и милонитизации (малоамплитудные тектонические нарушения); 6 — скважины АО «Сибирское ПГО» 2017–2019 гг. и их глубина, м

Рисунок 4.21. Модель «скрытой» минералого-геохимической зональности месторождения Кызык-Чадр по соотношению элементовмикропримесей в пиритах и халькопиритах: вариации отношения Ag/Co и комплексных (мультипликативных) коэффициентов зональности: K(py) = Cu²*Mo/Pb*Zn*Bi (для пирита) и K(chp) = Co*Mo/Se*Bi (для халькопирита) (по данным LA-ICP-MS)

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВЫХ И ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ НА ОРУДЕНЕНИЕ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО И СОПРЯЖЕННЫХ ТИПОВ В ПРЕДЕЛАХ КЫЗЫКЧАДРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ И ДРУГИХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА

На основе результатов выполненных исследований автором подготовлены практические рекомендации по направлениям прогнозно-минерагенических, поисковых и оценочных работ на оруденение медно-порфирового и сопряженных типов Алтае-Саянского региона.

Выбор площадей для постановки прогнозно-минерагенических работ

Интерпретация палеотектонической позиции молибден-медно-порфирового оруденения Кызыкчадрского рудного поля в региональных структурах позволило наметить, в пределах южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП площади, перспективные на выявление медномолибден-порфирового оруденения. По аналогии с позицией известных объектов порфирового типа (месторождения Кызык-Чадр, Аксуг, Сорское), в качестве перспективных площадей выбирались участки в ранге потенциальных рудных районов (1500 км²), в пределах которых совмещены ареалы распространения разнотипных и разновозрастных магматических образований (Рисунок 2.10) — вулканогенно-осадочных формаций островодужного типа (V- C_1), крупных интрузивов габбро-тоналит-плагиогранитовой формации (C_2) и (3) вулканоплутонических образований кислого и субщелочного составов (O-D₁). При выборе перспективных площадей учитывалось также наличие известных проявлений меди, молибдена, золота.

Как показал проведенный анализ геологической, геофизической и геохимической изученности выделенных участков, сдесь не проводились среднемасштабные и более детальные геологосьемочные работы, в связи с чем их геологическое строение изучено не достаточно полно (Рисунок 5.1). В то же время, совмещение в их предеах ареалов распространения разнотипных и разновозрастных магматических образований, т.е. длительная магматическая активность, позволяет предположить, что именно в их пределах наиболее вероятно обнаружение ранее не выявленных ареалов распространения продуктивных на медно-порфировое оруденение интрузивных образований, аналогичных образованиям рудоносного кызыкчадрского интрузивного комплекса габбро-диорит-гранодиорит-гранитной формации (С2-3). На этом основании локализованы перспективные для детального изучения площади с размерами,



отвечающими рудным узлам и рудным районам (400–2000 км²), которые могут быть рекомендованы для постановки прогнозно-ревизионных работ на оруденение порфирового типа.

1 — Площади, рекомендуемые для постановки прогнозно-ревизионных работ на медно-порфировое оруденение; 2–3 — участки пространственного совмещения ареалов трех геотектонических стадий: 2 — с известным медно-порфировым оруденением, 3 — с прогнозируемым медно-порфировым оруденением; 4-6 — геологические масштаба 1:200 000: 4-не изданная, 5-первого карты поколения, 6-второго поколения; 7-11 — изученность исследуемого района геологосъемочными и поисковыми работами разного масштаба: 7 — 1:2 000 и детальнее, 8 — 1:5 000-1:10 000, 9 — 1:25 000-1:50 000, 10 — 1:100 000, 11 — внемасштабные; 12 — Государственная граница Российской Федерации

Рисунок 5.1 Схема расположения площадей, рекомендуемых на медно-порфировое оруденение в пределах южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП с учетом степени геологической изученности территории. Выделены недостаточно изученные площади в пределах участков пространственного совмещения или сочленения ареалов распространения магматических образований островодужной, аккреционно-коллизионной и коллизионной стадий геотектонического развития.

Определение направлений геологоразведочных работ на месторождении Кызык-Чадр

Выполненная детальная характеристика основных черт геологического строения, вещественного состава, рудно-метасоматической, минералого-геохимической зональности

потенциально промышленного месторождения Кызык-Чадр и одноименного рудного поля, в том числе их специфических особенностей, позволяет предложить рекомендации по направлениям дальнейших геологоразведочных работ в пределах этого объекта. Интерпретация разработанной объемной модели рудно-метасоматической зональности и выявленных элементов «скрытой» минералого-геохимической зональности Кызык-Чадра указывает на распространение промышленного медно-молибден-порфирового оруденения месторождения на глубину до 700–800 м и более. В качестве наиболее перспективной части рудоносной зоны месторождения Кызык-Чадр выделен блок в пределах поисковых профилей в восточной части рудной зоны месторождения. Этот блок характеризуется наиболее полно проявленным зонально построенным комплексом околорудных метасоматитов и включает весь набор продуктивных рудных минеральных ассоциаций (Рисунок 5.2).

При проведении последующих детализационных работ в пределах указанного блока рекомендуется проходка нескольких структурных скважин до глубины 800 м в целях оценки перспектив глубоких горизонтов месторождения. Кроме того, возможно выявление на глубине не вскрытых на поверхности новых кулисообразных рудных тел в западной части рудоносной зоны.

Рекомендации по использованию «скрытой» минералого-геохимической зональности при поисках медно-порфирового оруденения

Установленная на основе результатов применения комплекса физико-химических методов (рентгеноструктурный анализ, LA ICP-MS) схема «скрытой» минералого-геохимической зональности месторождения Кызык-Чадр (Рисунок 4.7 – Рисунок 4.20) интегрирована в актуализированный вариант геолого-поисковой модели оруденения медно-порфирового типа Кызыкчадрского рудного поля и Алтае-Саянского региона в целом. Установленные тенденции зональности распределения в пространстве типоморфных признаков минералов-индикаторов, включая вариации содержаний элементов-микропримесей в рудообразующих сульфидах, могут использоваться при предварительном оконтуривании рудоносных штокверков, оценке уровня эрозионного среза оруденения и прогнозировании позиции наиболее богатых частей рудных тел на стадии поисковых работ (Рисунок 5.3).


Рисунок 5.2. Продольные схематические геологические разрезы месторождения Кызык-Чадр

Красной пунктирной рамкой отмечено предполагаемое продолжение рудной зоны на глубоких горизонтах месторождения на основе метасоматической и рудной зональности (условные обозначения см Рисунок 3.32, Рисунок 3.34)



Рисунок 5.3. Продольные схематические геологические разрезы месторождения Кызык-Чадр

Красной пунктирной рамкой отмечено предполагаемое продолжение рудной зоны на глубоких горизонтах месторождения на основе разработанных коэффициентов «скрытой» минералого-геохимической зональности (условные обозначения см Рисунок 4.21) В целях разработки и внедрения методики поискового применения «скрытой» минералого-геохимической зональности для широкого использования при геологоразведочных работах на медно-порфировое оруденение рекомендована постановка опытно-методических работ и апробация данной методики на месторождениях порфирового типа различных регионов.

Совершенствование геолого-поисковой модели медно-порфирового оруденения

По результатам выполненных работ разработан современный вариант геологопоисковой модели оруденения медно-порфирового типа Кызыкчадрского рудного узла, поля и месторождения.

Модель включает систематизированный комплекс взаимосвязанных элементов, отражающий структурно-тектонические, петрологические, литолого-петрографические, минералого-геохимические, физико-химические факторы, определившие геологическое строение, вещественный состав и зональность Кызыкчадрского рудного поля, молибден-меднопорфировых и сопряженных золото-сульфидно-кварцевых рудных тел в его составе, их типовые черты и специфические особенности [Гирфанов, Андреев, Авилова, Старостин, 2019; Бабкин, Семенов, 2019ф]. Отличительной особенностью разработанной модели является интеграция в нее минералого-геохимических и физико-химических факторов, определяемых на основе современных высокотехнологичных минералого-геохимических методов поисков и оценки оруденения. Разработанная геолого-поисковая модель использована при проведении поисковых и оценочных работ в пределах Кызыкчадрского рудного поля, рекомендована для использования при геологоразведочных работах на медно-порфировое оруденение в Алтае-Саянской металлогенической провинции и других перспективных регионах в целях выявления наиболее перспективных рудных полей и поисковых участков, локального прогнозирования и определения направлений поисковых работ.

Уточнение комплекса поисковых критериев и признаков, составляющего геологопоисковую модель медно-молибденовых объектов, адаптированную к условиям южной части Кызыкчадрского рудного узла, выполнено с учетом новых данных, полученных по результатам работ по уточнению характеристики вещественного состава и зональности рудной минерализации и метасоматитов месторождения и уточнения схем формационного расчленения интрузивных образований площади работ.

Основной перспективный объект узла — месторождение Кызык-Чадр традиционно относится по комплексу признаков к молибден-медно-порфировому геолого-промышленному типу. Это позволяет применить детально разработанную геолого-поисковую модель объектов данного геолого-промышленного типа к поискам и оценке оруденения медно-порфирового типа в пределах Кызыкчадрского рудного узла. Необходимая адаптация типовой геолого-поисковой

модели к региональной геологической обстановке и условиям поисков выполнена нами с учетом изучаемых особенностей геологического строения Кызыкчадрского узла и вещественного состава и зональности развитых в его пределах магматических образований, метасоматических изменений, рудной минерализации и гипергенных преобразований, а также имеющихся данных геофизических и геохимических поисков и результатов горно-буровых геологоразведочных работ (Таблица 5.1).

В соответствии с принятыми методическими требованиями, геолого-поисковая модель представлена в табличной форме как разноранговая система для характеристики основных прогнозно-металлогенических таксонов, выделяемых в рамках локального прогноза (рудный узел – рудное поле – поисковый участок). В качестве основных элементов модели выступают поисковые критерии и признаки, сгруппированные в последовательный ряд: формационные, структурные, формационно-петрологические (литологические), метасоматические, геохимические, минералогические и геофизические поисковые критерии и признаки. Для объектов прогноза в ранге потенциальных рудных полей и месторождений определяется перечень предварительно установленных минералого-геохимических типов руд, приводятся данные о содержаниях полезных компонентов в рудах, ожидаемой морфологии прогнозируемых рудных тел, краткая характеристика зоны гипергенеза.

Прогнозно-поисковая модель составлена с учетом двух рудноформационных типов оруденения, установленных в пределах площади работ — штокверкового золотосодержащего молибден-медно-порфирового (месторождение Кызык-Чадр) и золото-сульфидно-кварцевого (участок «Жила № 1»).

Выполненные исследования позволили выделить комплекс геолого-поисковых признаков оруденения золотосодержащего молибден-медно-порфирового типа и сопряженного золотосульфидно-кварцевого жильного типа для южной части Кызыкчадрского рудного узла. На основе выделенного комплекса признаков составлена прогнозно-поисковая модель, адаптированная к условиям территории работ, которая предназначена, для использования при проведении дальнейших геолого-поисковых работ в пределах Алтае-Саянского региона.

Ниже, в порядке, отвечающем последовательности видов поисковых критериев и признаков типовых геолого-поисковых моделей, приводится краткая характеристика основных элементов строения Кызыкчадрского рудного узла и входящих в его состав прогнозно-поисковых таксонов более высокого порядка — Кызыкчадрского рудного поля и входящих в его состав — месторождения Кызык-Чадр и участка «Жила №1».

Кызыкчадрский рудный узел

Кызыкчадрский рудный узел отвечает южной части полиформационного Ожинского интрузивного массива среднекембрийского возраста.

Формационные признаки

Медно-порфировое оруденение Кызыкчадрского узла связано со становлением раннепалеозойского кызыкчадрского интрузивного комплекса (€2-3) габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации. Вулканогенных образований, образующих ВПА с рудоносными плутонитами на территории рудного узла не выявлено.

Имеются результаты изотопного датирования (U-Pb, SHRIMP II по цирконам) интрузивных образований Кызыкчадрского узла гранитов 508±7, кварцевых порфиров 507±2, гранодиорит-порфиров 490±4 млн лет.

Перекрывающие образования не установлены. В качестве прорывающей развита долеритовая формация (D).

К подстилающим (рудовмещающим) формациям, образующим раму рудоносных интрузивов, могут быть отнесены следующие: терригенная флишоидная формация С₁, базальтандезитобазальтовая вулканогенно-карбонатно-терригенная, метаморфизованная (туматтайгинская свита С₁); габбро-диорит-гранитовая (таннуольский интрузивный комплекс С₁).

Гранодиорит-гранитовая формационная принадлежность рудоносной плутонической формации и присутствие базитовой составляющей в составе фундамента ВПП в районе Кызыкчадрского рудного узла определяют его перспективность в отношении медно-порфирового оруденения.

Структурные (тектонические, магматогенные) признаки

Рудный узел расположен в юго-западной части Восточно-Тувинской салаирской складчатой системы, у границы с Тоджинско-Уюкской наложенной палеозойской (D₁) впадиной. Позиция узла контролируется зоной субширотного (восток-северо-восточного) глубинного разлома (Хемчикско-Азасский разлом).

В структурном плане узел соответствует интрузивному палеоподнятию, образованному Ожинским полиформационным плутоном таннуольского и кызыкчадрского комплексов.

Литолого-петрологические признаки

В составе рудоносного кызыкчадрского комплекса могут быть выделены следующие фазы внедрения: главные фазы внедрения — диориты, кварцевые диориты, порфировидные гранодиориты, граниты; габбро, монцодиориты; породы «порфировых» фаз — диоритовые порфириты, кварцевые диоритовые порфириты, гранодиорит-порфиры, «кварцевые порфиры» гранит-порфирового состава (метасоматические?); монцодиорит-порфириты; породы пострудной дайковой серии — диоритовые порфириты, долериты.

По петрохимическим характеристикам породы кызыкчадрского комплекса относятся к породам умереннощелочного ряда. В ряду пород кызыкчадрского комплекса от разностей

основного состава к разностям кислого состава происходит плавное закономерное повышение содержания калия, тем самым габброиды принадлежат известково-щелочной умереннокалиевой петрохимической серии, а более кислые породы — к известково-щелочной высококалиевой серии. В отличие от кызыкчадрского комплекса, породы таннуольского комплекса характеризуются нормальной щёлочностью, относятся к умереннокалиевой щелочно-известковистой магнезиальной серии.

Метасоматические признаки

В пределах узла отмечаются ранние контактовые проявления метаморфизма, которые выражаются в ороговиковании вмещающих терригенных пород.

Гидротермально-метасоматические изменения проявлены серией ареалов гидротермальных изменений (серицитизация, окварцевание, пропилитизация) с окисленной и полуокисленной сульфидной минерализацией. Размеры по длине и ширине таких комплексных ареалов составляют до нескольких километров.

Рудно-минералогические признаки

В пределах узла известны рудопроявления (потенциальные месторождения) и пункты штокверковой, жильно-прожилковой и вкрапленной минерализации меди и молибдена медномолибден-порфировой формации и сопряженные с ними проявления минерализации золота, поля и участки кварцевой, карбонатно-кварцевой жильной и жильно-прожилковой минерализации; проявления первичной и окисленной вкрапленной и прожилково-вкрапленной сульфидной и железооксидной минерализации. Промышленно значимая минерализация сконцентрирована на двух сближенных участках: месторождения Кызык-Чадр молибден-медно-порфирового типа и «Жила №1» жильного золото-медносульфидно-кварцевого типа.

Известны шлиховые пробы с единичными знаками золота.

Геохимические признаки

В пределах узла распространены разрозненные вторичные и первичные литохимические аномалии меди и ее элементов-спутников — молибдена, свинца, цинка, золота, серебра, вольфрама, мышьяка.

Рудные поля оконтуриваются по концентрации меди во вторичных ореолах рассеяния 0,005–0,01 % и выше.

Геофизические признаки

В геофизических полях узел выделяется градиентными зонами магнитного и гравитационного полей, маркирующими интрузивные массивы и рудоконтролирующие тектонические нарушения. Имеются отдельные геофизические аномалии ВП (>5%), фиксируются повышенная интенсивность магнитного поля (>50 нТл для «калиевой зоны») и высокие значения кажущегося сопротивления (5000–8000 Ом·м).

Морфология рудного узла

Кызыкчадрский рудный узел представляет собой вытянутый в плане в субширотном направлении ареал выходов интрузивных тел рудоносной плутонической формации общей площадью около 150 кв. км, сопровождающийся серией геофизических и геохимических аномалий, проявлениями и точками минерализации медно-порфирового и сопряженных рудноформационных типов.

Краткая характеристика геологического строения и основные поисковые признаки оруденения Кызыкчадрского рудного узла, соответствующие элементам его прогнознопоисковой модели, представлены в Таблица.

Кызыкчадрское рудное поле

Кызыкчадрское рудное поле расположено в центральной части одноименного рудного узла, включает штокверковое золотосодержащее молибден-медно-порфировое месторождение Кызык-Чадр, золото-сульфидно-кварцевое жильно-прожилковое проявление «Жила № 1» и ряд золотоносных кварцевых жил. Кызыкчадрское рудное поле линейно вытянуто с запада на восток, примерно на 10 км при ширине 4 км.

Разработанная геолого-поисковая модель объектов Кызыкчадрского рудного поля включает в качестве элементов следующие критерии и признаки.

Формационные признаки

Формационные признаки рудного поля полностью аналогичны формационным признакам рудного узла и приведены в предыдущей части.

Литолого-петрологические признаки

Литолого-петрографические признаки рудного поля в целом аналогичным таким признакам для рудного узла, однако, уровень этого таксона позволяет конкретизировать и детализировать их характеристику в прикладных целях.

В качестве ведущего литолого-петрографического признака рассматривается широкое распространение в пределах рудного поля порфировых пород рудоносного интрузивного комплекса, слагающих малые пластинообразные и дайкообразные тела, прорывающие гранитоиды главных фаз внедрения продуктивного кызыкчадрского интрузивного комплекса.

Главная фаза внедрения кызыкчадрского габбро-диорит-гранодиорит-гранитового комплекса представлена среднезернистыми диоритами, кварцевыми диоритами, порфировидными мелко-среднезернистыми гранодиоритами, средне-крупнозернистыми гранитами, а также средне-крупнозернистыми габбро и среднезернистыми монцодиоритами. Все эти породы слагают крупный Кызыкчадрский интрузивный массив, локализованный в южной части полиформационного Ожинского плутона, сложенного в своей большей части гранитоидами таннуольского комплекса.

На месторождении выделено несколько разновидностей порфировых пород, с телами которых тесно ассоциирует медно-порфировое оруденение — диоритовые порфириты, кварцевые диоритовые порфириты, гранодиорит-порфиры, «кварцевые порфиры» гранит-порфирового состава (метасоматические?); монцодиорит-порфириты. С учетом существующей типовой схемы последовательности становления рудоносных гранитоидных комплексов медно-порфировых рудных районов, они могут рассматриваться совместно без расчленения в составе единой «порфировой фазы» кызыкчадрского комплекса, образующей кулисообразную систему мощных крутопадающих пластинообразных тел (порфировый интрузив).

К завершающим становление кызыкчадрского комплекса и образованиям дайковой серии могут быть отнесены пострудные дайки диоритовых порфиритов, андезитов и долеритов, которые могут по возрасту относиться к более поздним, девонским образованиям.

Благоприятными для прогноза медно-порфирового оруденения Кызыкчадрского рудного поля являются такие литолого-петрографические признаки, как широкое распространение порфировых пород рудоносного плутоногенного комплекса, наличие нескольких разновидностей (разных фаз внедрения) порфировых пород, слагающих «порфировые Отсутствие вулканогенной составляющей продуктивной ВΠА может интрузивы». свидетельствовать о значительной глубине формирования объекта или о глубоком уровне его последующего эрозионного среза.

Структурные признаки

Рудное поле приурочено к полифазному интрузиву кызыкчадрского комплекса в краевой части батолитоподобного интрузива таннуольского комплекса, в участке пересечения разноориентированных оперяющих разрывных нарушений системы субширотного глубинного разлома.

Структура Кызыкчадрского рудного поля определяет линейную конфигурацию рудоносного штокверка. Расположение объекта в пределах долгоживущей тектонической зоны определяет наличие пострудных смещений рудоносных зон и их деформаций. Наличие тел эксплозивных брекчий предполагает относительно малый эрозионный срез РМС объекта.

Метасоматические признаки

На уровне детальности, соответствующем рудному полю, метасоматические признаки проявляются в наличии серии крупных ореолов метасоматических изменений комплексного состава, образованных за счет телескопирования кварц-калишпатовых, кварц-серицитхлоритовых, альбит-эпидот-хлоритовых, карбонатных и глинисто-гидрослюдистых изменений. Метасоматические ореолы вмещают и обрамляют минерализованные зоны и рудные тела месторождений и рудопроявлений. Описание состава и зональности метасоматических ореолов и рудной минерализации приводится при характеристике прогнозно-поисковых признаков потенциального месторождения.

Наличие крупных комплексных метасоматических ореолов служит одним из ведущих прогнозно-поисковых признаков медно-порфирового оруденения.

Рудно-минералогические признаки

К оруденению собственно золотосодержащей молибден-медно-порфировой рудной формации в пределах Кызыкчадрского рудного поля относится местрождение Кызык-Чадр, а также ряд мелких плохо изученных штокверковых проявлений молибден-медной прожилкововкрапленной минерализации, зон прожилково-вкрапленной пиритизации. К минерализации сопряженных рудно-формационных типов, связанных с медно-порфировой рудномагматической системой, могут быть отнесены проявления, золото-сульфидно-кварцевый жильной (жильно-прожилковой) формации (Жилы № 1, 3, 5 другие).

Детальность характеристики рудного поля позволяет определить основной набор рудных минералов, слагающих минерализованные зоны и рудопроявления Кызыкчадрского рудного поля. Рудные минералы: главные — халькопирит, пирит, молибденит; второстепенные — магнетит, блеклые руды, борнит, гематит, рутил; редкие — галенит, сфалерит, арсенопирит, самородное золото; гипергенные — халькозин, дигенит, малахит, азурит, ковеллин, хризоколла, куприт, самородная медь, лимонит, гидроксиды железа; жильные — кварц, кальцит, хлорит, полевые шпаты, эпидот. По данным предшествующих ГРР, в рудах также присутствуют ферримолибдит, повеллит.

Отметим, что разнообразие рудной минералогии, присутствие борнита, галенита, сфалерита, гипергенных сульфидов меди является благоприятным признаком при экспертной оценке перспектив рудопроявлений медно-порфирового типа на ранних стадиях поисков.

Химический состав проявлений медно-порфирового формационного типа отвечает приведенному минеральному состав (Си, Мо, Аи)

Минеральный и химический состав проявлений сопутствующей минерализации Кызыкчадрского рудного поля относительно однообразен: пирит, борнит, халькопирит, золото (Pb, Zn, Cu, Au). Гипергенные — лимонит, халькозин, дигенит, ковеллин, куприт, лимонит.

Геохимические признаки. Минерализованная зона месторождения отражается контрастным ореолом меди ВОР с концентрациями от 10 до 50×10^{-3} % и выше протяженностью более 2 км и шириной до 640 м (Рисунок 5.4); собственно меднорудное тело достаточно однозначно выражено концентрациями $>30 \times 10^{-3}$ %. Ореол молибдена с концентрациями $0,5-10 \times 10^{-3}$ % и выше в целом соответствует ореолу меди, но развит несколько шире (Рисунок 5.4), так как молибденитовая минерализация распространена и за пределами меднорудного тела во внешних частях филлизитовой зоны. Ореолы рассеяния свинца и цинка, как и характерно для медно-порфировых

объектов, концентрируются на периферии месторождения (Рисунок 5.4). Серебро образует ореолы повышенных концентраций 1–2 г/т и более как в пределах рудной зоны, так и на периферии (Рисунок 5.5), что может указывать на связь серебра с широко проявленной пиритовой минерализацией. Золото тесно ассоциирует с молибден-медно-порфировыми рудами, достигая максимальных концентраций (0,02–0,03 г/т с пиками до 0,05 г/т и выше) в пределах рудного тела, а также отражает узкие зоны собственно золото-сульфидной минерализации, присутствующие на южном фланге месторождения (Рисунок 5.5). При этом пики содержаний золота практически полностью коррелируют с максимальными значениями ВП, что однозначно интерпретируется как наиболее богатые сульфидами части минерализованной зоны.

Кроме основных элементов-индикаторов медно-порфирового оруденения комплексный геохимический ореол месторождения характеризуется наличием вольфрама и олова в пределах рудного тела, сурьмы и висмута — на периферии. Аномальные концентрации As характерны для зон золото-сульфидной и полиметаллической минерализации как в пределах рудного тела, так и на его периферии. Основные элементы выноса, концентрации которых закономерно снижаются от периферии минерализованной зоны в направлении рудного тела: Cr, Co, Ni, V, Mn.

По особенностям геологической позиции, строения и состава Кызык-Чадрское месторождение принадлежит к типовым золотосодержащим молибден-медно-порфировым месторождениям. Вместе с тем, отмечается ряд особенностей морфологии рудных тел и вещественного состава этого месторождения: ярко выраженный линейный (лентовидный в плане) характер и крутое падение зоны и ее составляющих, редуцированное распространение наиболее продуктивной типовых медно-порфировых месторождениях калиевой на метасоматической зоны с практически полным отсутствием реликтов характерного для нее вторичного биотита и резкое преобладание филлизитовых изменений. Эти особенности могут быть обусловлены формированием оруденения в пределах долгоживущей разломной зоны, экранирующим эффектом вмещающей интрузив метаморфизованной толщи и преимущественно кислым составом вмещающих оруденение интрузивных пород. Геолого-поисковая модель месторождения в табличной форме представлена в Таблица

Первичные и вторичные ореолы рассеяния основных элементов-индикаторов меднопорфирового оруденения — Си, Мо, Аи с концентрациями меди 0,01–0,6%, молибдена 0,001– 0,02 %, золота 0,01–0,3 г/т, а также элементов-спутников — Ag, Pb, Zn, As, Bi, Co и др. Многочисленные сближенные контрастные концентрически зональные комплексные вторичные аномалии меди и ее элементов-спутников образуют широкие аномальные зоны. Рудные поля оконтуриваются по концентрации меди во вторичных ореолах рассеяния 0,01 % и выше.



Рисунок 5.4. Вторичные ореолы меди (Cu), молибдена (Mo), свинца (Pb) и цинка (Zn) месторождения Кызык-Чадр и его периферии (составлено по первичным данным литохимического опробования АО «Сибирское ПГО»)



Рисунок 5.5. Вторичные ореолы золота (Au) и серебра (Ag) месторождения Кызык-Чадр (составлено по первичным данным литохимического опробования АО «Сибирское ПГО»)

Геохимическое поле Кызыкчадрского рудного поля, его крупные размеры, комплексный состав и концентрическая зональность отражают наличие в его пределах перспективных минерализованных зон с оруденением медно-порфирового формационного типа.

Геофизические признаки. Проявлены отрицательные магнитные аномалии (ΔT) на фоне повышенных значений окружающего геомагнитного поля, маркирующие области развития метасоматических изменений, в т.ч. осевые зоны кислотного метасоматоза. В пределах рудного поля установлены аномалии ВП (аномалии поляризуемости интенсивностью η>4%), фиксирующие рудные тела и «пиритовые ореолы» на флангах и периферии рудных тел), фиксирующие в сочетании с аномалиями пониженного сопротивления зоны развития сульфидной минерализации; повышенные значения кажущегося сопротивления маркируют зоны окварцевания. Минерализованные зоны прослеживаются на глубину по графикам вертикального электрического зондирования (электротомография).

Сочетание магнитных и электроразведочных аномалий в пределах Кызыкчадрского рудного поля отражает развитие магнетитсодержащих магматических пород окисленного типа и высокотемпературных калиево-кремниевых (с магнетитом) метасоматитов с наложенным на них среднетемпературным метасоматозом кислотного выщелачивания филлизитового типа с разложением магнетита), что характерно для крупных долгоживущих штокверковых магматогенных гидротермальных систем порфирового типа. Аномалии ВП фиксируют крупные зоны сульфидизации — пиритизации, обычно на флангах штокверковых рудных тел.

Морфология рудного поля

Кызыкчадрское рудное поле включает месторождение Кызык-Чадр и участок «Жила 1», а также серию точек минерализации медно-порфирового и сопряженных рудноформационных типов. Кызыкчадрское рудное поле представляет собой слабо вытянутый в субширотном направлении ареал (5×1 км) пластинообразных и дайкообразных тел гранитоидных порфировых пород рудоносной формации, сопровождающийся сближенными зонами гидротермально-измененных пород, сульфидной минерализации, маркируемыми литохимическими ореолами и геофизическими аномалиями.

Предполагаемый общий уровень эрозионного среза рудно-магматической системы рудного поля верхнерудный-среднерудный, благоприятный. Мощность рыхлых отложений варьирует от небольшой (1–2 м) до значительной (более 5–8 м), что осложняет условия поисков промышленного оруденения.

Краткая характеристика геологического строения и основные поисковые признаки оруденения Кызыкчадрского рудного поля, соответствующие элементам его прогнознопоисковой модели, представлены в таблицах (Таблица 5.1, Таблица 5.2).

Таким образом по результатам выполненных исследований разработаны следующие рекомендации для использования при проведении поисковых и оценочных работ на оруденение медно-порфирового и сопряженных типов в пределах кызыкчадрского рудного поля и других перспективных площадей Алтае-Саянского региона.

1. Выделены площади для постановки прогнозно-ревизионных (прогнозноминерагенических) работ на оруденение порфирового типа в пределах южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП.

2. Рекомендовано проведение оценки глубоких горизонтов рудоносной зоны месторождения Кызык-Чадр, намечены участки первоочередных буровых работ.

3. Рекомендована постановка опытно-методических работ на месторождениях порфирового типа различных регионов с целью разработки и внедрения методики поискового применения «скрытой» минералого-геохимической зональности для широкого использования при геологоразведочных работах на медно-порфировое оруденение.

Уточненная геолого-поисковая модель молибден-медно-порфировых объектов, адаптированная к условиям южной части Кызыкчадрского рудного узла

				1
1	2	3	4	5
Элементы модели	Рудный узел (РУ)	Рудное поле (РП)	Поисковы	й участок (ПУ)
			золотосодержащий молибден-медно- порфировый рудно-формационный тип	золото-сульфидно-кварцевый жильный (жильно-прожилковый) рудно-формационный тип
1. Формационные 1.1. Рудоносные (рудовмещающие) плутонические формации, продуктивные на оруденение медно- порфирового и сопряженных с ним рудно- формационных типов	Диорит-гранодиорит-гранитовая (кыз	ыкчадрский интрузивный комплекс	с С ₂₋₃ или D ₁ ?)	
1.2. Рудовмещающие вулканические формации продуктивных ВПА	Отсутствуют			
1.3. Перекрывающие (прорывающие) формации	Долеритовая D(?) прорывающая			
 1.4. Подстилающие (рудовмещающие) формации субстрата 	Терригенная флишоидная формация габбро-диорит-гранитовая (таннуольс	V-€1, базальт-андезитобазальтовая і кий интрузивный комплекс €1)	вулканогенно-карбонатно-терригенная, метамо	рфизованная (туматтайгинская свита V-€1);
2. Структурные	Юго-западная часть Восточно- Тувинской салаирской складчатой системы у границы с Тоджинско- Уюкской наложенной палеозойской (D ₁) впадиной. Интрузивное палеоподнятие, образованное Ожинским полиформационным плутоном таннуольского и кызыкчадрского комплексов. Зона субширотного (восток-северо-	Полифазный интрузив кызыкчадрского комплекса в провесе кровли батолитоподобного интрузива таннуольского комплекса, в участке пересечения разноориентированных оперяющих разрывных нарушений системы субширотного глубинного	Экзо-эндоконтактовая зона сложно ветвящегося вытянутого пластинообразного полифазного "порфирового интрузива" кызыкчадрского комплекса, локализованного в наиболее интенсивно дислоцированной осевой части зоны субширотного глубинного разлома; тела приконтактовых эксплозивных брекчий.	Интенсивно дисло-цированные алевросланцы лежачего контакта вытянутого крутопадающего линзообразного тела гранитов (1000 x 100–200 x 220 м) кызыкчадрского комплекса, в лежачем крыле краевого разрывного нарушения зоны субширотного глубинного разлома; тела тектонических брекчий; зоны трещиноватости и рассланцевания тектонических линз гранитоидов в метаморфитах.
	восточного) глубинного разлома (Хемчикско-Азасский разлом)	разлома	Зоны тектонических нарушений, оперяющих Зоны трещиноватости, катаклаза, милонитиза	глубинный разлом ации, рассланцевания, брекчирования
 3. Формационно-петрологические (фазы внедрения интрузивных комплексов рудоносных плутонических формаций) 3.1. Порфировые фазы продуктивных интрузивных 	Диоритовые порфириты, кварцевые д	иоритовые порфириты, гранодиори	ит-порфиры, "кварцевые порфиры" гранит-	Диоритовые порфириты
комплексов 3.2. Главные фазы внедрения продуктивных интрузивных комплексов	порфирового состава (метасоматические?); монцодиорит-порфириты Диориты, кварцевые диориты, порфировидные гранодиориты, граниты; габбро, монцодиориты, кварцевые монцодиориты			Граниты, порфировидные гранодиориты
3.3. Дайковый комплекс (пострудные фазы)	Диоритовые порфириты, долериты			н/д
4. Метасоматические	Серия ареалов распространения гидротермальных изменений (серицитизация, окварцевание, пропилитизация) с окисленной и полуокисленной сульфидной минерализацией	Кварц-серицитовые и серицит- кварцевые метасоматиты (с кальцитом, хлоритом); кварц- калишпатовые метасоматиты (с хлоритом); кварц-хлорит- альбитовые метасоматиты; кварц- серицит-альбит-(эпилот)-	Метасоматическая зональность заключается в смене от центра к периферии следующих генерализованных метасоматических зон: калиевой (Qz, Kfsp, Ab, chl), сохранившейся в виде реликтов; филлизитовой (Ser, Qz, chl, сс); пропилитовой с двумя подзонами: внутренней пропилитовой (Chl, Oz, kfsp. Ab.	Кварцево-жильные тела сопровождаются оторочками интенсивно милонитизированных пород, возможно, зонами аргиллизации, серицитизации, окварцевания.

Таблица 5.1

122

1	2	3	4
		хлоритовые пропилиты; метасоматиты сопровождают прожилково-вкрапленную сульфидную минерализацию	ser, cc) и внешней пропилитовой (Chl, ep, cc, ser, qz). В экзоконтактах "порфирового интрузива" фрагментарно развито интенсивное прожилковое окварцевание (кварцевый штокверк). Потенциально- промышленные тела прожилково- вкрапленных руд
			медно-порфирового типа приурочены к областям сопряжения калиевой, филлизитовой и внутренней пропилитовой метасоматических зон. В пределах внешни частей филлизитовой зоны и внешней пропилитовой подзоны развит «пиритовы ореол».
5. Геохимические	Серия вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов (Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, W, As)	Группа сближенных комплексных первичных ореолов рассеяния (ПОР) (по данным горных выработок) и вторичных ореолов рассеяния (ВОР) элементов-индикаторов (Си, Мо, Au, Ag, Pb, Zn)	Контур ПОР Си по изоконцентрате 0,05% отвечает границе минерализованной зоны включающей потенциально-промышленни рудные тела. Центральная часть рудоносн зоны с содержаниями меди выше 0,2% маркируется контрастным концентрически зональным ореолом Си, Мо, Рb и др. Содержания в рудах элементов-примесей данным спектрального анализа составляю (в ppm): Sn 10–30, Co <10, Ni 5–10, Ag 0,5 1,0; U 1–7, W 10–50 (в 10–15% проб), As 6 800 (20% проб), Sb 30–200 (5% проб), ртут 5 ppb (1–3% проб).
6. Минералогические	Проявления окисленной (ожелезнени вкрапленной и прожилково-вкраплени минерализации; жильные золото-квар кварцевые рудопроявления; данные о золотоносности отсутствуют.	е, медная зелень и т.п.) ной медной и молибденовой оцевые, золото-медносульфидно- россыпной и шлиховой	Проявления первичной (по скважинам), окисленной и полуокисленной вкрапленно и прожилково-вкрапленной медной и молибденовой минерализации. Многочисленные прожилки кварцевого, полевошпат-кварцевого карбонатно- кварцевого, хлорит-кварцевого состава мощностью от долей мм до первых сантиметров; нитевидные прожилки молибденита, халькопирита по трещинам. Зоны прожилково-вкрапленной пиритовой минерализации во фланговых частях рудн тел ("пиритовые ореолы").
7. Геофизические	Градиентные зоны магнитного и гравитационного полей, маркирующие интрузивные массивы и рудоконтролирующие тектонические нарушения	Отрицательные магнитные аномал области развития метасоматически фиксирующие рудные тела и «пир сопротивления, маркирующие зон	ии (ΔТ) на фоне повышенных значений окр их изменений (наземная магнитная съемка). итовые ореолы» на флангах и периферии р ы окварцевания.
8. Минералого-геохимические типы и состав руд - <i>Минеральный состав руд</i>			Рудные минералы главные — халькопири пирит, молибденит; второстепенные — блеклые руды, борнит, гематит магнетит; редкие — галенит, сфалерит, арсенопирит самородное золото, энаргит; гипергенные халькозин, малахит, азурит, ковеллин, хризоколла, лимонит; жильные — кварц, кальцит, хлорит, полевые шпаты, эпидот.

прооолжение тиолици э.	Тродолжение Таблиц	ı 5.	1
------------------------	--------------------	------	---

	5
ab, o	
й	
их	
ій	
) J	н/д
а, ње	
юй	
си	
по	
от 5-	
60–	
/ТЬ	
юй	Жильные (жильно-прожилковые?) золото- медносульфидно-кварцевые рудопроявления. Преобладающая текстура рудных тел
	брекчиевидная за счет цементации обломков
	кварца сульфидами меди.
*	
и ных	
nvw	
). Ан	омалии ВП (интенсивность $\eta > 4\%$),
удні	ых тел. Повышенные значения кажущегося
4Τ,	Рудные минералы главные — борнит, халькопирит; второстепенные — пирит; редкие
	— самородное золото; гипергенные —
г, э —	лимонит, жильные — кварц, кароонаты.

1	2	2	Λ
	2	3	4 (1) H
- Руоные минеральные ассоциации* - Минералого-геохимические типы руд*			 (1) Пиритовая; (2) магнетитовая; (3) борнит-халькопиритовая; (4) пирит-молибденит-халькопиритовая; (5) халькопирит-блеклорудная; (6) полиметаллическая (галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, блеклые руды) (1) Магнетит-борнит-халькопиритовый, (2) пирит-молибденит-блеклорудно-
			халькопиритовый, (3) пирит- халькопиритовый,
9. Содержания полезных компонентов в рудах			Си 0,05–0,5%, редко до 1–2,6%. Мо 0,005–0,02%, редко до 0,08% Аи 0,0n-0,n г/т, редко до 1-2 г/т
10. Морфология рудных тел			Штокверковые зоны медно-молибденовой минерализации (оруденения). Наиболее крупная штокверковая зона (1500–2000 х 100–200 м, предполагаемое соотношение длины к ширине в плане 10:1) локализована в экзо-эндоконтактах субширотного "порфирового интрузива", прорывающего интенсивно дислоцированные граниты кызыкчадрского комплекса. Границы штокверковых рудных тел выделяются только по данным опробования, предположительно конформны контактам "порфирового интрузива". Вдоль вытянутой в субширотном направлении минерализованной зоны предполагается чередование тектонических блоков, ограниченных поперечными нарушениями, с различным уровнем эрозионного среза прогнозируемых рудных тел. На флангах штокверковых рудных тел, на их выклиниваниях по простиранию и, вероятно, по восстанию выявлены единичные маломощные (до 0,1–2,0 м) непротяженные (40–170 м) золото- кварцевые(?) жилы
11. Зона гипергенеза	Зона выщелачивания (с уменьшение окварцованных участках до 100 м вд Зона окисления до глубины 40–100 м Зона вторичного сульфидного обога	м содержаний Си в рудных телах в 2 доль разрывных нарушений. м, невыдержанная, преобладают полу щения проявлена фрагментарно.	–3 раза — до 0,1% и ниже) мощностью 10–20 уокисленные руды.

Примечания:

Ab — альбит, Cc — кальцит, Chl — хлорит, Ep — эпидот, Kfsp — калишпат, Qz — кварц, Ser — серицит

Продолжение Таблица 5.1

	5
	(1) золото-кварцевая,
	(2) борнит-халькопиритовая
4T,	
-	
	(3) Золото-кварцевая,
	(4) борнит-халькопиритовая.
	Ац 8–14 г/т ло 16 г/т. в отлельных пробах от
	слелов до 150 г/т
	Си до 3 9% и более
ой	Зопото-медносульфилно-кваршевые жилы
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	относительно крутопалающие (45–60°) плавно
7	изгибающиеся, с разлувами и пережимами:
2	мощность от полей метра до 1 0-4 5 м
้วบว	протяженность по простиранию до 160–170 м
апа	протяженноств по простиранию до 100–170 м,
-0	по падению — до 170 м.
0	
M	
тои	
ми,	
K	
-20 n	и, невыдержанная, от 0 м в плотных

Геолого-поисковая модель золото-молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр

Части рудного	Рудное пространство месторождения			Фланговое пр	
и околорудного пространства →	Надрудное НРМ	Рудное РМ	Подрудное ПРМ	Надрудное НРФ	
Элементы модели (поисковые критерии и признаки) ↓					
1	2	3	4	5	
1. Формационные					
1.1. Продуктивная ВПА– Вулканогенная формация (состав, условия залегания)	Отсутствует (вероятно, эроди	ирована)			
 Рудоносная плутоногенная формация (возраст, состав, форма и размеры тел) 	Диорит-гранодиорит-гранитс кислые дифференциаты глав	Диорит-гранодиорит-гранитс линзовидно выпуклой на сен км). Имеет признаки зоналн преобладающих в составе и телами неравномернозернис диоритов и кварцевых диори	овая (кыз вер форм ьного рас антрузии стых и тов, габбр		
 Рудоносный порфировый интрузив (состав, форма, размеры и характер залегания тел) 		Сложно построенный образованный сближенн пластинообразными и порфировых пород различно гранодиорит- и гранит-пор извилистые очертания, удл западном направлении форм ширине 50–500 м, вытянут со дизъюнктивных нарушений	«порфировый интрузив», ными в пространстве дайкообразными телами ого состава (преимущественно офиры). Имеет неправильно- пиненную в западно-северо- иу, протяженность 2,5 км при огласно простирания основных		Дайкоо порфир порфир метры - сотни м
1.2. Перекрывающие (а) и прорывающие (б) формации (возраст, состав, мощность, характер залегания)	а) отсутствуют; б) маломощные дайки диорит-порфиритов, андезит-порфиритов, долеритов неопределенной формационной и возрастной принадлежности (Є-D?)			 а) отсутствуют; б) маломощные дайки апл неопределенной формационн 	итов, дис юй и возр
1.3. Формации рамы рудоносных интрузивов (возраст, состав, мощность, характер залегания)					Террига андезит терриге Є ₁); (таннуо
2. Структурные (тектонические, магматогенные и др.)	1	1	1	1	1
2.1. Контролирующие размещение интрузивов продуктивной формации	Провес кровли краевой част субширотного глубинного ра	и батолитоподобного интрузи злома	ва таннуольского комплекса, в	участке пересечения разноор	иентирова

Таблица 5.2.

остранство месторождения				
Рудное РФ	Подрудное ПРФ			
6	7			
зыкчадрский комплекс \mathbb{C}_{2-3}). Полифазная интрузия пы, вытянутая в субширотном направлении (12,5×3 спространения дифференциатов главных фаз: тело гранитов обрамляется мозаично распределенными порфировидных гранодиоритов, монцодиоритов, гродиоритов и габбро				
образные и мелкие п ритов, монцодиорит- ров, реже — гранит-п – первые десятки мет метров	покообразные тела диорит- порфиритов, гранодиорит- орфиров мощностью первые ров, протяженностью первые			
юрит-порфиритов, анд растной принадлежнос	езит-порфиритов, долеритов ти (Є-D?)			
генная флишоидно тобазальтовая сенная, метаморфизовал габбро-диорит-плагио ольский интрузивный и	-сланцевая и базальт- вулканогенно-карбонатно- нные (туматтайгинская свита гранитовая плутоногенная комплекс €2)			
ванных оперяющих раз	зрывных нарушении системы			

	1				1	
1	2	3	4	5	6	7
2.2. Контролирующие положение	Зоны тектонических нарушен	ий, оперяющих глубинный р	азлом. Зоны трещиноватости,	Зоны тектонических наруше	ний, оперяющих глубинный раз	влом. Зоны трещиноватости,
рудоносных порфировых фаз и	катаклаза, милонитизации,	рассланцевания, брекчирова	ссланцевания, брекчирования			
рудных тел	лислонированная осевая часть зоны субширотного глубинного разпома: тела					
	приконтактовых эксплозивны	х брекчий	5 1 7			
	ALLO DUROKOUTAKTOPAR 2019					
2.3. Гудовмещающие	Экзо-эндоконтактовая зона		пластиноворазного		зоны тектонических	
	полифазного «порфирового и	прузива» кызыкчадрекого ког	MILIERCa		нарушении,	
					трещиноватости, катаклаза,	
					милонитизации,	
					рассланцевания,	
					орекчирования, оез	
					определенной связи с	
					порфировыми телами	
3. Рудно-формационные						
(типы, масштабы, состав и характер						
рудных проявлений)						
3.1. Медно-порфировый ГПТ	Зона прожилково-	До 300 м шириной и до 2 км	Область убогой сульфидной	Зоны прожилково-	Ореолы первичной и	
	вкрапленной пиритовой	протяженности ореол	вкрапленности	вкрапленной пиритовой	окисленной вкрапленной и	
	минерализации	первичной и окисленной	L.	минерализации	прожилково-вкрапленной	
	(«пиритовый ореол»)	вкрапленной и прожилково-		(«пиритовые ореолы»)	мелной и молибленовой	
	шириной до 600 м и	вкрапленной мелной и		шириной до 300 м и	минерализации шириной ло	
	протяженностью около 3 км	молибленовой		протяженностью до 500 м	100 м и протяженностью до	
		минерализации На			первых сотен метров	
		пибинах 500 м			первых сотен метров	
		рудной минерализации				
5.2. Сопутствующая минерализация	узкие (первые метры) неп	ротяженные (первые сотни		узкие (первые метры) нег	протяженные (первые сотни	
	(крариарой) минарализации			(крарцерой) минерализации		
	(кварцевой) минерализации	в ряде случаев с осевыми	(кварцевои) минерализации в р		в ряде случаев с осевыми	
	золото-(сульфидно)-кварцевы	ми жилами		золото-сульфидно-кварцевым	и жилами	
4 Matagawatungarua						
4. Метасоматические						
11 Гипротеризицио	Zouan mun opeon chowenn					
натасоматические изменения (состар		и высоко-среднетемператур	ными калисьо-кремнисвыми,		вных изменении и убогой су.	льфидной минерализации с
метасоматические изменения (состав,	среднетемпературными проп		пературными филлизитовыми	локально проявленными зона	тми и участками кварц-серицитов	зых, (кварц-серицит)-хлорит-
степень проявления)	изменениями частично пр	остранственно совмещенны.	ми с замещением ранних	альбитовых метасоматитов, з	он энидотизации и калишнатиза	щии
	минеральных ассоциации поз,					
	Калиево-кремниевые измене	ния (Qz, Kisp, ab, cni) про	явлены в калишпатизации и			
	окварцевании гранитоидов,	выявлены в центральнои (о	севои) самои оогатои части			
	месторождения, сопровождаю	отся штокверком калишпат-кв	арцевых, кварцевых, кальцит-			
	калишпат-кварцевых прожили	сов. Вторичный ойотит, хара	ктерныи для изменении этого			
	типа, установлен лишь в един	ичных случаях в виде хлорити	изированных реликтов.			
	Пропилитовые изменения пр	едставлены двумя зонами —	внешнеи и внутренней. Зона			
	внутренних пропилитов (Ch	\mathbf{u} , \mathbf{Qz} , \mathbf{ktsp} , \mathbf{Ab} , \mathbf{ser} , \mathbf{cc})	представлена окварцеванием,			
	хлоритизацией и альбитизацие	ей пород. В подчиненных коли	ичествах могут присутствовать			
	эпидот, серицит, карбонат. С	внутренними пропилитами с	сопряжена халькопиритовая и			
	молибденит-пирит-халькопир	итовая минерализация. Измен	нения внешней пропилитовой			
	зоны (Chl, ep, ab, cc, ser, qz) развиты на периферии мес	торождения, сопровождаются			
	убогой вкрапленностью пирит	а, с удалением от рудоносной	зоны переходят в зону слабых			
	гидротермальных изменений.					

Продолжение таблицы 5.2

1	2	2	4	5	
1			4	3	
	Филлизитовые изменения (
	изменений в пределах место	рождения и на его флангах, они	накладываются и практически		
	полностью замещают калие	во-кремниемые и внетренние	пропилитовые метасоматиты.		
	Масштабы ореола развития	филлизитовых изменений оце	енивается около 4000×700 м.		
	Изменения выражены инто	енсивно проявленными серин	итизанией, окварневанием и		
	хпоритизацией: иногла при	сутствуют карбонатизация и аг	ьбитизация сопровожлаются		
	штокверком кварцевых и ка	роонат-кварцевых прожилков и	і маломощных жил. Паиоолее		
	интенсивно изменены пор	оды, которые подверглись с	существенной тектонической		
	проработке — катаклазу, бре	екчированию, милонитизации.			
	Примечание: Ab — альбит, 0	Сс — кальцит, Chl — хлорит, Ер	о — эпидот, Kfsp — калишпат,		
	Qz — кварц, Ser — серицит				
4.2 Метасоматическая зональность	Плашеобразный ореол	Метасоматическая	В разной степени		Сатепп
(морфология и параметры зон)	внешних частей	зональность месторождения	проявленные пропилитовые		pachpot
	филлизитовои зоны	заключается в смене от	и фрагментарно		гидроте
	(Qz <ser)< td=""><td>центра к периферии</td><td>проявленные (в виде узких</td><td></td><td>измене</td></ser)<>	центра к периферии	проявленные (в виде узких		измене
		следующих	зон) филлизитовые		(пропил
		генерализованных	изменения		серици
		метасоматических зон:			окварие
		капиевой внутренней			сульфи
		процициторой			Mullopo
		пропилитовой,			минера
		сохранившиеся в виде			выраже
		реликтов, филлизитовой,			
		внешней пропилитовой.			
		Общая морфология			
		метасоматического ореола и			
		его отлельных зон			
		конформны			
		конформны			
		пластиноооразным телам			
		кулисно построенного			
		рудоносного «порфирового			
		интрузива» и его апофиз. В			
		экзоконтактах			
		«порфирового интрузива»			
		фрагментарно развито			
		интенсивное прожитковое			
		интенсивное прожилковое			
		окварцевание (кварцевыи			
		штокверк).			
		От флангов к центральной			
		наиболее продуктивной			
		части месторождения			
		наблюдается отчетливое			
		увеличение лоли			
		составе серицита,			
		параллельно происходит			
		существенное снижение			
		отношения слюда/кварц в			
		метасоматитах			
					1

Продолжение таблицы 5.2



1	2	3	1	5	6	7
5 Рудно-минералогические	2	5	4	5	0	1
5.1 Рудно минералоги теские					Knyronanajouure	
5.1. Гудные тела (структурный тип,		Туднос тело представлено			крутопадающие	
форма, размеры, условия					слаоовытянутые в	
локализации, характер залегания)		(суовертикальнои)			суоширотном направлении	
		линейной штокверковой			штокверковые зоны	
		зоной протяженностью 1700			первичных и окисленных	
		м, шириной от 100 до 300 м			руд шириной десятки м,	
		в экзо-эндоконтактах			протяженностью десятки-	
		субширотного			первые сотни метров,	
		«порфирового интрузива»,			отдельные рудные тела	
		прорывающего интенсивно			прослежены на глубину до	
		лиспонированные граниты			100 м	
		Границы рудного тела			Золото-мелносульфилно-	
					крарцерие	
					кварцевые жилы	
		данным опросования,			$(15 60^{\circ})$	
		предположительно			крутопадающие (43–00),	
		конформны контактам			плавно изгиоающиеся, с	
		«порфирового интрузива».			раздувами и пережимами;	
		На глубину рудное тело			мощность от долей метра до	
		прослежено от 300 до 500 м			1,0–4,5 м, протяженность по	
		в ряде случаев без признаков			простиранию до 160-170 м,	
		выклинивания.			по падению — до 170 м.	
		На флангах рудного тела,			В золото-сульфидно-	
		присутствуют маломощные			кварцевых жилах	
		(первые м) непротяженные			содержания Аи достигают	
		(до 170 м) прожилковые			8-14 и более; Си до 3,9% и	
		золото-сульфилно-			более	
		квариевые зоны с осевыми				
		кварцевыми жилами				
		Содержания подезних				
		компонентов в рудах: Си				
		0.05 $0.5%$ portro to 1 2.6%				
		0,03-0,5%, pedko do $1-2,0%$,				
		Мо 0,005–0,02%, редко до				
		0,08%; Аи 0,0п-0,п г/т, редко				
		до 1–2 г/т			1	
5.2. Вещественный и минеральный	I лавные — халькопирит, пиј	рит, молиоденит; второстепенн	ые — олеклые руды, оорнит, 1	гематит магнетит; редкие — га	аленит, сфалерит, арсенопирит	, самородное золото, энаргит;
состав меднопорфировых руд,	гипергенные — халькозин, м	алахит, азурит, ковеллин, хриз	околла, лимонит; жильные —	кварц, кальцит, хлорит, полев	ые шпаты, эпидот. На ряде фла	нговых проявлении ведущую
минералого-геохимические типы,	роль в составе руд имеет борн	нит с подчиненным количество	м халькопирита, редкими пири	том и молибденитом.		
минеральные ассоциации		Durante	Decrementa		Durante	
	гудные минеральные	гудные минеральные	гудные минеральные		гудные минеральные	
	ассоциации:	ассоциации:	ассоциации:		ассоциации:	
	- пиритовая (основная);	- пиритовая;	- пиритовая (уоогая);		- пиритовая;	
	- золото-сульфидно-	- магнетитовая;	- пирит-молиоденит-		- халькопирит-борнитовая	
	кварцевая;	- (борнит)-халькопиритовая;	халькопиритовая (убогая)		(до промышленных	
	- полиметаллическая	- пирит-молибденит-			концентраций);	
	(галенит, сфалерит, пирит,	халькопиритовая (основная			- пирит-молибденит-	
	халькопирит, блеклые	промышленная);			халькопиритовая;	
	руды)	- халькопирит-			- золото-сульфидно-	
		блеклорудная;			кварцевая (до	
		- полиметаллическая			промышленных	
		(галенит, сфалерит, пирит,			концентраций)	
		халькопирит, блеклые руды)				
L		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			1	

	Продолжение таблицы 5.2
6	7
цие	
ые в	
направлении	
е зоны	
и окисленных	
й десятки м,	
тью десятки-	
гни метров,	
рудные тела	
на глубину до	
сульфидно-	
жилы	
ие $(45-60^{\circ}),$	
бающиеся, с	
пережимами;	
долей метра до	
тяженность по	
до 160–170 м,	
– до 170 м.	
то-сульфидно-	
жилах	
Аи достигают	
Си до 3,9% и	

.2

1	2	3	4	5	
5.3. Рулная зональность	Морфология и распрелелени	е зон рулной минерализации	Убогая (<1%) пиритовая.		Рулные
	конформна морфологии «по	рфирового интрузива» и зон	реже халькопиритовая		ассоциа
	метасоматических изме	енений. Релуцированная	вкрапленная минерализация		обособле
	халькопиритовая ассоциация	и с реликтами магнетита в			сменяю
	краевых ее частях сменяет	ся (в стороны и вверх) с			зональни
	удалением от предполагаемо	го центра системы основной			
	продуктивной молибд	ценит-пирит-халькопиритовой			
	ассоциацией и затем пиритов	зой ассоциацией «пиритового			
	ореола». Полиметаллическ	сая (галенит-сфалеритовая)			
	ассоциация локализуется	в узких крутопадающих			
	линейных зонах, конт	тролируемых разрывными			
	нарушениями. К ним же	приурочены и локально			
	проявленные участки	развития блеклорудной			
	минерализации. Рудное тело	о по бортовому содержанию			
	0,2% меди располагается в	нутри поля распространения			
	молибденит-пирит-халькопир	оитовой минеральной			
	ассоциации, конформно повто	оряя конуры последнего			
5.4. Рудно-метасоматическая	Внутренние зоны (облас	ть сопряжения калиевой,	В разной степени	В пределах мелких проявлен	ний рудно
зональность	внутренней пропилитовой	и внутренних частей	проявленные пропилитовые	выражена слабо: минерал	изованные
	филлизитовой зон), охватывал	ющие тела порфировых пород	и фрагментарно	незональным ореолам метасо	матически
	и их экзоконтакты, характер	изуются наиболее высокими	проявленные филлизитовые	внутреннеи пропилитовои з	онам, к п
	содержаниями меди. Здесь ло	кализуется сооственно медно-	изменения с убогой (<1%)	неминерализованными пород	ами
	порфировая минерали	зация, представленная	вкрапленной сульфидной		
	молиоденитовой, пир.	ит-халькопиритовой и	(существенно пиритовои,		
	халькопиритовой минеральн	ыми ассоциациями. Оощая	реже — халькопиритовои)		
	Полиметолициоскод		минерализациеи		
	полиметаллическая мин	ерализация, включающая			
	минерани и в ассоннании ра	аперитовую) и олеклорудную			
	приурочена к лискорланти	ым (лиагональным) зонам			
	малоамплитулных тектоничес	ских разрывных нарушений			
	На флангах мелнорулной	зоны в ассоциации с			
	филлизитовыми изменениями	проявлен широкий (ло 400 м)			
	ореол пиритовой минерализ	ации («пиритовый ореол») с			
	солержанием пирита 3–5%	и более. квари-пиритовыми			
	прожилками. изрелка с	молибденитом. Количество			
	халькопирита в этой части м	инерализованной зоны релко			
	достигает 0,1% в отдельнь	их маломощных зонках. На			
	периферии рудно-метасомат	ического ореола во внешней			
	пропилитовой зоне — бедная	вкрапленность пирита			
5.5. Зона окисления		В составе зоны гипергенеза			Зона в
		выделяется зона			глубины
		выщелачивания (с			до первы
		уменьшением содержаний			уменьше
		Си в рудных телах в 2–3 раза			содержа
		— до 0,1% и ниже)			компоне
		мощностью 10-20 м,			руды
		невыдержанная, от 0 м в			малахит
		плотных окварцованных			вторичн
		участках до 100 м вдоль			меди
		разрывных нарушений.			глубины

6	7
6 минеральные ации присутствуют лено и не образуют ощие друг друга ные ореолы	7
о-метасоматическая з	ональность не выражена или
ие участки приуро	ченные к фрагментарным
$n = y^{-1} \alpha e^{-1} \kappa n$, $n p n y p 0$	попираты к фрагментарным

ные участки, приуроченные к фрагментарным ских изменений, соответствующих филлизитовой или к периферии резко сменяются слабо измененными

выщелачивания до	
ны от первых метров	
вых десятков метров с	
шением в 2–3 раза	
каний полезных	
нентов; окисленные	
представленные	
итом, азуритом и др.	
ными минералами	
может достигать	
ны до 70 и более м	

1	2	3	4	5	
		Зона окисления развита до			
		глубины 40–100 м,			
		невыдержанная,			
		преобладают			
		полуокисленные руды. Зона			
		вторичного сульфидного			
		обогащения проявлена			
		фрагментарно			
6. Геохимические					
Геохимические ореолы (положение в					
пространстве, форма, размеры,					
концентрации элементов-					
индикаторов):					
6.1. Первичные	Группа сближенных первичн	ых (ПОР) комплексных ореоло	в рассеяния элементов-индика	горов (Cu, Mo, Au, Ag, Zn)	
	Повышенные концентрации	Зонально-построенный	Отсутствие концентраций		Проявл
	Zn, Pb, Ag при низких Cu,	ПОР Си, Мо, Аи, Ад и	Zn, Рb при низких		золото-
	Мо, Аи, в целом аналогичны	элементов-спутников — Pb,	концентрациях Си, Мо, Аи,		кварцен
	периферической части	Zn и др. Контур ПОР Си по	Ag		содерж
	месторождения	изоконцентрате 0,05%			первых
		отвечает границе			первых
		минерализованной зоны,			
		включающей			
		потенциально-			
		промышленные рудные тела			
		и составляет около 0,4 км ² .			
		Центральная часть			
		рудоносной зоны с			
		содержаниями меди выше			
		0,2% маркируется			
		контрастным			
		концентрически зональным			
		ореолом Си, Мо, Рb и др.			
		Содержания в рудах			
		элементов-примесей по			
		данным спектрального			
		анализа составляют (в ppm):			
		Sn 10–30, Co <10, Ni 5–10,			
		Ag 0,5–1,0; U 1–7, W 10–50,			
		Аз 60–800, Sb 30–200, ртуть			
		5 ррб			
(2 D				П	
0.2. Вторичные	крупныи (до 1,5 х 3,5 км) зон	нальный комплексный ореол ВС	JP элементов-индикаторов по	Локальные, преимущественно	о разоощ
	данным металлометрических	съемок: Си, Мо, Аи — в центр	ральных частях, Ag, Pb, Zn —	Cu, Mo, Ag, Au. Pb и Zn He	ооразуют
	на периферии. Рудное тело т	акже фиксируется аномалиями	1 w, Sn, периферия — Sb, B1.	пространства месторождения	l
	Аномальные концентрации	1 AS характерны для 3	зон золото-сульфидной и		
	Полиметаллической минерал	изации как в пределах рудного	тела так и на его периферии.		
	Основные элементы выноса, концентрации которых закономерно снижаются от нериферни минерализорациой зоны в неправлении рудного толо: Ст. Со. N: V. Mp				
	периферии минерализованно	и зопы в паправлении рудного			
				1	

Продолжение таблицы 5.2

6	7
ения медной и	
сульфилно-	
анием Cu or 0,0n до	
%, Аи от 0,0n до	
Г/Т	
енные, реже совмещен	ные и зональные ореолы ВОР
аномальных концент	раций в пределах флангового

1	2	2	4	<i>г</i>	1
	2	3	4	5	
0.3. Изотопно-геохимические		закономерное снижение			нет дан
		показателя о 5 пирита и			
		халькопирита от центра к			
		периферии (от рудных тел к			
		(1000000000000000000000000000000000000			
		до +0,5 и, соответственно,			
		практически прямая			
		зависимость показателя объ			
		от содержания Си в рудах			
6.4. Элементы «скрытой»	А) по соотношению	«фенгит-мусковит» в светло	слюдистых метасоматитах ус	становлены устойчиво повто	ряющиеся
минералого-геохимическои	светлослюдистых метасомати	итов (в центральной и глубоких	х частях рудно-метасоматичес	кого ореола в серицитах преоб	ладает фе
зональности	частям последовательно увел	ичивается доля мусковитового	компонента)		
	Б) установлены распр	ределения элементов-микропри	месей и их соотношений в пир	оитах и халькопиритах по данн	ым LA-IC
	периферии рудного тела в пи	иритах отчетливо снижается со	одержание меди, серебра, моли	ибдена и соотношение серебра	к кобаль
	соотношения кобальта к ме	ди, а в халькопиритах умень	шается содержание кобальта,	молибдена, цинка, суммы п	латиноид
	комплексные (мультипликат	гивные) коэффициенты зонал	ьности: $K(пи) = Cu2*Mo/Pb2$	*Zn*B1 (для пирита) и К(хп	$() = Co^{*}$
	последовательно уменьшают	ся от центра к периферии рудо	носного штокверка		
7. Геофизические					
71 Электроразвелонные	BLICORNE 2HAUERING BU >50%		Зизиения ВП <20/2		Покаш
7.1. Электроразведочные		$\begin{array}{cccc} \text{AHOMAJIAA} & \text{DII} & 1 \\ \text{P32MeDOM} & 0.6 & \text{x} & 3 & \text{xM} \end{array}$			согласи
	ореоду		минерализоранные		аномал
	opeon	минерализованную зону	фицизитовые и		прояви
		месторожления и	пропилитовые		минера
		фланговый пиритовый	метасоматиты		пулы
		ореол. Более высокие	Merucomarinibi		фиксир
		значения ВП >5%			4 minutes
		характерны как для			
		промышленных руд. так и			
		лля наиболее			
		пиритизированных			
		метасоматитов на их			
		выклинивании. Рудное тело			
		также фиксируется			
		умеренными знчениями			
		сопротивления 5000-8000			
		Ом м на фоне более низких			
		и более высоких значений			
7.2. Магнитометрические	«Пиритовый ореол» с	Рудное тело	Относительно пониженные		Участк
-	относительно	характеризуется	значения $\Delta T (0-40 \text{ нTл})$		проявл
	пониженными значениями	повышенной			магнит
	ΔТ (0-40 нТл)	интенсивностью			относи
		магнитного поля ΔT (>40			фона
		нТл), особенно осевая			участка
		«калиевая зона» (>50 нТл) в			значени
		области повышенных			
		значений ВП; «пиритовый			
		ореол» — относительно			
		пониженными значениями			
		(0-40 нТл)			
7.3. Гравиметрические	Интрузивный массив продукт	гивного комплекса выражен на	мелкомасштабной основе лока	альной слабоконтрастной отри	цательной

Продолжение таблицы 5.2

6	7	
ных		
пространственные	вариации состава серицитов	
нгитовая составляюща	ая, а к его флангам и верхним	
Р-МС в объеме минер	ализованных зон (от центра к	
гу, а также увеличива	ется доля никеля. мышьяка и	
ов. Наибольшей конт	растностью характеризуются	
Mo/Se*Bi (для хальк	опирита), значения которых	
ные часто вытянутые		
о общей структуры		
ии ВП отражающие		
ения сульфидной		
лизации, окисленные		
практически не		
уются		
и слабо		
енного повышения		
ного поля		
тельно окружающего		
совмещенные с		
ми повышенных		
ий BII		
аномалией гравитаци	онного поля (-90)-(-88) мГал	
аномалиси гравитационного поля (-90)-(-88) МІ ал		

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований определены типовые черты и особенности палеогеотектонической позиции, геологического строения, геологических условий образования молибден-медно-порфирового и сопряженного с ним золото-сульфидно-кварцевого оруденения Кызыкчадрского рудного поля, в том числе:

- показано, что медно-порфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля сформировано в связи с развитием Тувинского аккреционно-коллизионного магматического пояса Алтае-Саянской маталлогенической провинции. Позиция Кызык-Чадра и других промышленных месторождений медно-молибден-порфирового рудноформационного семейства характеризуется приуроченностью к участкам пространственного совмещения ареалов магматических образований нескольких стадий развития Тувинского ВПП — «батолитовых» интрузивов и малых интрузий аккреционно-коллизионной стадии (C_{2-3}) и более поздних вулканоплутонических ассоциаций кислого и субщелочного состава собственно коллизионной стадии ($O-D_1$) — при наличии субстрата, сложенного метаморфизованными островодужными вулканогенно-осадочными толщами ($V-C_1$).

 установлены особенности, отличающие месторождение Кызык-Чадр от типовых меднопорфировых месторождений: линейный характер рудных тел и минерализованной зоны в целом, редуцированное распространение калиевой метасоматической зоны с практически полным отсутствием вторичного биотита и его реликтов, резкое преобладание филлизитовых изменений в объеме месторождения, ограниченное распространение магнетитовой и халькопиритовой минеральных ассоциаций, а также интенсивный пострудный динамометаморфизм.

- показано, что особенности геологического строения, вещественного состава и зональности рудных объектов Кызыкчадрского рудного поля определялись формированием оруденения в пределах долгоживущей разломной зоны, экранирующим эффектом вмещающей интрузив метаморфизованной сланцевой толщи и преимущественно кислым составом вмещающих интрузивных пород и согласуются с аккреционно-коллизионной обстановкой формирования оруденения. Интенсивная дислоцированность пород, руд и метасоматитов рудного поля связана с влиянием последующей коллизии.

- для месторождения Кызык-Чадр выявлены устойчиво повторяющиеся элементы «скрытой» минералого-геохимической зональности, установленные с использованием инструментальных физико-химических методов. «Скрытая» зональность проявляется в пространственных вариациях соотношения фенгит/мусковит в гидротермальных светлых слюдах и распределений элементов-микропримесей в пиритах и халькопиритах и согласуется с минералогической рудно-метасоматической зональностью. Обновлена и адаптирована к условиям Кызыкчадрского рудного поля геолого-поисковая модель оруденения медно-порфирового типа. Отличительной особенностью разработанной модели является детализация зональности рудно-метасоматических образований месторождения и интеграция в нее элементов «скрытой» минералого-геохимической зональности, установленной на основе результатов применения комплекса физико-химических методов (рентгеноструктурный анализ, LA ICP-MS). Разработанная геолого-поисковая модель с успехом использована при проведении поисковых и оценочных работ в пределах Кызыкчадрского рудного поля, рекомендуется для применения в целях регионального и локального прогнозирования и определения направлений поисковых работ на медно-порфировое оруденение в Алтае-Саянской металлогенической провинции и других перспективных регионах.

По результатам выполненных исследований разработаны практические рекомендации по направлениям и методике дальнейших геолого-поисковых работ: выделены площади для постановки прогнозно-минерагенических работ на оруденение порфирового типа в пределах южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП; рекомендовано проведение оценки глубоких горизонтов рудоносной зоны месторождения Кызык-Чадр, намечены участки первоочередных буровых работ; рекомендована постановка опытно-методических работ на месторождениях порфирового типа различных регионов с целью разработки и внедрения методики поискового применения «скрытой» минералого-геохимической зональности для широкого использования пор геологоразведочных работах на медно-порфировое оруденение.

1. Андреев А.В., Гирфанов М.М., Старостин И.А. и др. Геологическое строение, рудно-метасоматическая и минералого-геохимическая зональность золотосодержащего молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр, Республика Тыва // Руды и металлы. 2021. № 1. С. 57–76.

2. Безмен Н.И., Еремин Н.И., Наразаули И.Г. и др. Пирит-халькопиритовый геотермометр: распределение кобальта. Геохимия, –М.: Наука, 1978. №3. С. 344–389.

3. Берзина А.Н., Берзина А.П., Гимон В.О. Си-Мо-порфировое месторождение Аксуг (Северо-Восточная Тува): хронология процессов магматизма и рудообразования (U-Pb, Re-Os изотопные данные), металлогенические следствия. // Геология и геофизика, 2019. Т. 60, №9. С. 1330–1349.

4. Бин Р.Э., Титли С.Р. Медно-порфировые месторождения. Гидротермальные изменения и минерализация // Генезис рудных месторождений. – М.: Мир, 1984. – Т. 1. – С. 278–333.

5. Буслов М.М., Джен Х., Травин А.В. и др. Проблемы тектоники и магматизма Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика, 2013. № 10. С. 1600–1627.

6. Буханова Д.С. Минералого-геохимические особенности Малмыжского золотомедно-порфирового месторождения, Хабаровский край: дис... канд. г.-мин. наук 25.00.11: Бухановой Дарьи Сергеевны. –Петропавловск-Камчатский, 2020. 200 с.

7. Ветров Е.В., Черных А.И., Бабин Г.А. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм восточно-таннуольского сектора тувинского магматического пояса: геодинамическая позиция, возраст и металлогения // Геология и геофизика, 2019. Т. 60. № 5. С. 641–665.

8. Викентьев И.В., Абрамова В.Д., Иванова Ю.Н. и др. Микропримеси в пирите золото-порфирового месторождения Петропавловское (Полярный Урал) по данным LA-ICP-MS / Доклады академии наук, 2016. Т. 470. №3. С. 326–330.

9. Гирфанов М.М. Особенности рудно-метасоматической зональности как критерий масштабности медно-порфирового оруденения. Труды ЦНИГРИ. 1989. Вып. 230. С. 39-43.

10. Гирфанов М.М., Сергеева Нат. Е., Шишаков В.Б. Рудно-метасоматическая зональность Михеевского медно-порфирового месторождения на Южном Урале. Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 1991. №5. С. 75-79.

11. Гирфанов М.М. Сергеева Нат. Е., Шишаков В.Б. Геологическое строение Тарутинского медно-скарнового месторождения на Южном Урале. Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология. 1992. №4. С. 85-88.

12. Гирфанов М.М. Рудно-метасоматическая зональность меднопорфировых месторождений — условия образования и модели: Дис. на соик. уч. ст. канд. геол.-мин. наук 04.00.11: Гирфанова Михаила Миргалимовича. –М., ЦНИГРИ, 1993. 305 с.

13. Гирфанов М.М., Андреев А.В., Авилова О.В., Старостин И.А. Геолого-поисковая модель золотосодержащих медно-порфировых объектов Кызыкчадрского рудного поля (Республика Тыва) // Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». 2019. С. 166–167.

14. Голованов Н.М. Николаев Е.Ж., Кажихин М.А. Комплексная прогнозно-поисковая модель медно-порфировой формации. –Ташкент: Фан, 1988. 202 с.

15. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000 (издание второе). Серия Западно-Саянская, Лист N-46-XXXV-Уюк. Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: https://webmapget.vsegei.ru/

16. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская Лист М-46-Кызыл. Объяснительная записка. –СПб.: Изд-во СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: https://webmapget.vsegei.ru/.

17. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб

1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-46-Абакан. Объяснительная записка. –СПб.: Изд-во СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: https://webmapget.vsegei.ru/.

18. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская Лист М-45-Горно-Алтайск. Объяснительная записка. –СПб.: Изд-во СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2006. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: https://webmapget.vsegei.ru/

19. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-47-Кунгуруг. Объяснительная записка. –СПб.: Изд-во СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: https://webmapget.vsegei.ru/

20. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45-Новокузнецк. Объяснительная записка. –СПб.: Изд-во СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2005. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: https://webmapget.vsegei.ru/.

Государственная геологическая Российской Федерации. 21. карта Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-47-Нижнеудинск. Объяснительная записка. –СПб.: Изд-во СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: https://webmapget.vsegei.ru/

22. Геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:2 500 000. –СПб.: Изд-во СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: https://webmapget.vsegei.ru/

23. Гордиенко И.В., Метелкин Д.В. Эволюция субдукционного магматизма на неопротерозойской и венд-раннепалеозойской активных окраинах Палеоазиатского океана. // Геология и геофизика, 2016. Т. 57. № 1. С. 91–108.

24. Гусев Н.И., Берзон Е.И., Семенов М.И. Кызыкчадрское медно-порфировое месторождение (Тува): геохимические особенности и возраст магматизма // Региональная геология и металлогения, 2014. № 59. С. 70–79.

25. Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты. –М.: Наука, 1991.

26. Дрогобужская С.В., Баянова Т.Б., Новиков А.И. и др. LA-ICP-MS анализ бадделеита, циркона и сульфидов из пород комплексных месторождений Фенноскандинавского щита в пределах Арктического региона // Тр. Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН, 2019. №16. С. 165–169.

27. Звездов В.С., Мигачев И.Ф., Гирфанов М.М. и др. Обстановки формирования медно-порфировых рудно-магматических систем // Геология рудных месторождений, 1989. № 4. С. 23-37.

28. Звездов В.С. Модели меднопорфировых рудно-магматических систем и месторождений для прогноза, поисков и оценки: Дис. на соик. уч. ст. доктора геол.-мин. наук 1.06.10: Звездова Вадим Станиславовича. –М., ЦНИГРИ, 2022. 515 с.

29. Иванова Ю.Н. Условия локализации и минералого-геохимические особенности Петропавловского золото-порфирового месторождения (Полярный Урал): дис... канд. г.-мин. наук 25.00.11 / Ивановой Юлии Николаевны. –М., 2016. 135 с.

30. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Минералого-геохимические типы руд медно-порфировых месторождений — золотоносность и зональность // Геохимия, 1985. № 10. С. 1417–1429.

31. Кривцов А.И., Геологические основы прогнозирования и поисков меднопорфировых месторождений – М.: Недра, 1986. 236 с.

32. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. Медно-порфировые месторождения мира. –М.: Недра, 1983. 256 с.

33. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Металлогения андезитовых вулкано-плутонических поясов, 2-е издание. –М.: Геокат, ГЕОС, 2007. 587 с.

34. Комплексные модели месторождений порфирового типа цветных и благородных металлов. Атлас / Кривцова А.И. (отв. редактор), Гирфанов М.М., Шишаков В.Б., и др. –М.: ЦНИГРИ, 1995. 156 с.

35. Кривцов А.И., Звездов В.С., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Медно-порфировые месторождения. –М.: ЦНИГРИ, 2001. 232 с.

36. Кузнецов В.В., Серавина Т.В. и др. Условия локализации колчеданнополиметаллического оруденения Улугойской минерагенической зоны (Республика Тыва) // Отечественная геология, 2020. № 3. С. 3–17.

37. Масленников В.В., Масленникова С.П., Целуйко А.С., Гладков А.Г. Метод массспекторометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией (LA-ICP-MS) для выявления типохимизма сульфидов колчеданных месторождений / Материалы V Всероссийской молодежной научной конференции «Минералы, строение, свойства, методы исследования». – Екатеринбург, 2013.

38. Меднопорфировые месторождения // Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов / Под ред. Кривцова А.И. –М.: ЦНИГРИ, 2001. 232 с.

39. Нагорная Е.В. Минералогия и зоналность молибден-медно-порфирового рудного поля Находка, Чукотка: Дис. на соик. уч. ст. канд. геол.-мин. наук 25.00.05: Нагорная Екатерин Владимировна. –М., 2013. 171 с.

40. Омото Х., Рай Р. Изотопы серы и углерода // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. –М.: Мир, 1982. С. 405–450.

41. Рогов Н.В. Магматические и другие структуры, перспективы и некоторые особенности металлогении Кызык-Чадрского Аu-Cu-Мо месторождения Тувы // Магматизм и металлогения рудных районов Тувы. –Новосибирск: Наука, 1992. С. 108–119.

42. Руднев С.Н., Гибшер А.С., Семенова Д.В. Вендский островодужный интрузивный магматизм Озерной зоны западной Монголии // Геология и геофизика, 2021. № 6. С. 765–781.

43. Сазонов А.М., Пальянова Г.А., Журавкова Т.В., Сильянов С.А. Состав пирротина как индикатор условий минералообразования на золоторудном месторождении Советское (Енисейский кряж, Россия) // Геология и геофизика, 2019. № 7. С. 934–354.

44. Семенов М.И., Юркевич Л.Г. Геология, геохимия и рудоносность Ожинского интрузивного плутона // Геологическое строение и полезные ископаемые Центральной Сибири: –Красноярск, 2019. С. 110–119.

45. Сидорова Н.В., Викентьев И.В., Абрамова В.Д., Ковальчук Е.В. Золото и другие элементы-примеси в пирите Березовского месторождения (Средний Урал) // Литосфера, 2019. № 2. Т. 19. С. 327–336.

46. Сотников В.И. Медно-молибден-порфировая рудная формация: природа, проблема объема и границ // Геология и геофизика, 2006. № 3. Т. 47. С. 355–363.

47. Старостин И.А. Скрытая минералого-геохимическая зональность месторождения Кызык-Чадр (Республика Тыва) по данным лазерного микроанализа сульфидов // Руды и металлы ().

48. Старостин И.А., Авилова О.В., Андреев А.В., Гирфанов М.М. Рудопроявление Кызык-Чадр (Республика Тыва) — перспективный объект меднопорфирового типа // Сборник материалов «Новое в познании процессов рудообразования». –М.: ИГЕМ РАН, 2018. С. 330–332.

49. Старостин И.А., Авилова О.В., Андреев А.В., Гирфанов М.М. Руднометасоматическая зональность медно-порфирового рудопроявления Кызык-Чадр (Республика Тыва) // Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». –М.: ФГБУ «ЦНИГРИ», 2019. С. 200.

50. Старостин И.А., Авилова О.В., Андреев А.В. Золотосодержащее молибден-меднопорфировое месторождение Кызык-Чадр в Туве: особенности рудно-метасоматической зональности и морфологии рудных тел // Сборник тезисов докладов I молодежной научнообразовательной конференции ЦНИГРИ «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов — от прогноза к добыче». –М.: ФГБУ «ЦНИГРИ», 2020. С. 183–186. 51. Старостин И.А., Гирфанов М.М., Ярцев Е.И. Геологическое строение, метасоматическая и скрытая минералогическая зональность медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр (Республика Тыва) // Вестник Московский университет. Серия 4: Геология, 2022. № 5. С. 90–94.

52. Старостин И.А., Гирфанов М.М., Столяров И.О. Палеотектоническая позиция Кызыкчадрского рудного поля (Республика Тыва) в региональных геотектонических структурах // Сборник тезисов докладов IV Молодежная научно-образовательная конференция ФГБУ «ЦНИГРИ» «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». –М.: ФГБУ «ЦНИГРИ», 2023. С. 166–167.

53. Старостин И.А., Черных А.И., Гирфанов М.М. Палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского медно-порфирового рудного поля (Республика Тыва) // Руды и металлы, 2023. № 4. С. 52–73.

54. Черных А.И., Ветров Е.В. Геологическое строение и металлогения западной части Восточно-Таннуольского рудного района (Республика Тыва) — на основе новых геохимических и изотопно-геохронологических данных // Отечественная геология, 2017. № 2. С. 4–21.

55. Черных А.И., Широбоков А.Ю., Арсентьева И.В. Металлогения золота Восточно-Таннуольского рудного района (Республика Тыва) // Руды и металлы, 2021. № 2. С. 40–67.

56. Ярцев Е.И. Колчеданно-полиметаллическое оруденение в метаморфизованных вулканогенных толщах Южного Урала (на примере Джусинского месторождения). –Казань: Бук, 2018. 170 с.

57. Ярцев Е.И., Викентьев И.В., Еремин Н.И. Изотопный состав и особенности геохимии руд Джусинского колчеданно-полиметаллического месторождения (Южный Урал) // Вестник Московский университет. Серия 4: Геология, 2019. №4. С. 78–83.

58. Berger B.R., Ayuso R.A., Wynn J.C., Seal R.R. Preliminary Model of Porphyry Copper Deposits. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2008.

59. Berzina A. N., Berzina A. P., Gimon V. O. Paleozoic-Mesozoic Porphyry Cu(Mo) and Mo(Cu) Deposits within the Southern Margin of the Siberian Craton: Geochemistry, Geochronology, and Petrogenesis (a Review) // Minerals, 2016. № 6 (6). Pp. 1–25.

60. Cook N.J., Ciobanu C.L., Danyushevsky L.V., Gilbert S. Minor and trace elements in bornite and associated Cu-(Fe)-sulfides: A LA-ICP-MS study Bornite mineral chemistry. Geochimica et Cosmochimica Acta, Volume 75, Issue 21, 1 November 2011, Pp. 6473–6496.

61. Crespo, J.; Reich, M.; Barra, F.; Verdugo, J.J.; Martínez, C. Critical metal particles in ore sulfides from the Río Blanco porphyry Cu-Mo deposit, Chile. Minerals, 2018, 8, 519.

62. Danyushevsky L., Robinson P., Gilbert S., Norman M., Large R., McGoldrick P., Shelley M. Routine quantitative multi-element analysis of sulphide minerals by laser ablation ICP-MS: Standard development and consideration of matrix effects. Geochemistry Exploration Environment Analysis February 2011.

63. John, D.A., Ayuso, R.A., Barton, M.D. et al. Porphyry copper deposit model: Scientific Investigations Report 2010-5070-B // Mineral Deposit Models for Resource Assessment; USGS: Reston, VA, USA, 2010; 169 p.

64. Kusebauch C., Oelze M., Gleeson S.A. Partitioning of arsenic between hydrothermal fluid and pyrite during experimental siderite replacement. Chemical Geology, September, 2018.

65. Maslennikov V., Maslennikova S., Aupova N., Tseluyko A., Large R., Danyushevsky L., Yatimov U. High-Tech Elements in Minerals of Massive Sulfide Deposits: LA-ICP-MS Data. ICAM 2019, SPEES, 2019. Pp. 107–110.

66. Maslennikov V.V., Large R.R. Editorial for Special Issue «Pyrite Varieties and LA-ICP-MS Geochemistry in Ore Genesis and Exploration». Minerals, 2021, 11, 131.

67. Pašava, J.; Vymazalova, A.; Kosler, J.; Koneev, R.; Jukov, A.V.; Khalmatov, R.A. Platinum-group elements in ores from the Kalmakyr porphyry Cu-Au-Mo deposit, Uzbekistan: Bulk geochemical and laser ablation ICP-MS data. Miner. Depos. 2010, 45, 411–418.

68. Sillitoe R.H. Porphyry Copper Systems // Econ. Geol. 2010. V. 105. № 1. P. 3–41. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3 69. Raič S., Molnár F., Cook N., O'Brien H., Lahaye Y. Application of lithogeochemical and pyrite trace element data for the determination of vectors to ore in the Raja Au-Co prospect, northern Finland. Solid Earth Discussion, Discussion started: 27 September 2021.

70. Reich M., Deditius A., Chryssoulis S., Li J., Ma C., Parada M.A., Barra F., Mittermayr F. Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study. Geochimica et Cosmochimica Acta 104 (2013) 42–62.

71. Rivas Romero C., Reich M., Barra F., Gregory D., Pichott S. The Relation between Trace Element Composition of Cu-(Fe) Sulfides and Hydrothermal Alteration in a Porphyry Copper Deposit: Insights from the Chuquicamata Underground Mine, Chile. Minerals 11(7):671, June 2021, p. 29.

72. Migachev I.F. Complex ore nodes of marginal volcano-plutonic belts and their geological setting // Resource Geology Special Issue. 1993. № 15. P. 199–209.

73. Mihalasky, M.J., Ludington, Steve, Hammarstrom, J.M., Alexeiev, D.V., Frost, T.P., Light, T.D., Robinson, G.R., Jr., Briggs, D.A., Wallis, J.C., Miller, R.J. 2015, Porphyry Copper Assessment of the Central Asian Orogenic Belt and eastern Tethysides—China, Mongolia, Russia, Pakistan, Kazakhstan, Tajikistan, and India: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–X, 106 p. http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090X

74. Yakubchuk A. Evolution of the Central Asian Orogenic Supercollage since Late Neoproterozoic revised again. «Gondwana Research», №47, 2017, Pp. 372–398.

75. Zwahlen, C.; Cioldi, S.; Wagner, T.; Rey, R.; Heinrich, C. The porphyry Cu-(Mo-Au) deposit at Altar (Argentina): Tracing gold distribution by vein mapping and LA-ICP-MS mineral analysis. Econ. Geol. 2014, 109, 1341–1358

Фондовая

76. Бабкин И.А., Семенов М.И. и др. Отчет о результатах работ по объекту: «Поисковые работы на медно-молибден-порфировые руды с золотом в переделах Кызыкчадрского молибден-меднорудного узла (Республика Тыва)» – Москва, 2019. РГФ Инв. № 536285

77. Бухаров Н.С., Анастасиев Н.С. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейнов рек Уюк, Б. Енисей, Ожу, Ара-Эжим, Арзак, Эрек, Суглук-Хем, в пределах листов М-46-7-Б; М-46-8-А, -Б; -Г(а, б); N-46-140-Г(б, г); N-46-141-А, -Б, -В, -Г. (Отчет о групповой геологической съемке масштаба 1:50 000 Уюкской партии по работам 1972–1976 гг.). Тувинская геологоразведочная экспедиция Красноярского ГУ, 1977. РГФ Инв. № 360338.

78. Варанд Э.Л. Кызык-Чадрское месторождение меди и золота в Тувинской автономной области. Отчет о работах Уюкской геолого-разведочной партии за 1955–1956 гг. Красноярский филиал ФБУ ТФГИ по СФО. Инв. № 7404.

79. Вартанян С.С., Новиков В.П. и др. Разработать оптимальные методики выделения и оконтуривания рудных районов и полей при планировании и проведении геологоразведочных работ на благородные и цветные металлы. Отчет по ГК, 2009. Фонды ФГУП ЦНИГРИ. Инв. № 11208.

80. Долгова В.Н., Растрепин А.К. Геологическое строение бассейна среднего течения реки Бий-Хем. Отчет о работах поисковых и поисково-съемочных отрядов Уюкской поисковоразведочной партии 1952–1953 гг. Красноярский филиал ФБУ ТФГИ по СФО Инв. № 6992.

81. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Минина О.В. и др. Отчет о НИР «Совершенствование методики прогноза и поисков меднопорфировых месторождений в рудных районах различного типа с целью подготовки методического руководства», 1984. Фонды ФГУП ЦНИГРИ, Инв. № 7130.

82. Мигачев И.Ф., Сальников А.Е., Гирфанов М.М. и др. Отчет: «Типизация рудных узлов с комплексной металлогенией», 1995. Фонды ФГУП ЦНИГРИ, № 9121.

83. Семенов М.И., Колямкин В.М. О результатах работ за 2011–2013 гг. по объекту ГДП-200 листа N-46-XXXV (Уюкская площадь), 2013. ТГФ Республика Тыва Инв. № 2652.

84. Уссар Р.Т., Добрянский Г.И., Зюзин М.П. и др. Результаты поисков месторождений меди на участке Кызык-Чадр и в его районе. Отчет Кызык-Чадрской партии по работам 1976–1977 годы. Тувинская геологоразведочная экспедиция Красноярского ГУ, 1978. РГФ Инв. №

367291.

85. Чеблаков В.П., Долгова В.Н., Калишевич Т.Г. Отчет о геолого-разведочных работах Уюкской поисково-разведочной партии на Кызык-Чадрском золото-медномолибденовом месторождении за 1952–54 гг. –Минусинск, 1955. РГФ Инв. № 183947.