

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела имени К. Турысова

УДК5 553.08

На правах рукописи

Калиева Айгуль Сундетовна

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации: Оценка вещественного состава руд и вмещающих пород медного месторождения Актогай методом спектроскопии

Направление подготовки: 7М07206—«Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых»

Научный руководитель

Доктор геол.-минерал. наук, профессор
кафедры ГСПиРМПИ

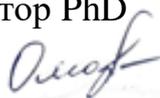


А.Б. Байбатша

" 15 " июня 2021 г.

Нормоконтролер

Лектор кафедры ГСПиРМПИ,
доктор PhD



Г.М.Омарова

" 14 " июня 2021 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ,
доктор PhD, ассоц. проф.



А.А. Бекботаева

" 15 " 06 2021 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова

Кафедра Геологической съемки, поиска и разведки месторождений полезных
ископаемых

7М07206 – «Геология и разведка месторождений твердых полезных
ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ
доктор PhD, ассоц. проф.



А.А. Бекботаева

"15" 06 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Калиевой Айгуль Сундетовне

Тема: Оценка вещественного состава руд и вмещающих пород медного
месторождения Актогай методом спектроскопии

Утверждена приказом руководителя университета № 330-М от 11.11.2019 г.

Срок сдачи законченной работы «16» июня 2021 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: геолого-геофизические,
текстовые и графические материалы при эксплоразведке и эксплуатации
медно-порфирового месторождения Актогай

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) Изучение геологических и геохимических «составляющих» района;

б) Сбор и анализ эксплуатационных данных и определение основных
параметров;

в) Изучение качественных свойств и параметров руд и вмещающих пород;

г) Обработка и анализ полученных расчетов.

Рекомендуемая основная литература:

1. Сергийко Ю.А. и др. Отчет по детальной разведке медно-порфирового месторождения Актогай с подсчетом запасов на 01.01.1980 г. Алма-Ата, 1980 г.
2. Жуков Н.М., Филимонова Л.Е. Метасоматиты и гипогенное оруденение медно-порфирового месторождения Актогай // Геология рудных месторождений. 1982. № 6. С. 31-38.
3. Плюснева И.И. Инфракрасные спектры минералов. М. Изд-во Моск. Ун-та, 1976. 175 с.

ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультатам	Примечание
Общие сведения о месторождении Актогай	16.05.2021 г.	
Геологическое строение района	16.05.2021 г.	
Изучение свойств пород и руд методом ИК-спектроскопии	16.05.2021 г.	
Фактические результаты проделанных работ	16.05.2021 г.	
Интерпретация и визуализации данных	16.05.2021 г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Общие сведения о месторождении Актогай	Байбатша А.Б. Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры ГСПиРМПИ	17.05.2021	
Геологическое строение района	Байбатша А.Б. Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры ГСПиРМПИ	17.05.2021	
Изучение свойств пород и руд методом ИК-спектроскопии	Байбатша А.Б. Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры ГСПиРМПИ	17.05.2021	
Фактические результаты проделанных работ	Байбатша А.Б. Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры ГСПиРМПИ	17.05.2021	
Интерпретация и визуализации данных	Байбатша А.Б. Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры ГСПиРМПИ	17.05.2021	
Нормоконтролер	Омарова Г.М. Лектор кафедры ГСПиРМПИ, доктор PhD	14.06.2021	

Научный руководитель

Байбатша А.Б.

Задание принял к исполнению
магистрант

Калиева А.С.

Дата "11" ноября 2019 г.

АҢДАТПА

Бұл зерттеуде жетекші рөл әртүрлі таужыныстардың заттық құрамын зерттеудің заманауи әрі ең бастысы сенімді әдістердің бірі ретінде спектроскопия әдісіне берілген. Кез-келген минералдың спектрі адамдардың қайталанбайтын саусақ іздері сияқты жеке болғандықтан және осы «даралықты» негізге ала отырып, спектроскопия соңғы онжылдықтардағы таужыныстарды зерттеудің заманауи әдістерінің ішінде ең «шынайы» болып табылады.

Кез-келген заттың спектрі немесе біздің жағдайымызда минерал, бәрімізге белгілі бір-біріне ұқсамайтын саусақ іздерінің үлгілері сияқты, жеке және ерекше сапалы сипаттамаға ие. Осы ерекшелікті ескере отырып, біз әр минерал спектріні оны мыңдаған басқа минералдардың арасынан анықтау үшін қолдана аламыз.

Спектрометрия саласындағы зерттеулердің ең көп таралған нысандарының бірі – гидротермалық өзгерудің айқын білінетін аймағы бар мысы-порфир кенорындары. Бұл топтың типтік өкілі – осы жұмыста қарастырылатын Ақтоғай кенорны.

АННОТАЦИЯ

Ведущая роль в этом исследовании отводится методу спектроскопии как одному из самых современных и надежных методов изучения вещественного состава различных горных пород. Поскольку спектр любого минерала столь же индивидуален, как и уникальные отпечатки пальцев человека, и, исходя из этой «индивидуальности», спектроскопия является наиболее достоверным из современных методов изучения горных пород в последние десятилетия.

Спектр любого вещества или минерала в нашем случае - это хорошо известная, уникальная и качественная характеристика, такая как различные рисунки отпечатков пальцев. Учитывая эту особенность, мы можем использовать спектр минералов, чтобы определить его среди тысяч других минералов.

Одна из самых распространенных форм исследований в области спектрометрии - медно-порфировые месторождения с ярко выраженной переменной зоной гидротермального преобразования. Типичным представителем этой «коллекции» является Актогай, о котором идет речь в данной работе.

ANNOTATION

The leading role in this study is assigned to the spectroscopy method as one of the most modern and reliable methods for studying the material composition of various rocks. Since the spectrum of any mineral is as individual as unique human fingerprints, and based on this “individuality”, spectroscopy is the most reliable of the modern methods of studying rocks in recent decades.

The spectrum of any substance or mineral in our case is a well-known, unique and qualitative characteristic, such as various patterns of fingerprints. Given this characteristic, we can use the spectrum of minerals to define it among thousands of other minerals.

One of the most common forms of research in the field of spectrometry is porphyry copper deposits with a pronounced variable zone of hydrothermal transformation. A typical representative of this "collection" is Aktogai deposit, which is discussed in this work.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1 Географический очерк исследуемого района	10-11
2 История изученности месторождения	12-14
3 Геологическое строение района месторождения	
3.1 Геолого-структурные и металлогенические особенности района	15-16
3.2 Геологическое строение Актогайского рудного поля	16-21
4 Геологическое строение месторождения	22-24
4.1 Стратиграфия	24-26
4.2 Интрузивные образования	26-28
4.3 Тектоника	28-31
5 Морфология рудного штокверка	32-34
6 Вещественный состав руд	35-36
7 Гидротермальные изменения рудовмещающих пород месторождения Актогай	37-41
7.1 Интерпретация зональности гидротермальных изменений месторождения Актогай	42
8 Спектрометрия – как один из достоверных методов в современной геологии	43-44
8.1 Техническое оснащение для ИК-спектрометрии	44-45
8.2 Процесс обработки результатов ИК-спектрометрии	46-47
9 Роль ИК-спектрометрии в изучении зональности медно-порфириковых месторождений (на примере м-ия Актогай)	48-50
9.1 Характеристика зон метасоматоза м-ия Актогай в ИК-спектре	50-52
9.2 Типы метасоматических изменений, выделенные при проведении ИК-спектрометрии	52-54
9.3 Системы прожилков месторождения Актогай	54-55
9.4 Модель метасоматической зональности месторождения Актогай, полученная при интерпретации результатов ИК-спектрометрии	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	58-59
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	60

ВВЕДЕНИЕ

Магистерская диссертация состоит из введения, 9-ти разделов и заключения на 63 страницах, имеет в составе своем 22 рисунков и 6 таблиц. Задачей данной исследовательской работы является всестороннее изучение минералогии с точки зрения гидротермально-метасоматической зональности на примере медно-порфирового месторождения Актогай с использованием новейшей технологии в идентификации минералов – ИК-спектроскопии.

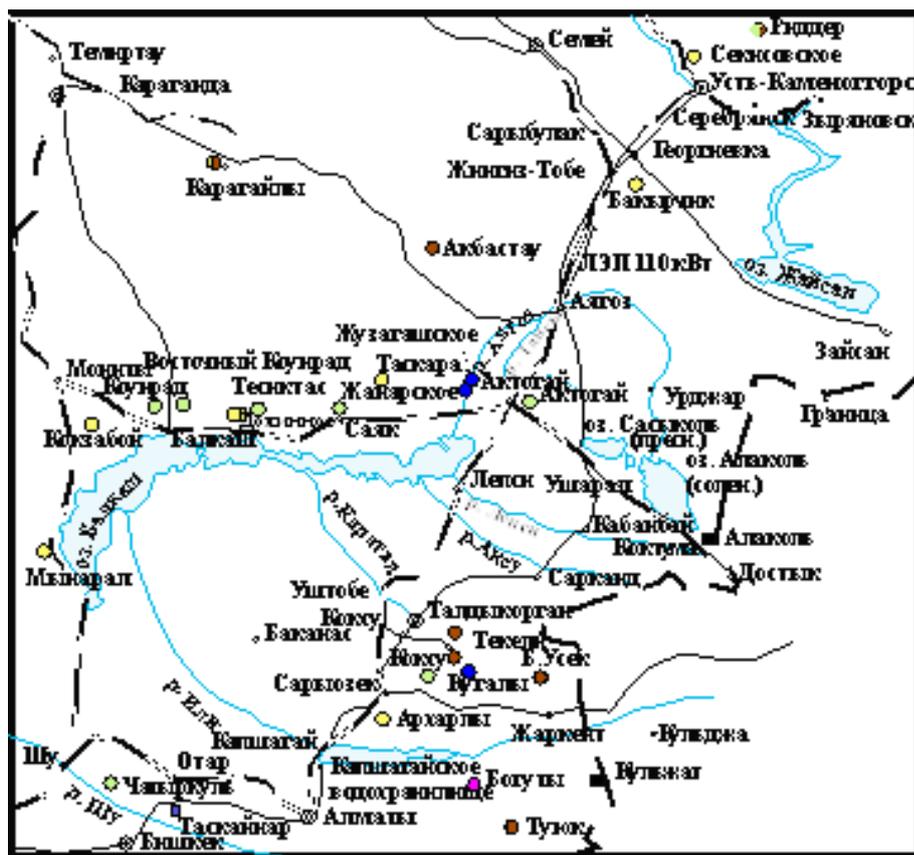
Актуальность данной работы заключается в возможности использования современных методов экспресс-анализа непосредственно в полевых условиях, при этом ни чем не уступая лабораторным методам изучения. Отсюда следует что, важную нишу среди современных методов изучения вещественного состава горных пород уже давно занимают методы и аппаратура, предназначенные для оперативного анализа керна и шлама по определению минерального состава. Интенсивное развитие приборостроения в области инфракрасной (ИК) спектроскопии, создание надежных и высокочувствительных ИК спектрометров, в сочетании с широким внедрением математических методов обработки большого объема экспериментальных данных, создали предпосылки для применения методов ИК спектроскопии в системах оперативного анализа. Для получения проведения замеров был использован прибор ArcSpectro швейцарской торговой марки ArcOptix, базирующихся на производстве оптических измерительных систем, в том числе ИК Фурье спектрометров и жидкокристаллических систем. Основой качественного и количественного спектрального анализа является аддитивность ИК-спектров: инфракрасный спектр минеральной смеси является суммой спектров компонентов смеси, а интенсивность полос поглощения (оптическая плотность) в спектре каждого компонента пропорциональна его содержанию в смеси.

Руды месторождения Актогай образовались в две гидротермальные стадии: раннюю щелочную (окварцевание, калишпатизация, биотитизация, хлоритизация, эпидотизация, пренитизация) и более позднюю кислотную (окварцевание, серицитизация, хлоритизация, карбонатизация). Основная часть рудного вещества месторождения связана со щелочной стадией, именно ее развитие определило размеры и форму рудных тел.

Как следует из вышеизложенного, вторичные изменения руд и вмещающих пород медно-порфирового месторождения Актогай если и не играли главенствующую роль, то уж точно не «остались в тени» при формировании данного месторождения.

1 Географический очерк исследуемого района

В административном плане территория изучаемого месторождения относится к Аягозскому району Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан (номенклатура соответствует листу L-44-VIII в системе международной разграфки топографических карт масштаба 1:200000). Координаты центра месторождения: 46° 56' 58" с.ш 79° 51' 32" в.д. Ближайший населенный пункт – одноименная ж.д. станция Актогай, находящаяся в 25 км к востоку (Рисунок 1.1).



Масштаб 1:4 000 000

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Месторождения полезных ископаемых
- Медные
 - Полиметаллические
 - Редкометаллические
 - Цинковые в-ва
 - Вольфрамовые
 - Золоторудные
 - Калиево-натриевые

Рисунок 1.1 - Обзорная карта района месторождения [4]

Месторождение находится на месте стыковки Центрально-Казахстанской горноскладчатой области и Алакольской впадины. Основными составляющими рельефа является мелкосопочники в устье водораздела (низенькие горы Колдар, из себя представляющие пологие сопки с перепадами высот 5-30 м и абсолютными отметками 390-470 м) и тектоническая депрессия, повсеместно осложненная эрозией в бассейнах рек Аягоз, Тансык, Баканас (так называемая Актогайская впадина, которая слабо выраженная в рельефе с общим уклоном рельефа к югу).

Обобщенными чертами здешнего климата является его резкая континентальность и засушливость, а также большая неустойчивость ежегодных погодных условий. Среднегодовой уровень осадков составляет 227 мм. Вследствие нахождения данного месторождения близ так называемых «Жонгарских ворот» нередко в данном районе наблюдаются сильные порывы ветра, (дующие в северном и северо-восточном направлении) сопровождающиеся снежными и пыльными бурями; а в сезон засушливости вызывающие дефляцию почв.

Растительность представлена флорой полупустынного климата (ковыль, кипчак, полынь, верблюжья колючка); из кустарников произрастают тамариск, карагаш, баялыш.

В гидрогеологическом плане район месторождения крайне беден и представлен лишь ближайшей р. Аягоз протекающей в 30 км к западу от месторождения и характеризующаяся ярко выраженными паводками в межсезонье поздняя зима-ранняя весна. В межень она пересыхает. Совсем мелкие речки Тансык, Карасу, Баканас относятся к непостоянным составляющим местной гидрографической сети и очень часто маловодны, также пересыхают в летний период. Озера Колдар и Ешиге, находятся северо-восточнее месторождения на расстоянии 8 и 4 км соответственно, мелководные с низкими берегами, зачастую солончаковые. Озеро Кошкар находится в 10 км к западу от месторождения. Озеро мелкое соленое, иногда полностью пересыхает, образуя солончаки.

Месторождение находится в благоприятном регионе с точки зрения географического расположения и экономических условий, недалеко от транспортных и энергетических коммуникаций. Основными путями сообщения являются железная дорога Алматы – Актогай (432 км), Актогай – Семей (354 км), Актогай – Балхаш (420 км), автомагистраль Алматы – Усть-Каменогорск, расположенная в 86 км от станции Актогай, которая также связана железнодорожной веткой со станцией Достык на границе с Китаем.

Топливо-сырьевая база изучена слабо. Известно лишь, что в 1965-67 гг. на юго-востоке вблизи госграницы с Китаем разведано Алакольское месторождение угля с запасами по кат. А+В+С₁ – 44.6 млн.т. Угли малозольные, низкосортные, переходные от бурых к каменным.

2 История изученности месторождения

Месторождение Актогай было открыто в 1974 году при проведении геолого-геофизических работ масштаба 1:50000 Южно-Казахстанской комплексной геолого-геофизической и Поисково-съёмочной экспедициями ЮКТГУ в пределах Колдар-Тайсойганской зоны, выделенной ранее работами Центральной геолого-тематической экспедиции ЮКТГУ.

Государственная геологическая съёмка масштаба 1:200000 была проведена в 1958-1959 гг. (М.Б. Стааль, 1958 г.; А.А. Розенкранц, 1959 г.). Район месторождения был закартирован в масштабе 1:50000 (М.Б. Мычник и др., 1976 г.). В 1975-77 гг. были проведены поисково-разведочные работы и предварительная разведка месторождения Актогай под руководством Ю.А. Сергийко и др. в 1977 г. В результате последней «оценки» месторождение было выдвинуто в разряд крупных промышленных объектов. По геологическому строению и характеру распределения полезных компонентов месторождение Актогай было отнесено ко второй группе сложности.

Выделены 2 рудных тела – Основное и Северное. Был произведен подсчет запасов по кат. C_1 и C_2 . Запасы сульфидной руды по кат. C_1+C_2 Основного и Северного тел составили 1058674,2 тыс.т, запасы меди 4344,8 тыс.т со средним содержанием 0.410 %. Окисленные руды: запасы руды по категории C_2 составили 54297 тыс. т, запасы меди 236,0 тыс. т, с содержанием меди 0,435 %.

Так же в этих годах на рудном поле проводилась геологическая съёмка масштаба 1:10000 (Красников А.М., 1979 г.). В 1975-1979 годах Актогайской ГРП (В.К. Шульга, В.С. Варнавских и др.) на месторождении была выполнена геологическая съёмка в масштабе 1:2000. Окончательный вариант чертежей карт с учетом изучения шлифов и интерпретации геофизических материалов составлен В.Ф. Зыбниным и Т.М. Волькиной.

При составлении геологических карт повсеместно использовались материалы аэрофотосъёмки и результаты дешифрирования космо- и аэрофотоматериалов, выполненными Ф.М. Ибрагимовым и др. в 1979 г. Также были использованы результаты интерпретации материалов геофизических работ масштабов 1:50000-1:10000.

В течение 1975-1979 гг. изучением вещественного состава руд и вмещающих пород месторождения, вопросами структурно-геологического контроля оруденения, минералогии и геохимии занимались сотрудники КазИМСа (А.И. Полетаев и др., 1979 г.), ЦНИГРИ (А.И. Кравцов и др., 1978 г.), Илийской геофизической экспедиции ЮКТГУ (В.А. Воропаев, 1979 г.). Для более детального изучения глубинного строения рудного поля выполнялись сейсморазведка МОВ (Н.В. Осинин и др., 1979 г.) и метод заряда (Ю.А. Калашников и др., 1978 г.).

Проводился каротаж скважин методами КС, ВП, КМВ, ГК. Проведены резистивиметрия, расходометрия, термометрия, плотностной ГГК, рентген-радиометрический каротаж на медь, опытные работы по оценке методом РРК

содержаний калия, урана и тория. В 1977-1980 гг. на месторождении была выполнена детальная разведка с подсчетом запасов (Ю.А. Сергийко и др., 1980 г.). Запасы были утверждены ГКЗ СССР (Протокол № 8605 от 15.10.1980 г.). Балансовые запасы подсчитаны по кат. С₁ и В.

Детальные поиски медно-молибденового оруденения на площади Актогайского рудного поля выполнены в 1979-1982 гг. (Ю.А. Сергийко и др., 1982 г.). В результате проведенных работ получены новые данные по датировке формирования Колдарского массива. По кат. Р₂ и Р₃ оценены выявленные слепые штокверки и небольшие апофизы.

С 1974 г. по состоянию на 1.07.1982 г. выполнен следующий объем ГРР: пробурено 215 тыс. п.мскважин, пройдено 176 тыс.куб.м канав, 3.8 тыс. п.м. мелких шурфов и 1.9 тыс.п.м глубоких шурфов с рассечками.

В период за ноябрь 2006 г. – апрель 2007 г. корпорация «Казахмыс» пробурила 19 скважин колонкового бурения общим метражом, составляющим 8019 п.м.

В 2009 г. Австралийская компания «AMC Consultants (UK) Limited» подготовила предварительное технико-экономическое обоснование (ПТЭО) проекта Актогай, а в 2012 г. составило ТЭО-2012 с включением в него подсчета запасов в соответствии с принципами JORC.

В Программе по развитию горно-металлургической отрасли Республики Казахстан на 2010-2014 гг. было запланировано строительство Актогайского ГОКа. В 2012 г. ТОО «Проектно-изыскательский центр по горному производству» был составлен Проект промышленной разработки месторождения Актогай. Проектом предусматривалось добыча окисленных и сульфидных руд с их дальнейшей переработкой на промплощадке Актогайского ГОКа.

Исследование грунта в пунктах предполагаемых площадок под отвалы пустой породы проведено SRK Consulting в 2012 г. Были пробурены 11 скважин, глубиной 25-40 м.

В 2015 г. были выполнены исследования гидрогеологических условий Жанарского месторождения подземных вод как главного источника технического водоснабжения Актогайского ГОКа (Ж. Ерікұлы, 2015 г.).

В 2017 г. Государственным научно-производственным объединением промышленной экологии «КазМеханообр» (ГНПОПЭ) составлена научно-исследовательская работа на тему «Проведение исследований по флотуемости руд месторождения «Актогай». В ходе исследования были тщательно изучены 46 частных проб, отобранных из разных скважин, на разных глубинах и разных горизонтах.

Из частных проб были сформированы 11 технологических проб, классифицирующие разные типы руд месторождения «Актогай». Схема и реагентный режим предоставлялись Заказчиком. С целью повышения качества коллективного концентрата проведена корректировка реагентного режима.

В 2018 г. выполнялось технологическое тестирование проб руды месторождения Актогай. Тестирование проводили сотрудники ООО

«Научно-Исследовательского и Проектного института Технологии обогащения минерального сырья» (ООО НИИПИ «ТОМС»). Было исследовано три пробы весом 181,55 кг.

Изучение вещественного состава и физико-механических свойств сульфидной руды месторождения осуществлялось ООО НИИПИ «ТОМС» в 2019 г. Работа выполнена на 3 пробах.

Позже, согласно заключенного договора между ТОО «Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева» и ТОО «KAZMinerals Aktogay» были выполнены научно-исследовательские работы по созданию систематизированной эталонной коллекции рудоносных и вмещающих горных пород медно-порфирового месторождения Актогай (С.В. Перевозов, Н.М. Жуков, 2019 г.). Отбор образцов для исследований выполнен на территории карьера с горизонтов 380, 400, 420 м и геотехнологических скважин №№ 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18 и 19. В процессе работ по лабораторным методам исследования пород и руд сульфидной и переходной зон месторождения Актогай были приведены детальные описания по 112 шлифам и 123 аншлифам. Подготовлены Атлас пород и руд и коллекция рудоносных и вмещающих горных пород месторождения Актогай.

3 Геологическое строение района месторождения

3.1 Геолого-структурные и металлогенические особенности района

Месторождение Актогай и одноименное с ним рудное поле расположены в юго-восточной части борта Баканасского синклинория, относящийся к северо-восточному сегменту герцинского Прибалхашско-Илеского андезитового комплекса интрузивно-вулканического пояса Жонгаро-Балхашской складчатой системы (Рисунок 3.1).

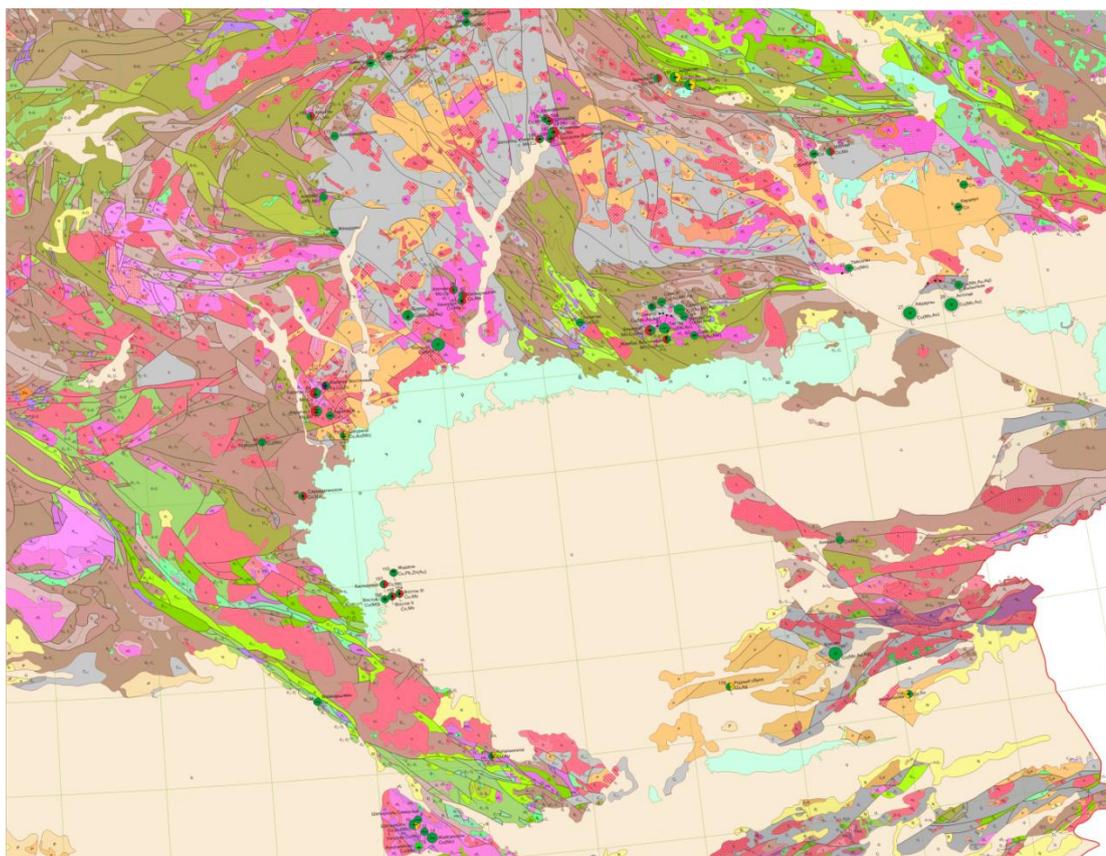


Рисунок 3.1 – Карта Джунгарско-Балхашской складчатой системы. Фрагмент государственной геологической карты [15]

Последняя тектоническая «постройка» простирается на расстояние более чем 1000 км при ширине всего лишь 70-140 км. В металлогеническом отношении эта вулканогенно-плутоническая структура может являть собой Балхашский пояс медных месторождений, включающий в свой состав месторождения Каратасского, Коунрадского, Саякского и Актогайского рудных полей. Данная структура достаточно четко прослеживается совокупностью субширотных линеаментов Жезказган-Актогайского направления, которые были ранее выявлены при дешифрировании космических и аэрофотоснимков (Ибрагимов Ф.М. и др., 1979). Данный

плутонический комплекс образовался в субплатформенный период развития земной коры данного района. Отложения андезит-дацит-молласовой формации керегетасского вулканогенного комплекса (C_{2-3}), представляют собой рудовмещающую вулканогенную часть вулканического пояса, а также более молодые вулканогенные формации колдарского (C_2-P_1), кызылкиинского (P_2-P_1), и кармысского (P_2) комплексов формировалась уже в субплатформенных обстановках. Трахибазальные отложения бакалинского вулканогенного комплекса (P_2) в целом воспринимаются как формации более позднего этапа развития данной территории.

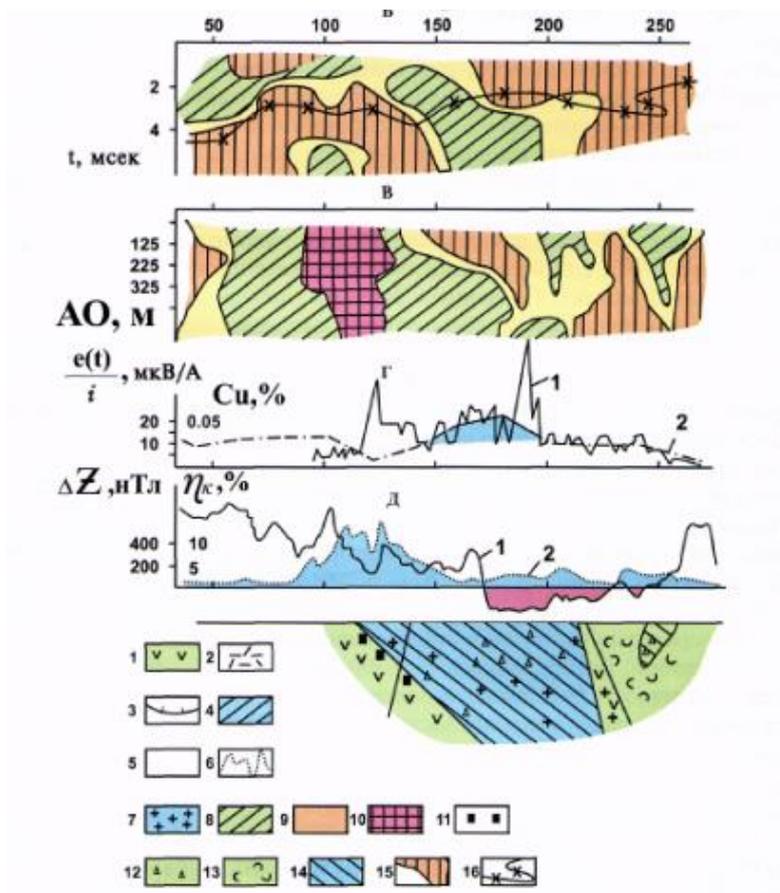
Интрузивные породы района относятся к верхнекарбонному – актогайскому и верхнепермскому – кызылкайнарскому интрузивным комплексам.

Образования актогайского интрузивного комплекса, из разряда формации пестрых батолитов (Колдарский и Тайсоганский массив, также мелкие обособленные тела на юго-западе исследуемой площади) подразумеваются как плутогенная составляющая Прибалхашско-Илеского вулканоплутонического пояса.

3.2 Геологическое строение Актогайского рудного поля

Границы Актогайского рудного поля формируются с помощью морфологии Колдарского интрузивного массива в зоне сочленения его экзоконтактов с отложениями керегетасской свиты. Обнаженная часть массива фиксирует ядро Колдарской горст-антиклинали, крылья которой составом своим представлены вулканогенно-осадочными и вулканогенными отложениями колдарской, кызылкиинской и бакалинской свит. По отношению к Колдарскому массиву они имеют сравнительно молодой возраст. Согласно проведенным ранее геологическим и геофизическим изысканиям Колдарский интрузивный массив представляет собой лакколлит, состоящий из диорита и гранодиорита. Открытая часть этой интрузии простирается с запада на восток примерно на 17 км и занимает площадь в 75 км² с двух сторон месторождения Актогай. В современном эрозийном срезе Колдарский массив больше выглядит как линзовидное тело субширотного простирания. Осевая линия его изогнута в северном направлении. По данным интерпретации материалов грави- и магниторазведки, а также сейсморазведки КОВ массив имеет форму лаколлита, но не простого, а с сильно опущенным южным бортом и четко прослеживаемым некогда магмоподводящим каналом-ножкой, расположенным со стороны висячего крыла глубинного разлома, предположительно относящийся к группе Актогайского регионального разлома. Шейка (ножка) данного лаколлита прослеживается до глубин примерно 4,5 км по всем тем же геофизическим данным. На глубине примерно 4 км корневая часть с сечении начинает приобретать форму эллипса, площадью около 4 км². Проекция этого сечения массива на дневную поверхность выпадает на участок между месторождением Актогай и Айдарлы.

С глубин равной 3 км нижняя кромка массива начинает выполаживаться, видоизменяя свою форму, а сам массив залегает субсогласно с вулканическими вмещающими породами керегетасской свиты, имеющих на данных глубинах мощности порядка 2500-2600 м. Кроме вышеописанного магмоподводящего канала в восточной и западной частях лаколлита отмечаются два более мелких сходных по своим очертаниям прогиба подошвы. Наиболее резкое изменение глубин нижней кромки интрузии наблюдается к востоку от ее «ножки». В непосредственной близости от месторождения Актогай она сокращается с 3 до 2 км, а далее к востоку, возможно и до 500 м (Рисунок 3.2).



а – схематизированная геолого-геофизическая модель месторождения; б, в – результаты нормирования данных ЗСБЗ и КП-ВП; г – графики $\epsilon(t)/i$ при $t = 2$ мсек.; (2) и содержания меди по литогеохимии (1); д – графики ΔZ (1) и η_k (2). 1 – гранодиориты, кварцевые диориты; 2 – вулканогенно-осадочные породы; 3 – внешняя граница выхода интрузивного массива на дневную поверхность; 4 – контур аномалий кажущейся поляризуемости; 5 – тектонические нарушения; 6 – контур гидротермально-измененных пород; 7 – плагиогранит-порфиры; 8,9,10 – участки с относительно повышенной электропроводностью соответственно более 20 %, 0-20 и 100%; 11 – пиритизация; 12 – кварциты; 13 – туфы андезитового состава; 14 – рудная зона; 15 – участки с пониженной электропроводностью и поляризуемостью

Рисунок 3.2 - Результаты геофизических работ на медно-порфировом месторождении Актогай [16]

В центральной приповерхностной части лаколлита, вдоль восточного его борта, от его подводящего канала, начинает обособляться останец вулканогенных и осадочно-вулканогенных отложений керегетасской свиты, имеющий вертикальную мощность до 600 м. Площадь ксенолита около 5,5 км². Более мелкий ксенолит известняков, примерно средне-верхнедевонского возраста, обнажается в районе поселка «Геологоразведочный», к северу от корневой части интрузивного массива. Площадь его совсем небольшая, примерно 0,2 км².

Рудоносный штокверк месторождения Актогай находится среди

гранитоидов первой фазы Колдарского массива и простирается вплоть до восточной части Центрально-Актогайского ксенолита терригенно-вулканогенных пород керегетасской свиты. Отличительной особенностью участка месторождения является кольцевое строение в плане геологических образований и рудоносного штокверка в целом, обусловленное особенностями тектонического строения. Строение рудного поля морфологией своей «обязана» наличием крупных долгоживущих разрывных нарушений актогайского (субширотного), колдарского (северо-восточного) и северо-западного направлений. Наиболее значительны амплитуды вертикального смещения по разрывам колдарского направления, достигающие сотен метров.

В пределах изучаемого района закартированы гранитные массивы Колдарского интрузивного комплекса, разделенные на 4 подфазы:

1) габбро-диориты (преимущественно распространены на Северо-западном блоке);

2) диориты разной по крупности зернистости, мелко- и среднезернистые диориты. Диориты в составе своем содержат игольчатую роговую обманку (блоки Северо-западный и Северный);

3) среднезернистые диориты и гранодиориты, реже порфировидные гранодиориты (Диагональный и Восточный блоки);

4) малые тела и дайки гранодиорит-порфиров с мелкозернистым основным базисом, реже плагиогранит-порфиры со стекловатым базисом.

Вторичным развитием в пределах участка характеризуются маломощные дорудные дайки гранит-аплитов и мелкозернистых гранитов связанные с гранитами второй фазы актогайского комплекса.

Ниже дается краткая характеристика наиболее распространенных интрузивных образований, участвующих в строении рудоносного штокверка и выполняющие до 70 % его объема.

Диориты неравномернозернистые, порфировидные. Они характеризуются изменчивостью состава и развитием габбровых и субофитовых структур. Они носят характер гипабиссальных образований и занимают более 50 % площади участка. Широкое развитие они получили в пределах Южного блока.

Призматически-зернистые диориты выделены в виде самостоятельного лакколита в пределах Северо-западного и Северного блоков. Площадь тела около 1,5 км². Структуры и состав пород идентичны описанным выше диоритам Южного блока – это порфировидные средне- и неравномернозернистые, реликтовые габбровые и габбро-диабазовые породы.

Диоритовые порфириты представляют собой фрагмент кольцевой структуры южной части участка. По данным картирования они слагают три крупных тела неотчетливой формы, массу оперяющих их апофизных тел и самостоятельные дайковые тела. Окраска пород темно-серая, зеленовато-серая, до темной зеленоватой. Структура порфировидная, мелко-, реже среднезернистая. Вкрапленники представлены плагиоклазом и горнблендом.

Диабазовые порфириты образуют серию пологих тел преимущественно

северо-западного простирания с падением в южных участках ($25-50^{\circ}$, реже до 60°). Мощность их невелика - от первых метров до 12-18 м, реже – до 35-50 м. Породы мелко- и тонкозернистые темно-серые, почти черные с зеленоватым оттенком.

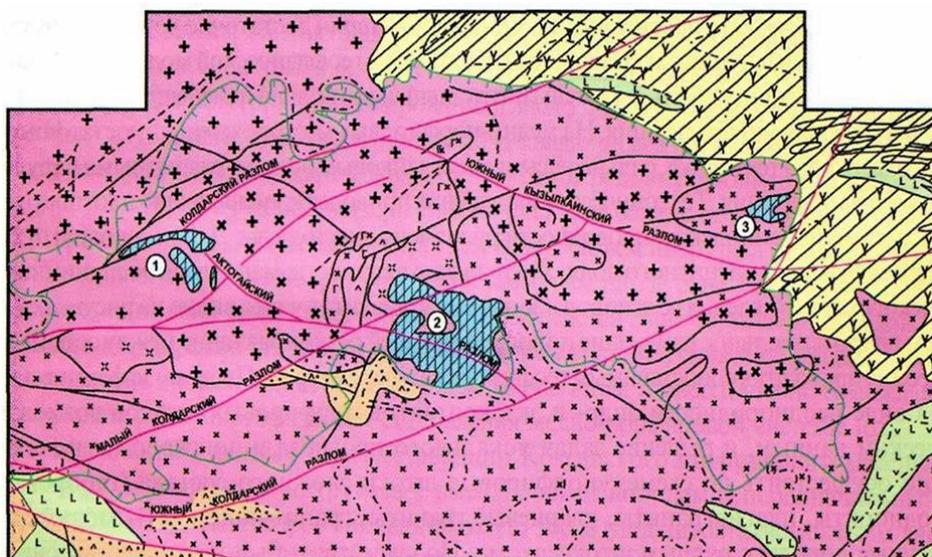
Кварцевые и дацитовые порфиры развиты по лишь в пределах Северо-западного и Северного блоков. Простирание даек варьируется от субширотного до северо-западного. Падение в юго-западных участках под углами $55-75^{\circ}$, а вблизи Малого Колдарского разлома – северо-восточное падение под углами $75-85^{\circ}$.

Среднезернистые полнокристаллические диориты и гранодиориты представляют собой более позднюю третью подфазу. Развиты в северо-восточной части участка и в частности по восточной половине Колдарского массива. По составу соответствуют кварцевым диоритам, реже биотит-горнблендовым гранодиоритам.

Порфировидные гранодиориты слагают самостоятельные небольшие по размеру тела в восточной части Центрального и Южного блока, а также в пределах Диагонального и Восточного блоков. Общая площадь их около $0,4 \text{ км}^2$. Цвет пород розовато-серый.

Гранодиорит-порфиры с мелкозернистым базисом сливаются в цепочку крупных жильных тел и даек, окаймляющих Актогайский глубинный разлом в пределах осевой части Центрального, Бурового и Северо-западного блоков. Форма тел изометричная – $300 \times 350 \text{ м}$ – (Северо-западный блок). Общая протяженность дайкообразного тела гранодиорит-порфиров около 1500 м. Падение крутое ($60-85^{\circ}$) в северо-восточных румбах. Цвет пород розоватый. От порфировидных гранодиоритов гранодиорит-порфиры отличаются отсутствием горнбленда во вкрапленниках. Характерна частая приуроченность к ним изометричных зон интенсивного штокверкового окварцевания, вплоть до монокварцитов.

Плагиогранит-порфиры (гранодиорит-порфиры со стекловидным базисом) образуют крупные дайки светло-серого цвета, окаймляющие западное замыкание рудоносной структуры месторождения. Простирание даек северо-западное, падение в северо-восточных румбах под углами $65-75^{\circ}$. Мощность от 18 до 41 м. Дайки слабой оруденности или вовсе безрудные. Плагиогранит-порфиры образуют небольшие обособленные тела в пределах Центрального и Бурового блоков. Мощность даек до 40 м. В пределах рудной части штокверка дайки плагиогранит-порфиров интенсивно окварцованы. В целом совокупность порфировидных гранодиоритов, гранодиорит-порфиров и плагиогранит-порфиров очень тесно связана и близка по возрасту (Рисунок 3.3).



1 – среднезернистые граниты; 2 – граниты мелкозернистые, гранит-порфиры; 3 – гранодиориты, кварцевые диориты; 4 – диориты мелкозернистые с пегматитовой структурой; 5 – монзониты; 6 – диориты порфиroidные, кварцсодержащие; 7 – габбро-диориты; 8 – базальтовые порфиры; 9 – андезито-базальтовые порфиры; 10 – вулканогенно-осадочные толщи кислого состава; 11 – дацитовые порфиры; 12 – границы пород, выделенные по магнитным свойствам; 13 – внешняя граница выходов Колдарского интрузива на поверхность; 14 – рудные зоны: 1 – Айдарлы, 2 – Актогай, 3 – Кызылкия.

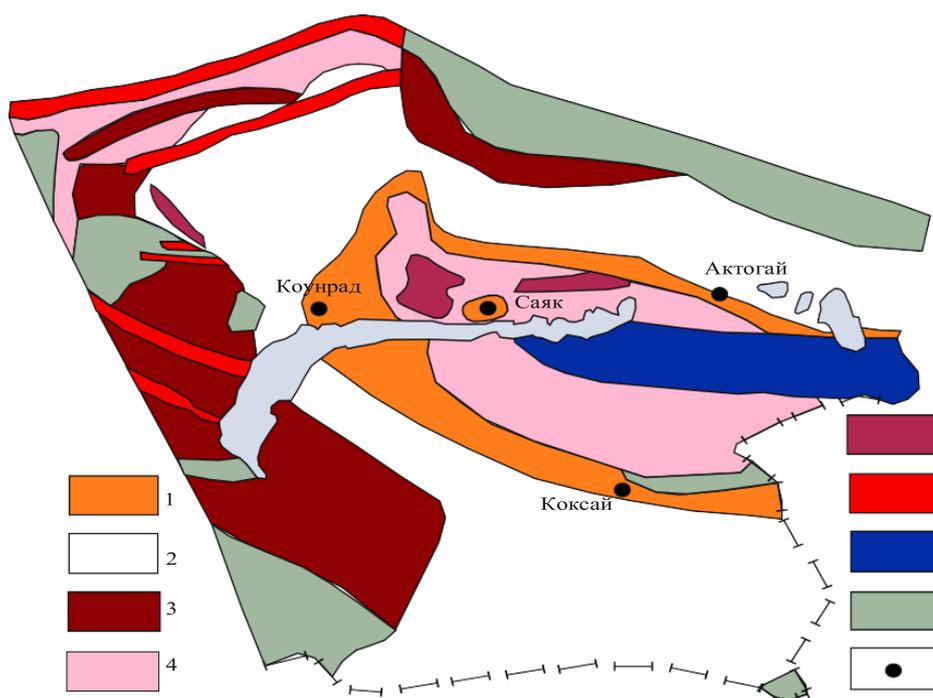
Рисунок 3.3 - Схематизированная геологическая карта участка Актогай [2]

Рудовмещающая среда отличается локальными отрицательными аномалиями силы тяжести в зонах близких к ядру лаколлита, повышенными значениями поляризуемости и электропроводности, повышенными геохимическими ореолами, понижением магнитного поля. Характер трещиноватости и тектоники, обуславливающий проницаемость рудовмещающей среды, начинает четко прослеживаться в результатах комбинированного профилирования, микромагнитных исследований, метода заряда. При классификации данных комбинированного профилирования, ВП и ЗСБЗ выделяются наиболее неоднородные участки по электропроводности и поляризуемости (см. рисунок 3.2).

4 Геологическое строение месторождения

Данный раздел заимствован из геологических отчетов А.И. Полетаева и др. (1979 г.), Ю.А. Сергийко и др. (1980 г.), С.В. Перезовова, Н.М. Жукова (2019 г.).

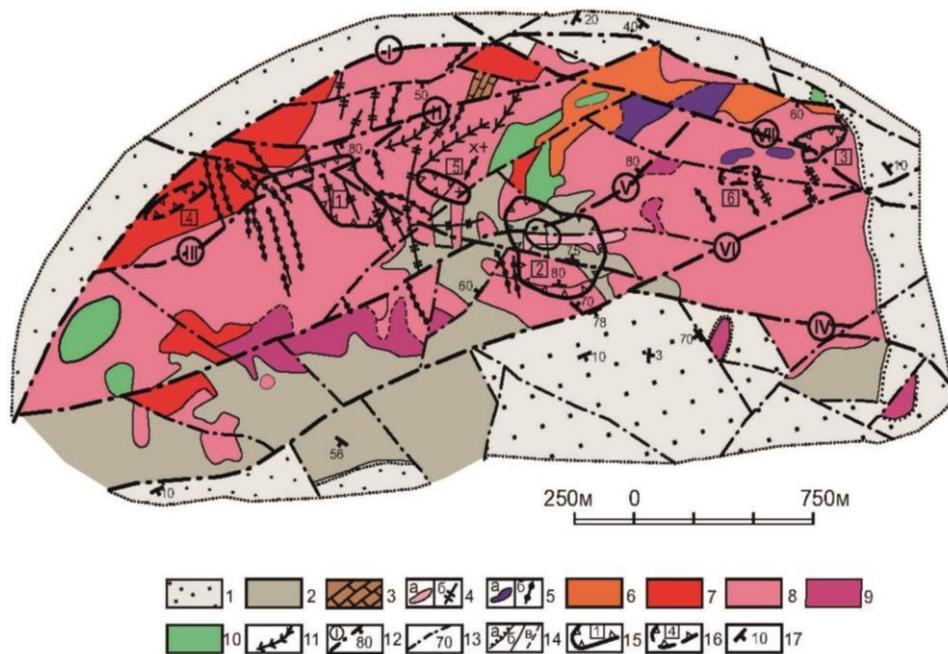
В геолого-тектоническом плане месторождение Актогай находится в пределах субширотной Колдарской горстантиклинали, являющейся структурной составляющей окраинно-континентального карбонового Тасты-Кусак-Котыросан-Алтынэмельского вулканогенно-тектонического пояса Жонгаро-Балхашской складчатой системы (Рисунок 4.1).



1-2 - области позднепалеозойских вулканогенно-тектонических поясов: 1- окраинно-континентального, 2 - внутриконтинентального; 3 - девонский краевой вулканогенно-плутонический пояс; 4 - зоны коллизии; 5 - офиолиты; 6 - поздний девон-раннекарбоновые континентальные рифты; 7 - поздний девон-раннекарбоновое океаническое дно; 8 - додевонские породы; 9 - медно-порфировые месторождения

Рисунок 4.1 - Региональная геодинамическая позиция медно-порфировых месторождений (по А.А. Богданову, 1959) [2]

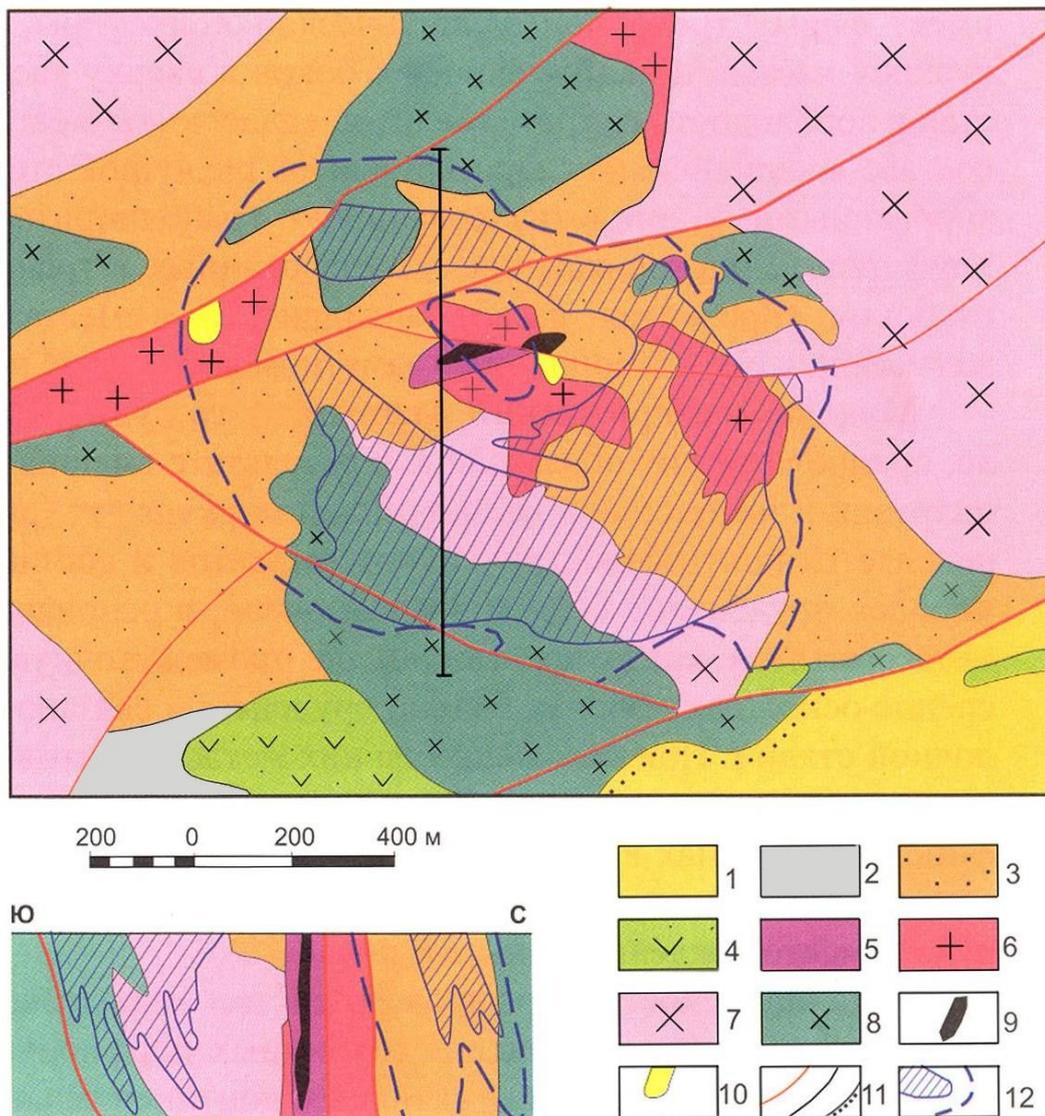
Актогайское рудное поле, включающее месторождение Актогай, приурочено к Колдарской гранитоидной интрузии, прорывающей вулканиты кергетасской свиты среднего карбона и перекрытой вулканогенно-осадочными породами колдарской свиты среднего-верхнего карбона (по другим источникам верхнего карбона-низов перми) (Рисунок 4.2).



Условные обозначения: 1 – осадочные, туфогенно-осадочные породы, реже туфы кислого состава колдарской свиты верхнего карбона - нижней перми; 2 – вулканогенные образования среднего, реже кислого состава с подчиненным количеством песчаников и алевролитов керегетасской свиты среднего-верхнего карбона; 3 – известняки предположительно девонского возраста; 4-10 – породы Колдарской интрузии: 4 – дайки гранодиорит-порфиров с фельзитовой и микропойкилитовой основной массой, 5 – тела (а) и дайки (б) порфиroidных гранодиоритов с аплитовой основной массой, 6 – порфиroidные граниты с аплитовой основной массой, 7 – граниты равномернозернистые, 8 – гранодиориты равномернозернистые, 9 – гранодиориты порфиroidные крупно- и среднекристаллические, 10 – диориты и габбро-диориты; 11 – дайки основного состава; 12 – главные разрывные тектонические нарушения (разломы I – Главный Колдарский, II – Колдарский, III - Айдарлинский, IV – Актогайский, V – Малый Колдарский, VI – Южный Колдарский, VII - Икбасский) и элементы их залегания; 13 – прочие тектонические нарушения и элементы их залегания; 14 – контакты пород: стратиграфически несогласные (а), интрузивные (б), условные (в); 15 – рудные штокверки изученные: Айдарлинский (1), Актгайский (2), Кызылкиинский (3); 16 – рудные штокверки слепые, слабоизученные: Западный (4), Промежуточный (5), Восточный (6)

Рисунок 4.2 - Геологическая карта Актогайского рудного поля (по данным Ю.А. Сергийко, и др. (1980 г.), С.В. Перезозова, Н.М. Жукова (2019 г.) [1,3])

Месторождение Актогай выполнено рудным штокверком, который представляет собой полузамкнутый толстостенный эллипс с безрудным ядром, вытянутый в субмеридиональном направлении на 2500 м при ширине 50-830 м. Оруденение выклинивается на глубине свыше 800 м. Центром штокверка служит шток гранодиорит-порфиров, вмещающий трубку брекчий натурмалинизированном цементе (Рисунок 4.3).



Условные обозначения: 1 – песчаники, гравелиты с прослоями туфов риолитов и дацитов колдарской свиты; 2 – туфы дацитов и андезидацитов керегетасской свиты; 3 – роговики и ороговикованные порфириты и туфы керегетасской свиты; 4 – штоко- и дайкообразные тела андезидацитовых порфиритов; 5-8 породы колдарской интрузии: 5 – гранодиорит-порфиры с фельзитовой и микропайкилитовой основной массой, 6 – порфировидные граниты и гранодиориты с аплитовой основной массой, 7 – равномернокристаллические гранодиориты, 8 – диориты, габбро-диориты; 9 – тела брекчий на турмалинизированном цементе; 10 – кварцевые тела; 11 – контакты тектонические, интрузивные и несогласные; 12 – границы рудных тел и рассеянной рудной минерализации

Рисунок 4.3 - Геологическое строение месторождения Актогай (по данным Ю.А. Сергийко, и др. (1980 г.), С.В. Перезова, Н.М. Жукова (2019г.) [1,3])

4.1 Стратиграфия

Стратиграфия месторождения, как и всего рудного поля, остается до сих пор слабо разработанной. Возраст выделяемых свит не подтвержден в должной мере ни геологическими, ни палеофитологическими материалами.

Зачастую одни и те же отложения разными авторами относят к разному возрасту. Материалы флористических сборов (А.М. Красников и др.), а также результаты сопоставления разрезов рудного поля с разрезами прилегающих районов позволили выделить следующие три толщи (свиты): условно девонскую известняковую; намюр-среднекарбоновую – калмакэмельскую свиту, по другим данным – керегетасская свита; верхнекарбон-нижнепермскую – колдарскую свиту.

Условно девонская толща (D). К этой толще отнесены мраморизованные, участками скарнированные известняки, слагающие ксенолит в гранитоидах Колдарского массива. Ксенолит приурочен к контакту диоритов с гранитами (см. рисунок 4.2).

Керегетасская свита (C_{2-3kg}) (по другим источникам калмакэмельская свита (C_{2km})). К этой свите отнесены осадочно-вулканогенные отложения, развитые непосредственно на участке Актогайского месторождения, и слагающие так называемый «Центрально-Актогайский ксенолит» (Кудрявцев, 1978 г.), а также вулканогенные породы, протягивающиеся в виде субширотной полосы вдоль южного контакта Колдарского массива. Определен лишь верхний предел возраста свиты, поскольку южнее месторождения в перекрывающих неметаморфизованных вулканогенно-терригенных отложениях, слагающих Колдарскую коробчатую брахисинклиналь, определена фауна, характерная для верхов карбона-низов перми. Залегание пород моноклиналиное, с азимутом простирания северо-западным до субширотного с углами падения 30-55° на северо-запад.

На участке месторождения отложения свиты увязываются в пологую мультисубпараллельную структуру, вытянутую в северо-западном направлении. От этой структуры, представляющей собой вулканотектоническую депрессию, сохранились лишь фрагменты крыльев и ядерная часть, с которой пространственно связано Актогайское месторождение. На участке месторождения породы свиты подвергнуты интенсивному метасоматическому изменению и часто превращены в кварц-калишпатовые, кварц-биотит-плагиоклазовые или кварц-серицитовые (филлиты) метасоматиты. На крыльях структуры отмечается более слабая гидротермальная проработка.

В основании свиты залегает пачка вулканогенных песчаников с прослоями алевролитов, гравелитов и туфов. Верхняя часть свиты представлена туфогравелитами, туфопесчаниками, содержащими горизонты туфов дацитовых порфиров и андезидацитовых порфиритов. Но, в основном, в свите наблюдаются игнимбриты сложного состава, туффиты, песчаники, алевролиты, туфолавы трахилипаритового состава, дацитовые порфиры, андезитовые порфириты. На более глубоких горизонтах преобладают дацитовые порфиры. Мощность отложений более 250 м.

Колдарская свита (C_{3-P1kl}). Имеет широкое распространение на месторождении и также участвует в строении Колдарской горст-антиклинали. Отложения свиты перекрывают отложения керегетасской свиты и

гранитоиды Колдарского массива через зону Южно-Колдарского разлома. К югу от месторождения породы смяты в своеобразную коробчатую мульду.

Свита условно подразделяется на две подсвиты. В нижней подсвите наряду с песчаниками, алевропесчаниками, присутствуют туфы трахидацитового, трахилипарит-трахидацитового состава. Верхняя подсвита развита более широко. Состав верхней подсвиты преимущественно терригенно-осадочный. Она сложена разномерными песчаниками, алевролитами, гравелитами, конгломератами. Вулканогенные породы имеют резко подчиненное распространение – это туфы трахидацитового, трахилипаритового, липаритового состава.

Мощность отложений колдарской свиты 800-1000 м.

Четвертичная система(Q). Четвертичные отложения повсеместно распространены в районе Актогайского месторождения и представлены нерасчлененными образованиями среднего, верхнего и современного отделов. В составе этих отложений отмечаются суглинки, супеси, глины, пески, галечники, гравийные и щебнистые образования аллювиального, аллювиально-пролювиального, делювиально-пролювиального, озерного генезиса. Мощность составляет первые метры до нескольких десятков метров. Водоносный суглинисто-песчано-гравийно-галечниковый комплекс Жузагашского и Жанарского месторождений подземных вод рассматривается как средне-верхнечетвертичный.

4.2 Интрузивные образования

Магматические породы пользуются наиболее широким развитием в районе. Они слагают Колдарский массив и ряд мелких тел.

Колдарский массив размещается в центре рудного поля (см. рисунок 4.2) и имеет в плане чечевицеобразную изогнутую к северу и вытянутую в субширотном направлении форму, размером 18 x 4.5 км. Западная и большая часть северной его границы скрыта под относительно мощным чехлом четвертичных отложений. На юго-западе и юго-востоке массив прорывает отложения керегетасской свиты.

При обработке гравиметрических данных (Романов, 1978 г.) установлено, что массив в трехмерном пространстве обладает формой ассиметричного плосковыпуклого лакколита и имеет в центре мощность около 3 км, на крыльях от 0.5 до 1.0 км. Ассиметрия обусловлена значительной вытянутостью южного крыла. Контакт интрузива на этом крыле пологий с образованием в экзоконтактовой зоне в породах керегетасской свиты ореола роговиков. По контакту массива на северном крыле лакколита внедрилась гранитная интрузия, ведущая себя как автономное тело.

Колдарский интрузивный массив считается комагматичным с керегетасской свитой. Время его формирования не позднее C_3 , так как массив перекрывается, через базальные конгломераты, отложениями колдарской свиты (C_3-P_{1kl}).

Массив является многофазным с широкой гаммой пород – от габбро-диоритов до гранитов. Выделяются диориты, габбро-диориты, кварцевые диориты, биотит-горнблендовые гранодиориты, биотитовые граниты, мелкозернистые порфировидные диориты, микродиориты, гранит-порфиры, гранит-аплиты, кварцевые порфиры, гранодиорит-порфиры, диабазы, диабазовые и диоритовые порфириты.

Все гранитоидные породы массива в той или иной степени изменены процессами окварцевания, калишпатизации, биотитизации, хлоритизации, амфиболитизации, эпидотизации, скаполитизации и пренитизации. Наиболее интенсивные метасоматические процессы развиты в контактных зонах, вплоть до образования метасоматитов.

Порфиры и порфириты разного состава образуют в пределах массива мелкие штоки и дайки и пользуются сравнительно небольшим распространением.

Доминирующую роль в составе массива играют габбро-диориты, диориты, кварцевые диориты, гранодиориты и граниты. Они составляют большую часть площади Колдарского массива (см. рисунок 4.2).

Группа диоритов (первая фаза) представлена серией фациальных разновидностей: мелкозернистые горнблендовые диориты до габбро-диоритов, меланократовые диориты, разномзернистые биотит-горнблендовые диориты – кварцевые диориты. Сложены они средним плагиоклазом, горнблендом, нередко включающей реликты кристаллов пироксена, иногда с небольшим количеством кварца.

Группа гранодиоритов относится ко второй фазе. В эту группу включены неравнозернистые кварцевые диориты, фанеритовые и порфировидные биотит-горнблендовые гранодиориты. Контакты с диоритами первой фазы обычно резкие, интрузивные, но иногда наблюдаются постепенные переходы. Гранодиориты сложены средним плагиоклазом, горнблендом, изредка включающей реликты пироксена; присутствует биотит и калиевый полевой шпат.

Группа гранитов является третьей фазой интрузивных образований Колдарского массива. Это разномзернистые и порфировидные биотитовые, реже лейкократовые граниты.

Малые интрузии и дайки. Малые интрузивные тела и дайки Колдарского массива делятся на следующие группы:

- мелкозернистые порфировидные гранодиориты, диориты, микродиориты и диабазы;
- кварцевые порфиры, гранит-порфиры;
- мелкозернистые граниты, гранит-аплиты, пегматоидные граниты;
- гранодиорит-порфиры;
- кварцевые диорит-порфириты, диабазовые и диоритовые порфириты.

Малые интрузии линзообразной, грубоизометричной формы, размером до 150х400 м, содержат в основной массе ксенолиты материнских пород (тех

пород, которые они прорывают), иногда наблюдается расщепление на дайкообразные тела. Контакты с вмещающими породами резкие.

Один из штоков пространственно совмещен с узлом прорываемых им даек кварцевых порфиров – гранит-порфиров и имеет с вмещающими вулканитами неровные фестончатые контакты. В центральной и северо-западной части штока фиксируются монокварцевые тела (см. рисунок 4.2).

В Колдарском интрузиве наблюдаются дайки различного состава. Ранние дайки Колдарского комплекса, представленные гранит-аплитами, пегматит-гранитами, гранит-порфирами, встречаются на месторождении на площади развития мелко-среднезернистых диоритов – кварцевых диоритов и порфиридных гранодиоритов. Дайки северо-восточного простирания расположены группами и имеют небольшую протяженность до 2-3 м. Падение от 17 до 65°. Контакты с вмещающими породами всегда резкие.

В пределах месторождения малые интрузии и дайки гидротермально изменены и содержат рудную вкрапленность. Послерудные дайки представлены диабазами и дацитами.

В строении Колдарского массива также принимают участие трубчатые тела гидротермально-эксплозивных брекчий. Выделяются две разновидности: предрудные брекчии с биотит-кварцевым и серицит-кварцевым цементом, слагающие линейно-вытянутые в плане трубчатые тела, сопровождающие зоны долгоживущих разломов и развивающиеся в зоне контакта диоритовых порфиритов, порфиридных гранодиоритов с вмещающими породами кергетасской свиты. Иногда образуют самостоятельные тела неправильной формы.

Пострудные брекчии второго типа с серицит-турмалиновым цементом отмечаются в виде двух трубчатых тел в центральной части месторождения (см. рисунок 4.2). Обломки в пострудных брекчиях представлены вулканитами, гранитоидами. В этих брекчиях молибден-медная минерализация наблюдается только в обломках.

4.3 Тектоника

Главным акцентом данного подраздела, как следует из заголовка, является более детальное изучение и выявление взаимосвязи между рудоносностью и тектоникой на медно-порфировом месторождении Актогай. Так как главным объектом промышленной разработки на месторождении является самое ядро штокверка, залегающего в толщах вулканогенно-осадочных пород, то всестороннее изучение тектонической активности в нашем случае неразрывно связано с историей развития изучаемого месторождения. Активные тектонические явления оставили свой «отпечаток» на геологическом строении не только самого месторождения, но и на всей прилегающей территории в целом. В данном подразделе будет рассматриваться проблематика тектоники как регионального, так и локального масштаба, а также вкратце будут описаны основные

рудоконтролирующие разрывные нарушения и будет выявлена их роль в формировании всех месторождений и рудопроявлений на изучаемой территории.

Как уже было сказано выше, положение рудного поля и непосредственно месторождения находится в прямой зависимости от линейных разрывных структур разных порядков и участков их пересечения.

В начальный период генерации магмы по этим разломам была создана Актогайская вулкано-тектоническая депрессия, которая совместно с разломами и зонами трещиноватости сыграла роль основной рудолокализирующей структуры для месторождения. Интрузивные образования исполняли роль флюидопроводников.

Сама депрессия выполнена осадочно-вулканогенными отложениями керегетасской свиты и имеет в разрезе мульдообразную форму, в рельефе выражена циркообразной котловиной, обрамленной грядой мелких сопок, сложенных мелко-среднезернистыми биотит-горнблендовыми диоритами, кварцевыми диоритами, меланократовыми диоритами, порфирированными гранодиоритами.

Обнажающиеся в районе месторождения осадочные и, главным образом, магматические породы верхнего палеозоя образуют орогенный складчатый комплекс, являющийся нижним структурным этажом. В нем преобладают сравнительно простые пологие синклинали, разделенные относительно узкими антиклиналями. Наиболее значительные из этих структур следующие: Кызылкайнарская, Байтоленская и Бериктасская синклинали, а также Коктобинская антиклиналь и Колдарская горст-антиклиналь. Появление среди пликативных Колдарской горст-антиклинали совершенно не случайно – она приурочена к зонам субпараллельных региональных разломов, впервые выделенных в результате дешифрирования космических и аэрофотоснимков (далее КС) Ф.И.Ибрагимовым в 1977 г. Одна из них, Актогайская зона субпараллельных разломов протягивается в направлении $280-290^{\circ}$ и прослеживается на КС на расстояние около 60 км. Видимая на КС ширина данной зоны составляет 200-400 м, а вместе с оперяющими трещинами в пределах 600-1000 м. В 3 км к северу от Актогайской протягивается соразмерная ей Икбасская система субпараллельных разломов. Вероятно, обе эти зоны являются лишь фрагментом более крупной и протяженной глубинной зоны разломов, служащих северной границей Сасыкколь-Алакольской депрессии.

Рудоносность на изучаемой территории приурочена к двум основным зонам, Икбасской и Актогайской, в пределах которых находятся субвулканические тела кислого и среднего состава и сопутствующие им дайки. К Актогайской зоне можно отнести месторождения Айдарлы и Актогай, а к Икбасской – рудопроявление Кызылкия.

В общей сложности эти объекты образуют Актогайское рудное поле. Геологические границы рудного поля контролируются полихронной вулканоплутонической постройкой Колдраского массива.

Как уже было сказано ранее, главной структурой на месторождении Актогай является Актогайская тектоническая зона, обрамленная субпараллельными разломами. Так что формирование всех структурных элементов Актогайского рудного поля и месторождения связано именно с Актогайской зоной разломов, отдешифрированной Ибрагимовым (1979) Зона представляет собой серию кулисно расположенных тектонических швов, контролирующих образование вулканогенных толщ, становление Колдарского интрузива, размещение медно-порфировых месторождений (см. рис. 8). Простираение данной зоны $280-290^{\circ}$, мощность 600-800 м. Именно этой зоной контролировалось размещение вулканических построек на ранней доинтрузивной стадии формирования рудного поля. Оперяющие зону разломы имеют северо-восточное ($50-60^{\circ}$) и северо-западное ($330-340^{\circ}$) направление. Самые крупные из этих оперяющих разломов северо-восточного простираения получили собственные названия: Малого Колдарского и Южно-Колдарского разломов. Они контролируют размещение даек за пределами Актогайской тектонической зоны. Разломы северо-западного направления появляются в юго-западной части. Вероятнее всего, поворот основных и кислых даек на западном фланге месторождения связан как-раз таки с разломами этого направления. Актогайский разлом располагается в центре месторождения, протягивается в субширотном направлении ($280-310^{\circ}$) и разделяет рудоносный штокверк на Центральный и Северный. Он смещается Малым Колдарским сбрососдвигом с вертикальной амплитудой около 80 м. Актогайский разлом представляет собой зону дробления, мощностью от 2.5 до 4.0 м, падающую под углами $74-76^{\circ}$ на север. Разлом смещает рудные тела и дайки диабазов и относится к разломам длительного развития.

Северо-восточнее Актогайского разлома отмечается Буровой разлом с широтным простираением и крутым падением на юг. Разлом долгоживущий.

Южный взброс - дугообразный разлом с падением на север под углами $72-75^{\circ}$ до 80° .

Рассмотрение конфигурации общего поля рассеянной сульфидной минерализации позволяет говорить о вероятном проявлении здесь множества трудно картируемых концентрических ослабленных зон, в том числе и субмеридиональных, формирующих в совокупности кольцевую структуру. Наличие такого феномена подтверждается ориентировкой и конфигурацией зон метасоматических преобразований пород, и особенностями наблюдаемой зональности в распределении первичной медной минерализации.

Пликативная складчатость на территории изучаемого района проявлена очень слабо. Вулканоогенно-осадочные породы слагают простые мульды с пологим падением слоев.

Все вышеописанное позволяет изложить историко-геологическую последовательность формирования месторождения следующим образом: Актогайская тектоническая зона контролировала размещение ранних вулканов, следы деятельности которых остались в виде субвулканических тел на месторождении и в виде осадочно-вулканогенных пород ранней

Колдарской свиты. Затем, произошло внедрение интрузивных масс многофазного Колдарского массива. Имеющиеся данные позволяют парагенетически связывать оруденение с заключительными фазами Колдарского интрузивного массива – мелкозернистыми диоритами, порфирировидными гранодиоритами и гранодиорит-порфирами.

После внедрения этих пород широко проявились метасоматические процессы, в заключительную стадию которых отлагались и руды. После отложения основных руд проявились процессы бурного метасоматоза, создавшие трубчатые тела брекчий с кварц-турмалиновым цементом.

Завершился рудный процесс образованием карбонат-цеолитовых прожилков с убогой полисульфидной минерализацией. Поздняя базитовая дайковая серия Колдарского массива формировалась уже после отложения руд. В палеозое формирование Актогайского вулканогенно-плутонического горст-антиклинория завершилось отложениями вулканогенно-осадочных пород кызылкиинской свиты, а за его пределами – более поздней существенно базитовой бакалинской свитой. Для данной свиты характерно наличие рассеянной медной минерализации, нередко также сопровождающееся молибденовой. В новейшее время тенденции развития Актогайского горст-антиклинория сохранились, что предопределило положительный рельеф данного блока и его дальнейшую денудацию. Скорости вертикального подъема изучаемого блока и его денудация сопоставимы. Отмеченные особенности тектонического развития Актогайского горст-антиклинория, а также более основной состав рудовмещающих пород предопределили малую мощность и слабую проработанность зоны окисления и сопряжённой с ней зоны цементации месторождения Актогай.

5 Морфология рудного штокверка

Как отмечалось ранее, штокверк в сечении имеет форму замкнутого эллиптического кольца с внутренним (смещенным к северо-востоку) безрудным ядром размером 1100 х 650 м.

Позиция рудного штокверка в геологической структуре определяется наличием элементов унаследования малых интрузивных тел гранодиорит-порфиров и тел конформных с оруденением диоритовых порфиритов.

На уровне первичных руд штокверк представляет собой зону измененных гранитоидов и вулканитов кислого и среднего составов, содержащую молибден-халькопирит-пиритовую, реже молибден-борнит-пирит-халькопиритовую минерализацию, преимущественно прожилково-вкрапленного, вкрапленно-прожилкового типов. Максимальная глубина встречи кондиционных по мощности руд с содержанием 0.3% около 800 м.

Расщепление рудного штокверка с глубиной происходит, в первую очередь, на западе, в районе Малого Колдарского разлома на гор. 340 м. С глубиной в горизонтальных сечениях рудоносное кольцо превращается в подкову, а затем в полумесяц, обращенный вогнутой частью на северо-запад. Ниже горизонта 160 м осевые линии штокверка слагают V-образную фигуру с основанием, направленным к юго-восток-востоку. Одна из ветвей ориентирована субширотно, другая – в северо-западном направлении. В целом, рудоносный штокверк можно охарактеризовать как толстостенный усеченный эллиптический опрокинутый конус, нижняя образующая которого имеет неровные зубчатые края, расщепляющиеся на серию выклинивающихся проводников с малыми невыдержанными сечениями (Рис. 5.1). Условная поверхность выклинивания на глубине южных и восточных частей штокверка погружается на восток под углом 25- 40°. Ось конуса наклонена на Ю-ЮЗ под углом 75-80°. В восточной части конфигурация штокверка осложнена расщепляющейся апофизой, сложенной преимущественно забалансовыми рудами.

Месторождению Актогай присуща традиционная схема вертикальной минералогической зональности руд:

- подзона выщелачивания;
- зона окисленных руд;
- подзона смешанных руд;
- подзона развития вторичных сульфидов;
- зона первичных сульфидных руд.

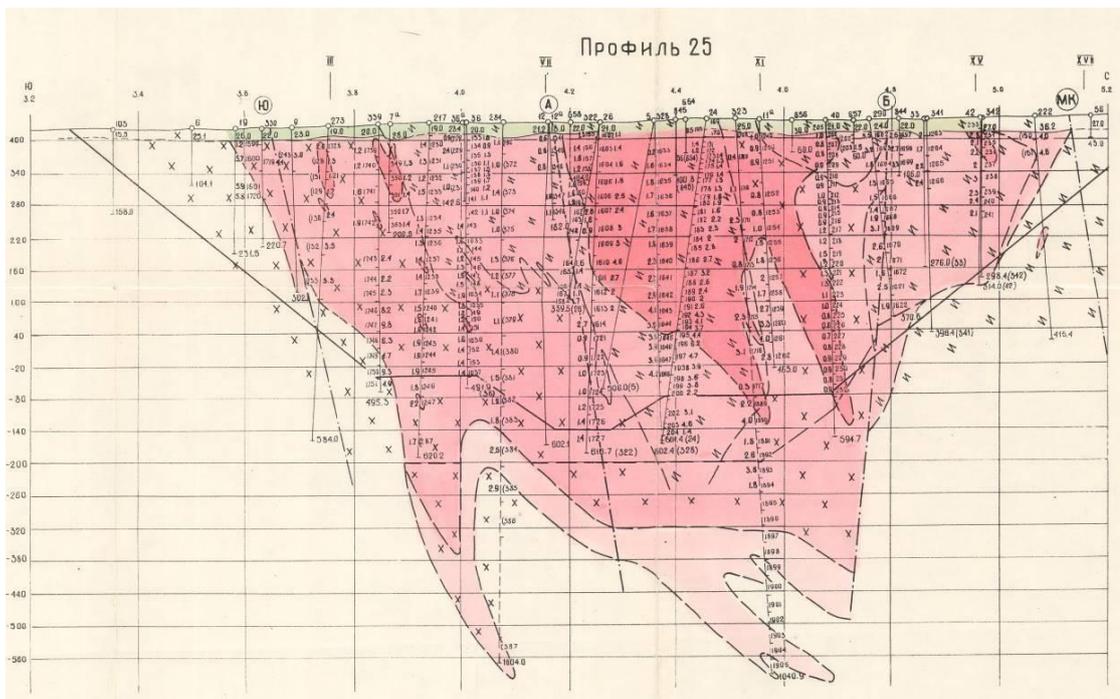


Рисунок 5.1 – Геологический разрез по профилю 25 (по данным Сергийко, 1980) [1]

Подзона выщелачивания проявлена спорадически в верхней части окисленных руд мощностью от 7-8 до 22-26 м.

Зона окисленных руд. Окисленные руды образуют над сульфидными рудами выдержанную плащеобразную залежь, концентрирующую в себе 5 % балансовых запасов месторождения.

Характерно неполное совпадение контуров окисленных и сульфидных руд, как на флангах, так и в центральной части штокверка, где нередко с поверхности наблюдаются безрудные “окна”. Окисленные руды представляют собой сильно нарушенные скальные образования (измененные вулканиты и гранитоиды) с налетами, корочками и колломорфными стяжениями хризоколлы, малахита, гидроокислов железа, азурита, брошантита, гипса, кальцита и глинистых минералов. Почти всегда присутствует реликтовый халькозин, куприт, халькопирит, молибденит. Содержание меди и молибдена в окисленных рудах заметно ниже, чем в подстилающих их сульфидных рудах.

Подзона смешанных руд. Смешанные руды выделяются как маломощная (2-4 м) невыдержанная подзона в приподошвенной части окисленных руд. На долю сульфидных форм приходится 25-50% меди, фиксированной в ковеллине, халькозине, борните и реликтовом халькопирите. Отмечается куприт и самородная медь. Характерно присутствие гелеподобных стяжений халькозина, развивающегося вокруг халькопирита.

Подзоны развития вторичных сульфидов представляет собой недоразвитую зону вторичного сульфидного обогащения. Мощность подзоны крайне не выдержана и составляет от 1-2 до 35 м, не превышает в

среднем 3.8 м. Максимальные мощности обычно приурочены к участкам развития малых тел гранодиорит-порфиров.

Зона первичных сульфидных руд концентрирует в себе свыше 95% общих запасов штокверка.

Для руд месторождения характерны невысокий уровень изменчивости содержаний меди и его выдержанность на протяжении значительных интервалов. Как правило, величина коэффициентов вариации меди по частным скважинам не превышает 40%, молибдена – 100-120%.

Изменчивость рудного штокверка проявляется на фоне латеральной и вертикальной зональности медного оруденения.

Латеральная концентрическая зональность проявляется в закономерном снижении интенсивности медного оруденения относительно условной срединной конической поверхности рудного штокверка. Латеральная зональность проявлена и в минеральном составе руд: в направлении от внешних периферических частей штокверка величина отношения серы к меди в целом закономерно падает, что подтверждает наблюдение о сокращении количества пирита в рудах от периферии к центру. Для приядерных частей штокверка характерно появление ощутимых количеств гипогенного борнита и повышение дефицита серы в халькопиритах.

Вертикальная зональность сульфидных руд проявлена не менее отчетливо. С глубиной снижается содержание меди и, в целом, повышается степень прерывистости руд.

Сочетание факторов, обусловивших закономерную вертикальную и латеральную зональность сульфидных руд, предопределило размещение участков относительно богатых руд (0.5% и выше). Встречаются так называемые «трубы», осложняющие выявленные закономерности. Это участки с содержанием 0.7% и выше сгустково-вкрапленных прожилковых борнит-халькопиритовых руд, связанных с эксплозивными брекчиями на кварц-биотитовом цементе.

6 Вещественный состав руд

Выделено два промышленных типа руд: окисленные с включением смешанных руд и первичные сульфидные руды (включая в них руды зоны развития вторичных сульфидов).

Околорудные изменения в них проявлены в виде окварцевания, калишпатизации, серицитизации и хлоритизации.

Вмещающими породами являются в разной степени гидротермально проработанные гранитоиды и тонкозернистые вулканиты, имеющие в общем объеме соотношения 70:30.

Минеральный состав рудовмещающих пород: кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклазы, биотит, хлорит, в подчиненном значении распространен кальцит.

Вещественный состав окисленных руд. В окисленных рудах заключено около 5% запасов промышленных руд. В зоне окисления из медных минералов развиты хризоколла (40-80%), актогаит (марганцевистая разновидность хризоколлы), малахит, азурит, атакамит и другие более редкие окисленные минералы меди (Рисунок 6.1). Все указанные минералы обычно образуют псевдоморфозы по полуокисленным первичным сульфидам – халькозину, ковеллину, халькопириту, борниту, пириту и др. или же наблюдаются в трещинах вмещающих пород в виде небольших гнезд, корочек, землистых налетов и радиально-лучистых или сноповидных агрегатов.



Рисунок 6.1 - Образец из зоны окисления с налетами малахита, хризоколлы и гидроксидов железа (по материалам Жукова Н.М.) [2]

В структурно-текстурном отношении окисленные руды обычно наследуют текстуры и структуры первичных руд, но иногда в них отмечаются новообразованные типы рудных сростаний, такие как ящичная, петельчатая, корковая, почковидная, радиально-лучистая и дендритовая.

Из окисленных форм меди по данным фазовых анализов рядовых проб

доминирует силикатная. Из петрогенных элементов в окисленных рудах содержится: оксида кремния – 61-68 %, оксида алюминия – 12-15% и оксида кальция – 2-4%.

Вещественный состав сульфидных руд. Основную промышленную ценность месторождения составляют сульфидные руды (Рисунок 6.2). По текстурному рисунку эти руды подразделяются на вкрапленно-прожилковые, прожилково-вкрапленные, гнездово-вкрапленные и брекчиевые. Наиболее широко распространены на месторождении вкрапленно-прожилковые и прожилково-вкрапленные, на долю которых приходится 75-80% запасов сульфидных руд. Частной разновидностью упомянутых текстур является гнездово-вкрапленная. Она характерна для относительно богатых сульфидных руд, размещающихся в юго-восточной части месторождения.

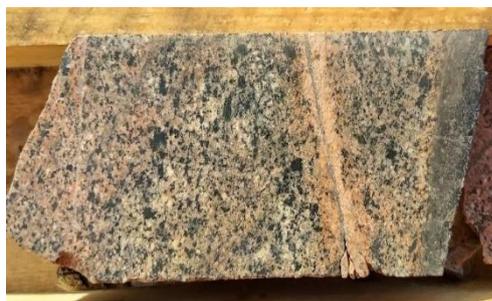


Рисунок 6.2 - Образец первичных руд с прожилками пирит-халькопирита (по материалам Жукова Н.М.) [2]

Отмечаются существенно прожилковые руды, в которых на прожилки приходится более 50% рудной составляющей. На долю таких руд приходится 5-7% учтенных запасов и распространены они преимущественно в периферийных частях месторождения. Брекчиевые руды пользуются незначительным развитием. Из структур руд наиболее характерны для месторождения мелко- и тонкозернистые с порфировидным строением.

Все основные рудные минералы представлены в рудах несколькими генерациями. Халькопирит и пирит отмечаются в рудах в виде равномерно рассеянной вкрапленности преимущественно мелких размеров и развивается среди нерудной массы, образует сростания с пиритом, реже с молибденитом. В единичных случаях в халькопирите наблюдаются включения галенита. Реже отмечаются прожилки и гнезда. Прожилки имеют мощность от долей мм до 1.0 см, гнезда характеризуются размерами от 0.1 до 3-4 см в поперечнике. В тесном сростании с халькопиритом довольно часто отмечается борнит. Распределение его в рудах неравномерное. Основная масса сосредоточена в верхней части рудного штокверка.

7 Гидротермальные изменения рудовмещающих пород месторождения Актогай

При детальном исследовании порфировых месторождений было установлено, что ранние калиево-силикатные вторичные изменения (КПШ ± биотит ± магнетит с кварцевыми жилами) образованы в условиях высоких температур (400-600°) при участии сильно минерализованных флюидов магматического происхождения. А более поздние серицитовые зоны ассоциируют с более холодными и менее минерализованными водами.

Основными составляющими любой Cu-порфировой системы (Кривцов А.И., 1983) являются: 1) порфировые фазы интрузивных пород, 2) рудно-метасоматическая зональность, 3) брекчиевые тела, 4) морфология рудных тел и 5) гипергенная зональность месторождений. Рудно-метасоматическая зональность порфировых систем часто является индикатором масштаба оруденения и уровня эрозионного среза, что важно на практике. Всем известна обобщённая схема рудно-метасоматической зональности медно-порфировых месторождений, предложенная R.H. Sillitoe (Рисунок 7.1). Согласно этой схеме, в нижних частях порфировой системы, обычно ниже её, наблюдаются изменения Ca-Na типа, связанные с альбитизацией интрузивных пород (альбит/олигоклаз+актинолит+магнетит), они не несут оруденения. Выше располагается зона кварц-калишпатовых изменений, являющаяся ядром Cu-порфировой системы (биотит+калишпат), часто она основная рудоносная зона. По краям всей системы, в её фланговых частях обычно развиваются пропилиты (хлорит+эпидот+альбит+карбонат), обычно безрудные.

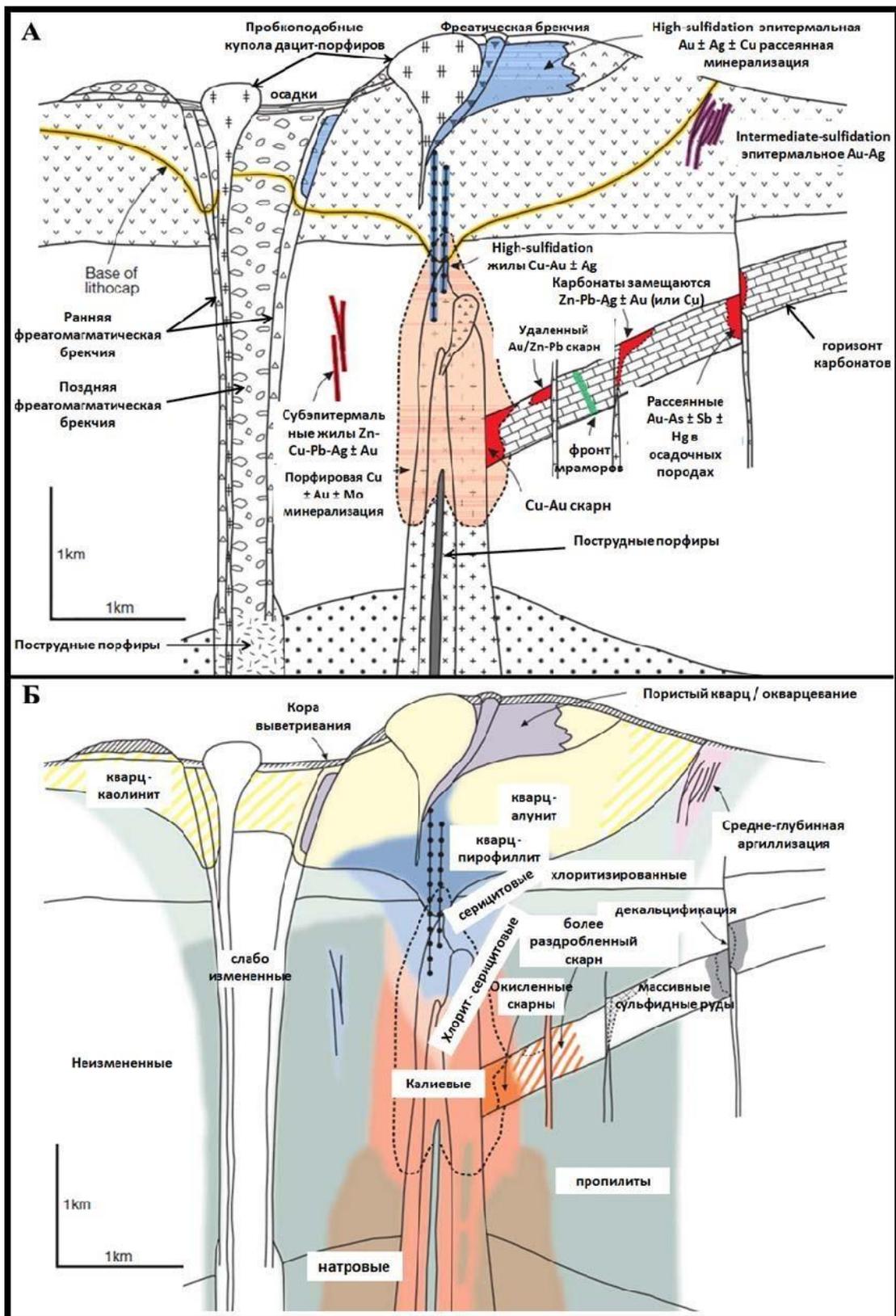
Стиль метасоматических изменений, их основные минералы и рудный потенциал приведены в таблице 7.1.

На Актогайском месторождении наблюдаются все типы вышеописанных гидротермально-метасоматических изменений пород, за исключением аргиллизитовых. Наличие каолиновых изменений пород и “вторичных кварцитов” в верхней части месторождения явно относятся к образованиям мезозойской коры выветривания, и не являются рудно-метасоматическими образованиями.

На основе анализа информации ранее проведенных работ, а также геологической документации и ИК-спектроскопии выделено 10 доменов метасоматической зональности, разделенных на две стадии – щелочного и кислотного метасоматоза, а также смешанные зоны, в которых изменения кислотной стадии накладываются на щелочные метасоматиты.

Таблица 7.1 - Характеристики метасоматической зональности (Sillitoe R.H., 2010) [15]

Вид изменений (English)	Пространственное положение в системе	Основные минералы	Возможные аксессуарные минералы	Основные сульфидные ассоциации (подчиненные)	Жилы, одновременные процессу изменений	Окаймление жил	Экономический потенциал
Натрий-кальциевое (Sodic-Calcic)	Глубоко, иногда глубже уровня МП месторождений	Альбит, олигоклаз, актинолит, магнетит	Диоксид, эпидот, гранат	Обычно отсутствуют	Магнетит, актинолит (тип М)	Альбит, олигоклаз	За исключением редких случаев - безрудные
Калиевые (Potassic)	Ядро (центральная зона) МПС	Биотит, К-шпат	Актинолит, эпидот, серицит, андалузит, альбит, карбонаты, турмалин, магнетит	Пирит, халькопирит, борнит, халькозин, дигенит	Биотит (тип ЕВ); К-шпат, Кварц-биотит-серицит-К-шпат-андалузит-сульфиды (EDM/T4 тип); кварц-сульфиды±магнетит (А тип); кварц-молибденит-±пирит±халькопирит (В тип)	EDM type с серицитом ± биотитом ± К-шпатом ± андалузитом + вкрапленные халькопирит ± борнит; иногда К-шпат вокруг жил А и В типов	Основной источник руды
Пропилитизация (Propylitic)	Маргинальные части систем, на всех уровнях ниже поверхностного	Хлорит, эпидот, альбит, карбонаты	Актинолит, гематит, магнетит	Пирит (иногда сфалерит и галенит)	Пирит, эпидот		Безрудный за исключением субэпитермальных жил
Хлорит-серицитизация (chlorite-sericite)	Верхние части центральных частей (распространена в золотопорфировых м-ниях)	Хлорит, серицит, иллит, гематит (мартит, спекулярит)	Карбонаты, эпидот, смектит	Пирит-халькопирит	Хлорит ± серицит ± сульфиды	Хлорит, серицит/иллит	Обычно рудный
Березитизация (phyllic)	Распространен в верхних частях МПС	Кварц, серицит	Пирофилит, карбонаты, турмалин, спекулярит	Пирит±халькопирит, (пирит-энаргит±теннантит, пирит-борнит±халькозин, пирит-сфалерит)	Кварц-пирит ± другие сульфиды (тип D)	Кварц-серицит	Иногда содержит рудные концентрации
Вторичные кварциты (advanced argillic)	Поверхностные части МПС	Кварц (иногда кавернозный, пористый), алунит, пирофиллит, дикит, каолинит	Диаспор, андалузит, зунит, корунд, дюмортьерит, топаз, спекулярит	Пирит-энаргит, пирит-халькозин, пирит-ковеллин	Пирит-энаргит ± сульфиды меди	Кварц-алунит, кварц-пирофиллит/дикит, кварц-каолинит	Иногда содержит руду при поверхности и корневых частях зоны



А-модель литологии и оруденения; Б – модель вторичных метасоматических изменений (по R.H. Sillitoe, 2010 г.)

Рисунок 7.1 - Разрез типичной медно-порфировой системы[15]

Для всех месторождений Казахстана, в том числе и для месторождения Актогай, установлено, что рудообразование и гидротермальные изменения пород происходили одновременно, будучи неразрывными частями единого гидротермального процесса, в котором выделены четыре стадии рудообразующих (Жуков Н.М., 1991) гидротермальных процессов с соответствующей рудной минерализацией: щелочная, кислотная, поздняя щелочная, бороалюмосиликатная. Промышленная ценность месторождения обусловлена проявлениями первых двух стадий. Поздняя щелочная (карбонатизация, цеолитизация, пренитизация, хлоритизация) и бороалюмосиликатная (турмалинизация) стадии существенной рудной нагрузки не несут.

Основная часть оруденения связана со щелочной стадией.

Щелочная стадия рудообразующего гидротермального процесса. Для щелочной стадии наиболее характерны окварцевание, калишпатизация пород, отмечающиеся в центральных частях месторождения, и биотитизация или хлоритизация, пренитизация и эпидотизация в периферических частях.

Во внутренних зонах гидротермалитов проявлены калишпатизация и окварцевание, интенсивность которых постепенно увеличивается к центру колонок. В этом же направлении увеличивается густота и мощность кварцевых и кварц-калишпатовых прожилков, сливающихся в центре колонки в монокварцевое ядро (Таблица 7.2)

Таблица 7.2 - Зональность гидротермалитов (метасоматитов и руд) щелочной стадии (по данным Сергийко Ю.А., Жукова Н.М.) [2]

Номера зон (по мере увеличения степени изменения)	0	1	2	3	4	5	6
Наименование зон	Исходные породы	Биотитовая	Биотит кварц-альбит	Биотит-калишпат	Калишпат	Кварц калишпат	Кварцевая
Определяющие новообразованные минералы		Биотит-хлоритовая	Биотит кварц альбит	Калишпат, альбит	Калишпат кварц	Кварц калишпат	Кварц
Второстепенные (по количеству) новообразованные минералы		Кварц Магнетит Сфен пирит х/пирит	Хлорит пирит пренит х/пирит сфен магнетит апатит	Кварц хлорит пренит альбит х/пирит апатит сфен магнетит	Хлорит биотит пренит х/пирит пирит апатит магнетит сфен	Хлорит биотит апатит пренит х/пирит борнит пирит магнетит халькозин сфен	Кальцит

Стадии свойственна не только метасоматическая, но и тесно связанная с ней рудная зональность. Продуктами стадии является пренит (эпидот)-халькопиритовая рудная ассоциация (Таблица 7.3). Оруденение щелочной стадии, в основном, прожилково-вкрапленное. Значительная часть его тяготеет к пренит-халькопиритовым, кварц-калишпатовым и кварцевым прожилкам с сульфидами, изредка с апатитом, частота и мощность прожилков возрастает к центру колонки. Необходимо отметить, что халькопирит встречается преимущественно только с пренитом.

Таблица 7.3 - Рудные минералы щелочной стадии [2]

Главные	Второстепенные	Редкие и очень редкие
Халькопирит итпирит молибденит	Магнетит, мартит, сфен, рутил, борнит, халькозин, пирротин, марказит	Гематит, мушкетовит, дигенит, ковеллин, кубанит, пентландит, маккинавит, блеклая руда, сам. золото, сам. серебро, электрум, сам. палладий? карролит, смальтин, саффорит

Кислотная стадия рудообразующего гидротермального процесса. Для кислотной стадии характерны: окварцевание, серицитизация, хлоритизация и карбонатизация. Кислотная стадия приводит к образованию зон серицитизации, в центре которых выделяются кварц-серицитовые метасоматиты со значительным количеством пирита. Здесь же в заметном количестве присутствуют хлорит и гидротермальный апатит. По периферии зоны серицитизации окаймлены хлоритизированными и карбонатизированными (кальцит) породами. В отличие от гидротермалитов щелочной стадии, охватывающих единый шток пород, серицитизированные породы слагают отдельные линзовидные зоны, тяготеющие к периферии рудных штоков. Рудные минералы здесь представлены обильным пиритом и редким молибденитом, иногда сфалеритом и галенитом. Однако в зонах частичной серицитизации, развитой в контурах рудных тел, минералы меди обильны (Таблица 7.4).

Таблица 7.4 - Рудные минералы кислотной стадии [2]

Главные	Второстепенные	Редкие и очень редкие
Пирит, халькопирит, молибденит	Борнит, сфалерит, галенит, блеклая руда	Халькозин, дигенит, ковеллин, сам. золото, сам. серебро, электрум, петцит, карролит, арсенопирит, смальтин

7.1 Интерпретация зональности гидротермальных изменений месторождения Актогай

Гидротермальные изменения определяются как химические так и минералогические изменения в горных породах, вызванные теплыми и горячими флюидами, циркулирующими или проходящими через эти породы. Взаимодействие флюид/горная порода вызывает химические и минералогические изменения в породе, а также изменения состава флюида. Очевидно, что такие изменения зависят от 1) времени и продолжительности взаимодействия, 2) проницаемости горных пород (изменение будет более интенсивным по более проницаемым зонам), 3) состав флюида (кислотный, щелочной или нейтральный), 4) температура флюида.

В меднопорфировых месторождениях гидротермальные изменения широко распространены и обычно подразделяются как в масштабе всего месторождения, так и вокруг отдельных жил и трещин. Зональность изменений может быть определена различными минеральными комплексами. Как правило, верхние части интрузива становятся сильно раздробленными из-за: а) расширения и сжатия при внедрении и остывании интрузии, б) высокого давления паров флюида (кипение и увеличение объема). Эти трещины являются проницаемыми зонами, вдоль которых рудный флюид мигрирует как по латерали, так и по вертикали.

Зональность изменений в меднопорфировых месторождениях основана на: 1) боковом и вертикальном движении флюида, 2) охлаждении флюида при его движении вверх и в стороны, сопровождаемом возможным снижением давления, 3) степени его взаимодействия с грунтовыми водами. Это приводит к различию горизонтальной и вертикальной последовательности зон, измененных в интрузиве и вмещающих породах. Эти зоны могут быть сгруппированы в различные минеральные комплексы на основе распространенности и типов присутствующих минералов.

При дешифрировании зон гидротермальных изменений использовалась вся совокупность информации, полученной при геологической документации. Для обобщения этих данных, в TSG были импортированы данные литологии, содержания полезных компонентов, метасоматические изменения породы и прожилковая минерализация, выделенные при геологической документации. Выделение зон метасоматоза проводилось для каждой скважины отдельно.

Данные, обработанные в TSG, были экспортированы в текстовом формате CSV для дальнейшего формирования базы данных.

8 Спектрометрия один из достоверных методов в современной геологии

Ведущая роль данного раздела отводится методу спектроскопии как одному из новейших, а самое главное, достоверных методов изучения вещественного состава различных горных пород. Так как спектр любого минерала столь же индивидуален как неповторяющиеся отпечатки пальцев у людей, то метод, при котором за основу мы берем эту «индивидуальность», является чуть ли не самым «правдивым» из современных способов изучения горных пород в последние десятилетия.

Спектр любого вещества или, как в нашем случае, минерала как всем уже известно, является индивидуальной и неповторимой качественной характеристикой, словно узоры снежинок, непохожих друг на друга. Учитывая эту особенность, мы можем использовать спектр минерала для идентификации его среди тысячи других минералов, схожих с ним не только в макро- но и микроскопически. Экспериментальные исследования большого числа минералов и горных пород, в том числе и основных породообразующих минералов, будь то кварц, глина, кальцит, доломит, ангидрит или тот же самый гипс; показывают, что все ранее упомянутое можно уверенно различить по спектрам в среднем инфракрасном диапазоне. В спектрах основных породообразующих минералов имеется одна очень заметная полоса поглощения и несколько закономерных полос средней интенсивности, положение которых на шкале длин волн однозначно указывает на тот или иной тип минерала.

Почему же речь выше зашла именно об инфракрасном диапазоне? Потому что в видимом диапазоне спектры минералов различаются очень слабо, а иногда и вовсе неразличимы. Значительно больше различия наблюдается именно в инфракрасном диапазоне. Здесь многие из ранее перечисленных групп породообразующих минералов, таких как глины, карбонаты и сульфаты начинают демонстрировать более отчетливые линии поглощения. Спектры же горных пород определяются суммарной массой спектров минералов, слагающих их. Так, например, содержащие кальцит горные породы имеют выраженный минимум в диапазоне 11.0-11.5 мкм. Кварцсодержащие осадочные и метаморфические горные породы имеют спектральный диапазон в районе 8.1–9.4 мкм.

Так как спектрометрия, как мы привыкли понимать, в большинстве своем считается новым методом изучения горных пород в лабораторных условиях, и досконально мы можем изучить лишь спектральные свойства тех или иных минералов; не стоит забывать о том, что основы спектрометрии имеют более «глобальное» и «древнее» происхождение. Применение спектральных методов дистанционного зондирования (ДЗ) в геологии началось еще в 70-80-х годах XX в. Именно тогда появились многоспектральные изображения земной поверхности и начали закладываться основы метода дешифрирования аэрофотоснимков.

На настоящий момент, в пользу этого метода накоплен большой опыт лабораторных и авиационных измерений спектров минералов и горных пород, и применение спектральных методов для геологических исследований региональных масштабов и по сей день развивается в самых разных направлениях: картирование горных пород, поиск месторождений рудных полезных ископаемых по гидротермальным изменениям (отличным примером является месторождение Актогай, упомянутое в заголовке), поиск месторождений углеводородов по низкотемпературным изменениям вмещающих горных пород, поиск месторождений нерудного сырья и многое другое. Помимо всего перечисленного метод спектрометрии позволяет идентифицировать некоторые минералы-индикаторы, присущие тем или иным геологическим обстановкам.

8.1 Техническое оснащение для ИК-спектрометрии

Замеры инфракрасного (ИК) спектра производились Фурье-спектрометром ARCOptix FT-NIR Rocket с интеграционной сферой ArcSphere-50-Hal (Рисунок 8.1), позволяющим выполнять измерения в SWIR диапазоне спектра 900-2600 нм (Таблица 8.1).



Рисунок 8.1 - ИК-спектрометр ARCOptix FT-NIR Rocket с интеграционной сферой ArcSphere-50-Hal

В комплекте со спектрометром идет ПО Arcspectro FT, позволяющее обрабатывать информацию, полученную со спектрометра на ПК.

Таблица 8.1 - Характеристики спектрометра ARCOptix FT-NIR Rocket

Модель	FT-NIR 0.9-2.6
Тип интерферометра	Конструкция с двойным ретро-отражателем
Диапазон спектра [cm ⁻¹]	3800 - 11000
Диапазон спектра [nm]	900 - 2600
Спектральное разрешение в длинах волны	8 см ⁻¹ (опционально 4 см ⁻¹)
Динамический диапазон	

(Соотношение между пиковым сигналом и темным шумом, с источником света QTH 20 Вт, одно измерение)	>10000:1
Долгосрочная стабильность интенсивности базовой линии	< 2% (1100-2500 нм) более 10 часов
Повторяемость длины волны	<1 см ⁻¹ 4000 см ⁻¹ (25± 5°C) или <0.05 см ⁻¹ 4000 см ⁻¹ с термостабилизированным лазером
Датчик	Расширенный тип InGaAs PIN фотодиода
Эффективное время измерения	1 спектр / секунда в режиме непрерывного захвата
Оптический соединитель	SMA 905
Оптический вход	SMA-905
Модель	FT-NIR 0.9-2.6
	600um (диаметр сердцевины волокна)
	NA=0.25
Требования к питанию	12V / 2-6W зависит от версии
Рабочая Температура	10°C-40°C
Интерфейс связи	USB 2.0 (опционально Ethernet)
Программный интерфейс	Windows XP/7/8/10
	API для управления инструментом через нашу DLL
Габаритные размеры	180 мм x 160 мм x 80 мм
Вес	1700 г

Алгоритм замера спектра следующий: спектрометр подключается к ПК посредством USB кабеля, производится замер эталонного образца, по которому устанавливается базовая линия спектра. Измеряемый образец тщательно протирается сухой тканью от пыли и загрязнений, и укладывается на интеграционную сферу так, чтобы наиболее метасоматически измененное место совпало с окном сферы. Попадание в измеряемую область каких-либо прожилок и просечек недопустимо. Для достижения насыщения датчика 70-80% параметр чувствительность датчика (detection gain) устанавливается в высокое или очень высокое положение, в зависимости от темноты породы. Для уменьшения количества шумов в ПО Arcspectro FT предусмотрена возможность усреднения спектров (spectrum average) - делается несколько замеров с последующей их аппроксимацией. Количество таких замеров составило 5 шт. В ходе измерений получаемые графики визуально контролировались геологом и в случае некорректного или слишком шумного спектра образец переизмерялся.

Полученные замеры сохранялись в формате arcspectro в папку с названием скважины. В названии файла указывался номер скважины, номер образца, глубина отбора и номер замера. Для дальнейшей обработки файлы arcspectro конвертировались в текстовый формат ASCII посредством конвертера, предоставленного разработчиками спектрометра.

8.2 Процесс обработки результатов ИК-спектрометрии

Как уже было сказано в предыдущем подразделе ИК-спектр любого вещества (положение полос поглощения, их интенсивность, ширина и форма) индивидуален и может использоваться для идентификации этого вещества. Экспериментальные исследования большого числа минералов и горных пород, в том числе и основных породообразующих минералов – глины, кальцита, доломита, хлорита и мусковита, показывают, что их можно уверенно различать по спектрам в ИК диапазоне (Плюснина И.И., 1976). В спектрах основных породообразующих минералов присутствует одна очень сильная полоса поглощения и несколько полос средней интенсивности, положение которых на шкале длин волн однозначно указывает на тип минерала (Таблица 8.2).

Основой спектрального анализа является аддитивность ИК-спектров: инфракрасный спектр минеральной смеси является суммой спектров компонентов смеси, а интенсивность полос поглощения (оптическая плотность) в спектре каждого компонента пропорциональна его содержанию в смеси. Традиционно используемые методики анализа по ИК спектрам поглощения, основанные на построении базовой линии, в данном классе задач могут оказаться малоэффективными. Это связано с тем, что спектры матриц (шихты, керна и др.) могут варьировать в значительных пределах, и в большей или меньшей степени перекрывать аналитические полосы анализируемого минерала (Скочиллов Р.А., 2010). Для достоверного определения минерала в образце требуется его наличие в количестве не менее 10-15%.

Немаловажным преимуществом ИК-спектрометрии является возможность определения химического состава минералов. К примеру, положение признака поглощения Al-OH в диапазоне ~2180-2225 нм говорит о высоком содержании Al и пониженном Fe/Mg в случае коротких волн, и низком содержании Al и повышенном Fe/Mg при длинных волнах (Рисунок 8.2). Так, длины волн ~2180-2195 нм соответствуют парагониту, ~2196-2210 мусковиту и ~2211-2225 фенгиту.

Таблица 8.2 - Качественная точность спектральных анализов в диапазонах VNIR, SWIR и LWIR [Coulter D. W., 2017] [17]

Тип	Структура	Группа минерала	Пример	VNIR	SWIR	LWIR
Силикаты	Иносиликаты	Амфиболы	Актинолит	Не диагностируется	Хорошо	Средне
		Пироксены	Диопсид	Хорошо	Средне	Хорошо
	Циклосиликаты	Турмалины	Эльбаит	Не диагностируется	Хорошо	Средне
	Несосиликаты	Гранаты	Гроссуляр	Средне	Не диагностируется	Хорошо
		Оливины	Форстерит	Хорошо	Не диагностируется	Хорошо
	Соросиликаты	Эпидот	Эпидот	Не диагностируется	Хорошо	Средне
	Филлосиликаты	Слюды	Мусковит	Не диагностируется	Хорошо	Средне
			Хлориты	Клинохлор	Не диагностируется	Хорошо
		Глинистые минералы	Иллит	Не диагностируется	Хорошо	Средне
			Каолинит	Не диагностируется	Хорошо	Средне
	Тектосиликаты	Полевые шпаты	Ортоклаз	Не диагностируется	Не диагностируется	Хорошо
			Альбит	Не диагностируется	Не диагностируется	Хорошо
		Кварц	Кварц	Не диагностируется	Не диагностируется	Хорошо
Не силикаты	Карбонаты	Кальцит	Кальцит	Не диагностируется	Средне	Хорошо
		Доломиты	Доломит	Не диагностируется	Средне	Хорошо
	Гидрооксиды		Гиббсит	Не диагностируется	Хорошо	Средне
	Сульфаты	Алунит	Алунит	Средне	Хорошо	Средне
			Гипс	Не диагностируется	Хорошо	Хорошо
	Оксиды	Гематит	Гематит	Хорошо	Не диагностируется	Не диагностируется
		Шпинель	Хромит	Не диагностируется	Не диагностируется	Не диагностируется
	Сульфиды		Пирит	Не диагностируется	Не диагностируется	Не диагностируется

9 Роль ик-спектрометрии в изучении зональности медно-порфировых месторождений (на примере Актогая)

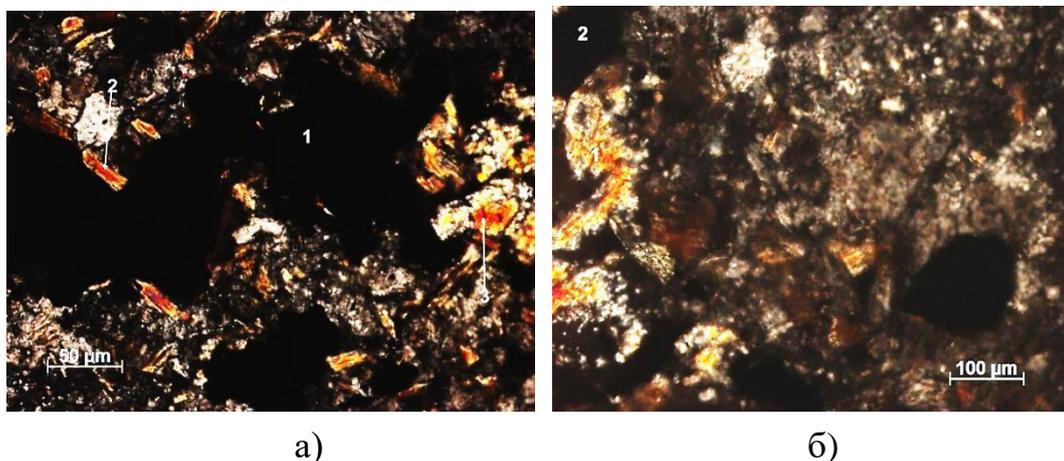
Одним из наиболее распространенных объектов для исследований в области спектрометрии являются медно-порфировые месторождения, которые обладают ярко выраженной закономерно меняющейся зоной гидротермальных изменений. Типичным представителем данной группы месторождений является Актогай.

Границы Актогайского рудного поля определяются морфологией Колдарского интрузивного массива и зоной его экзоконтактов с отложениями керегетасской свиты. Геологические и геофизические данные показывают, что Колдарский интрузивный массив представляет собой лакколит, состоящий из диорита и гранодиорита. Открытая часть этой интрузии простирается с запада на восток примерно на 17 км и занимает площадь в 75 км². С двух сторон месторождения Актогай.

Рудоносный штокверк месторождения Актогай расположен среди гранитоидов первой фазы Колдарского массива и распространяется на восточную часть Центрально-Актогайского ксенолита терригенно-вулканогенных пород керегетасской свиты. Принципиальной особенностью участка месторождения является кольцевой план геологических образований и рудоносного штокверка в целом, обусловленный особенностями тектонического строения. Строение рудного поля существенно обусловлено наличием крупных долгоживущих разрывных нарушений актогайского (субширотного), колдарского (северо-восточного) и северо-западного направлений. Наиболее значительны амплитуды вертикального смещения по разрывам колдарского направления, достигающие сотен метров.

На данном месторождении гидротермалиты щелочной стадии и связанное с ними оруденение обладают четко выраженной зональностью, химически выраженной в уменьшении содержания железа как в рудных минералах, так и в метасоматитах по направлению от периферии колонки к ее центру. В этом же направлении в метасоматитах уменьшается содержание магния, кальция и натрия и возрастает количество кремния. Рудная минерализация приурочена к промежуточным зонам колонки, в центральной и периферийной частях ее отмечаются только редкие вкрапленность и прожилки рудных минералов и содержание меди не превышает 0,1%. Другая общая особенность оруденения щелочной стадии – тесные срастания минералов меди, преимущественно халькопирита, с пренитом, (рисунок 9.1) за пределами прожилков и гнезд которого они встречаются редко. Халькозин и ковеллин относятся к второстепенным минералам в изученных рудах всех горизонтов и в рудах из скважин и распространены незначительно. Наиболее часто минералы встречаются на горизонте 380 м и значительно меньше на горизонтах 390 м и 420 м. В рудах из скважин они также пользуются незначительным распространением. Халькозин и ковеллин гипогенные и находятся в тесных срастаниях с главными минералами меди, халькопиритом

и борнитом. Они развиваются в виде тонких каемок замещения вокруг халькопиритовых и борнитовых выделений (мощность их 0,005-0,02 мм), а также в виде решетчатых и пластинчатых структур распада, где основным фоном обычно служат борнит и халькозин. Мелкие включения (0,02-0,05 мм) халькозина и ковеллина обособленно и в сростании с борнитом встречаются в халькопиритовых выделениях (рисунок 9.2).



а) контакт агрегатов сульфида (1) с хоритизированным биотитом (2) и агрегатом пренита (3); б) контакт зерна сульфида (2) с пренитом (1) в скрещенных николях

Рисунок 9.1 - Мусковит-биотит-кварцевый метасоматит [18]

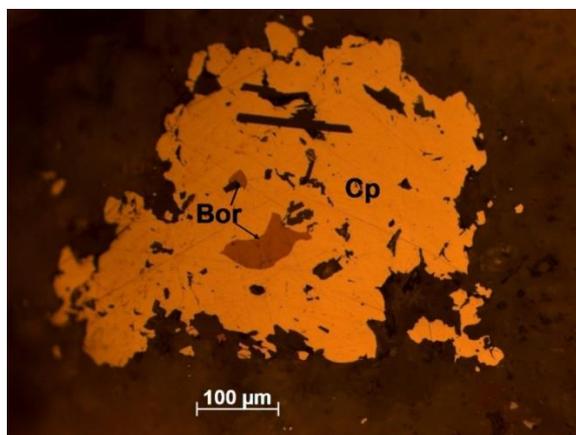


Рисунок 9.2 - Мелкие включения борнита (Boг) в халькопирите (Ср) [18]

Спектральным анализом в основных рудных минералах, таких как пирит и халькопирит, очень часто были выявлены примеси. В магнетите, в частности, присутствуют (ppm): медь – 310–3500, свинец – 0–25, цинк – 65–320, никель – 8–170, кобальт – 7–18, серебро – 0,3–0,6, титан – 32–300 и марганец – 42–950 (представленный в макро виде окислами марганца). Пирит кварц-хлорит-пиритовая ассоциация в составе своем содержит (ppm): медь – 110–10000,

свинец – 6–210, цинк – 5–600, никель – 7–400, кобальт - 10–2000, золото – 0–22, серебро – 1–50. Повышенные содержания в пирите меди и кобальта объясняются присутствием в нем самородных микровключений. Золото в среднем встречается в 3 пробах из 30 (15 и 20 ppm) и представлено оно включениями самородного золота. Пирит кварц-молибденит-халькопиритовая ассоциация содержит в среднем (ppm): меди – 180–12000, свинца – 7–500, цинка – 0–400, никеля – в среднем 2000, кобальта – в среднем 1200, молибдена – 0–600, золота – 0–300, серебра – 0–30. По сравнению с пиритом предыдущей кварц-хлорит-пиритовой ассоциаций в пирите кварц-молибденит-халькопиритовой ассоциации увеличивается содержание меди, свинца, цинка и никеля. Золото присутствует в двух пробах из 25 (15 и 20 г/т). По данным спектрального анализа в пирите первой и второй ассоциации обнаруживается примесь платины до 0,037 г/т и палладия до 0,50 г/т. Во всех проанализированных пробах присутствует золото (1,5 г/т в среднем из 20 проанализированных проб) и серебро (5 г/т среди 15 проанализированных проб). В пирите второй ассоциации платина во всех проанализированных пробах отсутствует. Содержание палладия не превышает 0,12 г/т. Золото и серебро присутствуют во всех проанализированных пробах. Среднее содержание золота по 17 пробам составляет 4,60 г/т, а серебра по 13 пробам – 4,10 г/т.

Рудный штокверк месторождения Актогай является составной частью обширного ареала сульфидной (преимущественно пиритовой) минерализации, включающего в себя также рудный штокверк месторождения Айдарлы. Площадь ареала сульфидной минерализации 15 км². В целом рудоносный штокверк можно охарактеризовать как толстостенный усеченный эллиптический опрокинутый конус, нижняя образующая которого имеет неровные зубчатые края, расщепляющиеся на серию выклинивающихся проводников с малыми невыдержанными сечениями. Условная поверхность выклинивания на глубине южных и восточных частей штокверка погружается на восток под углом 25-40°. Ось конуса наклонена на Ю-ЮЗ под углом 75-80°. Углы конусности условной наружной поверхности штокверка составляют 40-65° на юге, 80-85° на севере, 20-40° на западе и 70-85° на востоке.

9.1 Характеристика зон метасоматоза месторождения Актогай в ИК-спектре

Стадия щелочного метасоматоза

Кварцевое ядро (POT_Q_CORE). В связи с отсутствием доступного каменного материала, само кварцевое ядро, в рамках данных работ, осталось слабоизученным. Местоположение ядра в модели взято из исторических материалов. В задокументированных скважинах, близких к кварцевому ядру, зафиксировано сгущение в штокверке кварцевых прожилков, которые подтверждают его наличие.

Кварц-каллинат (POT_Q_KSP) – тыловая часть зоны щелочного метасоматоза. Породы этой зоны очень сильно изменены – по массе развиты

окварцевание и калишпатизация. Редко отмечается хлорит и биотит. Также особенностью этой зоны является серицитизация пород фенгитовой разностью белых слюд (признак поглощения длины волны 2200 нм варьирует около 2210-2212 нм) и развитие смектитов. Магнитная восприимчивость пород за счет сильного окварцевания - низкая. Рудная минерализация в зоне слабая, представлена борнитом, развитым по кварцевым прожилкам, реже халькопиритом, халькозином, пиритом и молибденитом. Прожилковая минерализация представлена в основном кварцевыми прожилками и редкими прожилками типов «В1» и «В2».

Калишпатизация (POT_KSP) – зона умеренной калишпатизации и слабого окварцевания, оконтуривающая тыловую зону щелочных метасоматитов. Во вторичных минералах преобладает калишпат, в меньшей степени кварц, биотит и хлорит. Участками наблюдается развитие белых слюд фенгитового состава. Редко встречающийся хлорит представлен магнезиальной разностью. Рудные минералы довольно редки, представлены халькопиритом, пиритом и молибденитом. Умеренная магнитная восприимчивость пород за счет развития магнетита.

Калишпат-биотит (POT_KSP_BIO) - ореольная часть щелочной стадии метасоматоза. Биотит преобладает над калишпатом, который, в основном, распространяется по зальбандам прожилков. В подчиненном количестве присутствует магнезиальный хлорит, развитый по биотиту и пренит. Довольно высокая магнитная восприимчивость пород за счет широко развитого магнетита. Присутствуют прожилки «В», «В1», и «В2» типов, а также редкие магнетитовые типа «А». Рудная минерализация слабая, представлена, в основном, пиритом и магнетитом.

Биотит-хлорит (POT_BIO_CHL) – метасоматиты щелочной стадии, слегка затронутые изменениями кислотной стадии. В отличие от предыдущей зоны здесь отмечается повышенное присутствие железомagneзиального хлорита. Данная зона метасоматоза, как правило, контактирует с метасоматитами кислотной стадии.

Хлорит-эпидот (PROP_BIO_CHL_EP). Некоторые исследователи считают, что внешняя пропилитовая зона – неперемнная принадлежность всех без исключения меднопорфировых месторождений (Попов В. С., 1977). Однако на месторождении Актогай в гидротермалитах щелочной стадии она отсутствует и по неизменным породам здесь развивается биотитизация. Последняя не является продуктом контактового метаморфизма (ороговикования), на что указывает развитие ее в качестве внешней оторочки халькопирит-пренитовых прожилков в гидротермально неизмененных породах по периферии гидротермалитов (Жуков Н. М., 1991).

Другими исследователями (Полетаев А.И. и др. 1979), образования данного плана отмечаются на южном и северном флангах месторождения в виде небольших участков, оставшихся от некогда широко распространенных пород в виде реликтов среди кварц-калишпатовых метасоматитов. Выделяются пропилиты двух стадий: более высокотемпературный амфибол-

эпидотовой и средне-низкотемпературной альбит-пренит-хлоритовой.

Наиболее близкие по характеристикам изменения, хотя и довольно условно, выделены в скважине GT24. Породы данной зоны изменены довольно слабо – основными вторичными минералами являются биотит, хлорит и эпидот, развивающийся преимущественно по прожилкам. Калишпат и белые слюды практически отсутствуют. Магнитная восприимчивость пород высокая. Рудные минералы представлены магнетитом и пиритом. Прожилковая минерализация представлена карбонатными (тип «F») и эпидот-карбонатными (тип «E») прожилками.

Стадия кислотного метасоматоза

Кварц-серицит (PHY_Q_SER) – наиболее проработанные метасоматозом кислотной стадии породы. Из вторичных минералов сильно преобладают кварц и белые слюды, отвечающие по составу мусковиту. Меньшим распространением пользуются хлориты и карбонаты, редко встречаются смектиты. В зонах максимальной проработки породы теряют первичный облик, по мере уменьшения изменений можно наблюдать реликты первичных пород, а также калишпата, развитого в щелочную стадию. Из прожилков преобладают кварц-пиритовые типа «D», реже встречаются тип «B1» и «B2». Магнитная восприимчивость пород очень низкая. Минералы меди в зонах максимальной проработки скудны, основным рудным минералом являются обильные выделения пирита.

Хлорит-серицит (PHY_CHL_SER) – метасоматиты, обрамляющие зоны максимальной кислотной проработки. Помимо кварца и мусковита, в данной зоне широко распространен хлорит железистой разновидности. Довольно часто сохраняются реликты калишпата и прожилков типа «B1» и «B2». Рудные минералы обильны, представлены халькопиритом, молибденитом и пиритом, с преобладанием последнего.

9.2 Типы метасоматических изменений, выделенные при проведении ИК-спектроскопии

В данном подразделе рассмотрены основные типы метасоматических изменений, выделенных сотрудниками КМК в ходе работ по документации и ИК-спектроскопии керна скважин месторождения Актогай.

Согласно исследованиям Жукова Н.М., на месторождении Актогай выделяются четыре стадии рудообразующего гидротермального процесса с соответствующей рудной минерализацией: щелочная (окварцевание, калишпатизация, биотитизация, хлоритизация, эпидотизация, пренитизация); кислотная (окварцевание, серицитизация, хлоритизация и карбонатизация); бороалюмосиликатная (турмалинизация) поздняя щелочная (карбонатизация, цеолитизация, пренитизация, хлоритизация). Промышленная ценность месторождения обусловлена проявлением первых двух стадий. Две последние стадии существенной рудной нагрузки не несут (Жуков. Н.М., 1991).

Калишпатизация на месторождении Актогай развита практически повсеместно (Рис. 7.1), и различается степенью проработки исходных пород.

По мере уменьшения степени проработки количество КПШ развитого по массе снижается, и он распространяется, в основном, по зальбандам прожилков. Зона максимального развития калишпатизации расположена в северной части карьера и приурочена к мощной зоне окварцевания и штокверку кварцевых прожилков (Рисунок 9.3).



Рисунок 9.3 - Умеренная калишпатизация вмещающих пород

Метасоматическая гидротермальная калишпатизация четко картируется только в породах, не содержащих калиевого полевого шпата - в ороговикованных эффузивах и диоритах. В остальных породах Колдарского интрузива гидротермальный калишпат без специальных исследований зачастую неотличим от первичного калиевого полевого шпата.

Окварцевание. На месторождении имеется два основных источника окварцевания, пространственно приуроченные к центральным частям колонки метасоматитов щелочной и кислотной стадии метасоматоза (Рисунок 7.5). В зоне кварц-серицитовой проработки кварц развивается по массе породы, в зоне щелочных гидротермалитов к окварцеванию по массе присоединяется обильное кварцевое прожилкование, образующее в центральной части колонки почти монокварцевое ядро (Рисунок 9.4).



Рисунок 9.4 – Зона окварцевания и кварцевого прожилкования в центре колонки щелочного метасоматоза

Хлоритизация. Хлорит присутствует как в зонах щелочного, так и кислотного метасоматоза. На месторождении Актогай по мере усиления калишпатизации и окварцевания биотит постепенно замещается хлоритом при уменьшении их общего количества. Наиболее интенсивно хлорит развит в промежуточной зоне кислотной колонки метасоматитов и в местах ее наложения на щелочные метасоматиты. В зоне максимального проявления метасоматоза кислотной стадии хлорит практически отсутствует. Не менее интенсивно хлоритизация проявлена и вне связи с оруденением, по зонам тектонических разрывных нарушений.

Хлорит, развитый по биотиту, приуроченный к зонам щелочного метасоматоза, согласно данным ИК-спектроскопии, более магниальный, по сравнению с железистым хлоритом в кислотных метасоматитах. В целом рудная и метасоматическая зональность продуктов щелочной стадии имеет единую химическую направленность, заключающуюся в уменьшении содержания железа в рудных минералах (магнетит → пирит → халькопирит → борнит → халькозин) и в метасоматитах в целом (биотит, хлорит, эпидот → биотит, кварц, калиевый полевой шпат → калиевый полевой шпат, кварц) от периферии к центру месторождения.

Пренитизация. В продуктах щелочной стадии метасоматоза обычен пренит, развивающийся главным образом во внешней и особенно промежуточной зонах. В целом пренит довольно распространен на всем месторождении, за исключением центральной зоны щелочного метасоматоза. Также мелкие пренит-халькопиритовые гнезда изредка отмечаются в ореольной части месторождений в практически неизменных породах и могут быть использованы как поисковый признак на медно-порфировое оруденение. Халькопирит тесно связан с пренитом, образуя халькопирит-пренитовые, иногда с эпидотом, прожилки и вкрапления, которые макроскопически выглядят как монохалькопиритовые. Во многих случаях халькопирит-пренитовая вкрапленность тяготеет к зальбандам кварц-калишпатовых прожилков.

9.3 Системы прожилков месторождения Актогай

В ходе геологической документации керн скважин месторождения Актогай выделены три основных типа прожилков: рудные прожилки щелочной стадии метасоматоза – «В1» (кварц-молибденит), «В2» (кварц-пирит-халькопирит) и поздние типа «D» (кварц-пиритовые с серицитовой оторочкой) - кислотной стадии метасоматоза (Рисунок 9.5). Ранние прожилки типов «М», «А» и «В», а также поздние «Е» менее распространены. Пространственно, наиболее густая сеть прожилков «В2» и «D» типов приурочена к зонам максимальной метасоматической проработки щелочной и кислотной стадии соответственно (Рисунок 9.6). Кварц-молибденовые прожилки типа «В1» занимают промежуточное положение в переходных зонах метасоматоза. Выделенные системы прожилков довольно уверенно

картируют зоны развития метасоматитов щелочной и кислотной стадий.

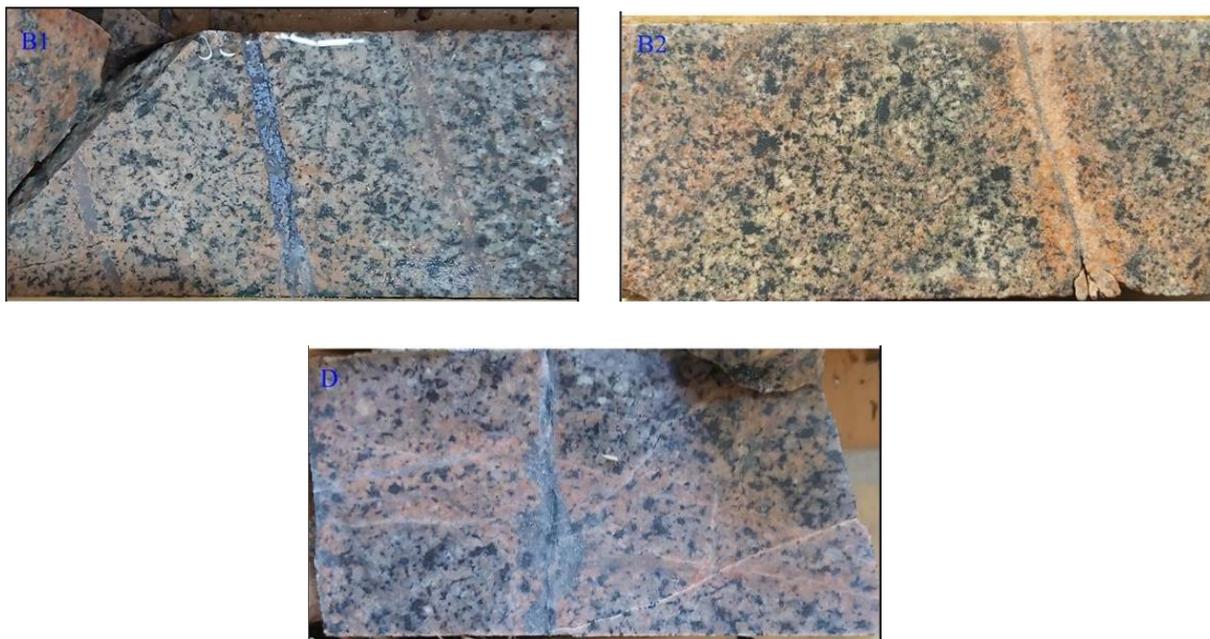


Рисунок 9.5 – Основные системы прожилков месторождения Актогай
Примечание: Тип «B1» – кварц-молибденитовые с калишпатовым ореолом; «B2» – кварц-халькопирит-пиритовые с калишпатовым ореолом; «D» – кварц-пиритовые с кварц-серицитовым ореолом.

9.4 Модель метасоматической зональности месторождения Актогай, полученной при интерпретации результатов ИК-спектromетрии

Анализ расположения зон метасоматоза в 3D-пространстве с помощью ПО Seequent Leapfrog Geo v4.5. позволил смоделировать границы распространения калишпатовых, хлорит-серицитовых, кварц-серицитовых метасоматитов и получить модель метасоматической зональности месторождения.

Следует отметить, что имеющаяся на текущем этапе сеть наблюдений не позволяет с полноценной уверенностью определить границы зон метасоматоза в западной части, на флангах и глубоких частях месторождения, и они требуют дополнения и уточнения.

Ярко выражена зона серицитовых (PHY_Q_SER) и хлорит-серицитовых (PHY_CHL_SER) изменений, развитая в восточной части карьера, представленная отдельными линзовидными телами, вытянутыми в северо-западном направлении. В южной части месторождения развиты хлорит-серицитовые изменения, наложенные на биотит-калишпатовые изменения (MIX_KSP+CHL_SER). Центральную и северную часть месторождения слагают кварц-калишпатовые (POT_Q_KSP) и калишпатовые метасоматиты (POT_KSP) изометричной формы, в середине которых расположено кварцевое ядро (Q_CORE). Здесь же находится безрудная зона серицитовых изменений (MIX_KSP+CHL_PHEN), приуроченная к турмалиновым брекчиям.

Ореольная часть месторождения, представленная калишпат-биотитовыми изменениями (POT_KSP_BIO), в рамках данной исследовательской работы изучена слабо ввиду редкой сети наблюдения. В единичных скважинах, расположенных на периферии месторождения отмечаются хлорит-серицитовые изменения и прожилки «D» типа, что свидетельствует о наличии в биотитовых метасоматитах зон кислотного метасоматоза.

Влияние тектонических нарушений на распространение метасоматических изменений на данный момент остается слабоизученным. Зоны сильной калишпатизации локализованы преимущественно в Центральном блоке, ограниченном с севера и юга Малым Колдарским и Актогайским разломами соответственно. Влияние на ограничение развития хлорит-серицитовых изменений в восточной части месторождения со стороны Диагонального разлома не наблюдается – зоны серицитизации и прожилкования «D»-типа развиты по обе стороны разлома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работ по документации и ИК-спектрометрии проб, отобранных при картировании бортов и документации керна буровых скважин, были получены новые данные о метасоматической зональности месторождения. Классифицированы основные типы метасоматических изменений месторождения. Определены зоны метасоматоза, отличающиеся по набору слагающих их минералов и их вещественному составу. Выделено 6 зон щелочной стадии метасоматоза, 2 - кислотной и 2 - смешанного типа, в которых изменения кислотной стадии накладываются на щелочные метасоматиты. Построена 3D-модель метасоматической зональности с учетом новых данных.

Дана характеристика зон метасоматитов в ИК-спектре, для выделения зон метасоматоза при дальнейших геологоразведочных работах на флангах и глубоких частях месторождения, что позволит получать оперативную оценку рудоносности пород и повысить эффективность ГРП, а также для дальнейшей детализации модели метасоматической зональности.

Выявлена четкая зональность прожилковой минерализации и ее пространственная корреляция с метасоматитами щелочной и кислотной стадий. При дальнейших геологоразведочных работах рекомендуется продолжать вести базу прожилковой минерализации, что поможет совершенствованию модели метасоматической зональности.

Установлена устойчивая привязка повышенных содержаний меди к промежуточным зонам метасоматитов и зонам наложения изменений кислотной стадии на метасоматиты щелочной стадии. Выявлена связь оруденения с пренит-халькопиритовыми прожилками и гнездами. Пренит довольно уверенно определяется методами ИК-спектрометрии и может быть использован как поисковый критерий при геологоразведочных работах.

На данном этапе, предоставленный имеющийся относительно небольшой объём данных (было сделано 8550 замеров, задокументировано 17000 м керна), введённых в базу данных, не позволил провести исследования метасоматической зональности в полной мере по всей площади месторождения и на полную глубину распространения рудной минерализации. Поэтому рекомендуется продолжить совершенствование модели метасоматической зональности путем добавления в базу данных получаемых при эксплуатационной разведке и разведочном бурении. Детализация модели позволит углубить познания о строении месторождения и даст возможность прогнозировать ресурсы на флангах и глубоких частях месторождения для дальнейшей их оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергийко Ю.А. и др. Отчет по детальной разведке медно-порфирического месторождения Актогай с подсчетом запасов на 01.01.1980 г. Алма-Ата, 1980 г.
2. Перевозов С.В., Жуков Н.М., Систематизированная эталонная коллекция рудоносных и вмещающих горных пород медно-порфирического месторождения Актогай. Алматы, 2019.
3. Вольхина Т. М., Полетаев А. И. и др. Отчет о детальной разведке молибден-медно-порфирического месторождения Актогай с подсчетом запасов по состоянию на 01 июля 1980 г. Алма-Ата, 1980.
4. Буханова Д.С. Типоморфные характеристики меднопорфирического оруденения // Исследования в области наук о Земле : материалы X регион. молодеж. науч. конф. (28-29 нояб. 2012 г.). - Петропавловск-Камчатский, 2012. - С. 5-18.
5. Жуков Н. М., Филимонова Л. Е. Метасоматиты и гипогенное оруденение медно-порфирического месторождения Актогай // Геология рудных месторождений. 1982. №6. С31-38.
6. Жуков Н. М. Филимонова Л. Е. Пренит-халькопиритовая рудная ассоциация на медно-порфирическом месторождении Актогай. Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1979. №6. С.53-55.
7. Жуков Н. М. Инфильтрационный метасоматизм и природные колонны гидротермалитов // Изд. «Гылым», Алма-Ата, 1991. 216 с.
8. Кривцов А.И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфирических месторождений. Л.: Недра, 1983. 256 с.
9. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С. Медно-порфирические месторождения мира. М.: Недра, 1986. 303 с.
10. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Зональность и золотоносность руд медно-порфирических месторождений. М.: ВИЭМС, 1985. 47 с.
11. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. М. Изд-во Моск. Университета, 1976. 175 с.
12. Попов В.С. Геология и генезис медно- и молибден-порфирических месторождений. М., 1977. 202 с.
13. Сейтмуратова Э.Ю. Аршамов Я.К., Сайдашева Ф.Ф. Перспективы приоритетных видов оруденения позднепалеозойских вулcano-плутонических поясов Жонгаро-Балхашской складчатой системы. КазНТУ им. К.И. Сатпаева, ИГН им. К.И. Сатпаева. Вестник КазНТУ, №2, г.Алматы, 2013 г.
14. Скочилов Р.А., Фишман А.И., Иванов А.А., Носков А.И., Ремизов А.Б. Определение минерального состава пород методом ИК-спектроскопии. Вестник Казанского Технологического Университета, 2011.
15. Колесников В.В., Жуков Н.М., Солодилова В.В., Филимонова Л.Е. и др./ Медно-порфирические месторождения. Серия: Балхашский сегмент Алма-Ата: Наука, 1986. 200 с.

16. Coulter, D.W. Zhou, X., Wickert, L.M., Harris, P.D. *Advances in Spectral Geology and Remote Sensing: 2008–2017*.

17. Стандарт организации. Система менеджмента качества. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала. СТ КазННТУ им. К.И. Сатпаева. – Алматы 2017. – 47с.

18. Научно-исследовательская работа «Влияние приразломной тектоники в пределах месторождения Актогай на изменение минерального состава медно-порфирового оруденения». СТ КазННТУ им. К.И. Сатпаева. Кафедра ГСПиРМПИ – Алматы 2018

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ИК – инфракрасный.

VNIR (visible and near-infrared) - видимая и ближняя инфракрасная часть электромагнитного спектра имеет длины волн от примерно 400 до 1400 нм.

SWIR (Short-wavelength infrared) - коротковолновая инфракрасная часть электромагнитного спектра имеет длины волн от примерно 700 до 2500 нм.

LWIR - (Long-wavelength infrared) длинноволновая инфракрасная часть электромагнитного спектра имеет длины волн от примерно 8000 до 14000 нм.

ПО – программное обеспечение.

TSA – The Spectral Geologist.

ПК – персональный компьютер.

НИР – научно-исследовательская работа.

МПС – медно-порфировая система.

КПШ – калиевый полевой шпат.

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Калиева А.С.

Название: Оценка вещественного состава руд и вмещающих пород медного месторождения Актогай методом спектроскопии.doc

Координатор: Адильхан Байбатша

Коэффициент подобия 1:0.1

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:5

Интервалы:16

Микропробелы:13

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

Плагиата в тексте не обнаружено, все заимствования добросовестные и имеются ссылки на использовавшуюся литературу

15.06.2021 г.

Дата

.....
Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Калиева А.С.

Название: Оценка вещественного состава руд и вмещающих пород медного месторождения Актогай методом спектроскопии.doc

Координатор: Адильхан Байбатша

Коэффициент подобия 1:0.1

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:5

Интервалы:16

Микропробелы:13

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Диссертация составлена самостоятельно, признаков плагиата не обнаружено.
Допускается к защите
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Дата
15.06.2021

 Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Диссертация допущена к защите.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Дата
15.06.2021

 Подпись заведующего кафедрой /
начальника структурного подразделения

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на магистерскую диссертацию

(наименование вида работы)

Калиевой Айгуль Сундетовны

(Ф.И.О. обучающегося)

7M070600 – Геология и разведка месторождений полезных ископаемых
(шифр и наименование специальности)

Тема «Оценка вещественного состава руд и вмещающих пород медного месторождения Актогай методом спектроскопии»

В диссертационной работе Калиевой А.С. рассмотрены геологические особенности формирования руд медно-порфирового месторождения Актогай, проделана работа по изучению вещественного состава руд и вмещающих пород данного промышленного объекта. В основу диссертации положен богатый фактический материал по месторождению Актогай, собранный магистрантом в фондах производственных и научных организаций при прохождении практики и научной стажировки. Кроме того, автором был широко использован фонд публикаций по месторождениям меди Казахстана. Работа состоит из девяти глав и соответствующих подглав, наглядно оформлена, включает список использованной литературы.

Тема диссертации *актуальна*. В ней описана работа с новыми приборами, позволяющими проводить оперативный анализ проб руд.

Значимость диссертации заключается в актуальности предложенного вида экспресс-анализа качества руд и рекомендуется к применению для месторождений аналогичного типа.

Уровень научной разработки достаточный и соответствует требованиям к магистерским диссертациям.

Данная магистерская диссертация написана грамотно, заслуживает высокой оценки и рекомендуется к публичной защите, а ее автор Калиева А.С. достойна присвоения академической степени магистра технических наук по специальности «6M070600 - Геология и разведка месторождений полезных ископаемых».

Научный руководитель
д.г.-м.н., профессор
каф. ГСПиРМПИ



14 июня 2021 г.

Байбатша А.Б.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Калиевой Айгуль Сундетовны

Специальность 6М070600 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Магистерская диссертация состоит из введения, 9-ти разделов и заключения на 63 страницах, имеет в составе своем 22 рисунков и 6 таблиц.

Тема: Оценка вещественного состава руд и вмещающих пород медного месторождения Актогай методом спектроскопии

ЗАМЕЧАНИЯ ПО МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Магистерская диссертация на тему: «Оценка вещественного состава руд и вмещающих пород медного месторождения Актогай методом спектроскопии».

В целом тема довольно актуальная, и на сегодняшний день, изучения в подобных сферах аналитического анализа руд и вмещающих пород особенно остро стоит в горнопромышленной отрасли нашей страны. В данном исследовании недостаточно полно освещена вся генетика происхождения данного месторождения, а всего лишь были взяты за основу гидротермальные изменения. Но в целом даю положительную оценку данной диссертации, так как магистрант Калиева А.С. непосредственно работает на данном месторождении, почти каждый день «имея дело» с подобным видом оперативного анализа вещественного состава руд и вмещающих пород; и подошла к написанию данной работы со всей ответственностью и самостоятельностью.

ОЦЕНКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Магистрантом проделана очень серьезная и важная работа по сбору фактического материала непосредственно с места добычных работ - горно-обогатительного комбината Актогай (АГОК), и проведен экспресс анализ шламовых, керновых и валовых проб, взятых со скважин РС бурения, скважин колонкового бурения и при картировании бортов карьера соответственно, в частности проанализирована работа подрядной организации КМК («Казахстан Минералс Компани») занимавшейся ранее подобного вида исследованиями на данном месторождении. Положительно отмечаю умение магистранта работать в графических программных продуктах и программных обеспечениях для 3D моделирования, что считаю очень нужным для более доступного визуального восприятия представленной геологической информации по изучаемому месторождению, в частности самостоятельно отстроены разрезы.

По итогам просмотра представленной диссертации, делаю вывод о подготовленности магистранта к самостоятельной исследовательской и аналитической работе с дальнейшим совершенствованием знаний и навыком. Выполненная работа

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
СӨТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

характеризует магистранта Калиеву А.С. как сложившегося специалиста, владеющего широким набором компетенций и, главное, понимающего суть геологических и технологических изысканий, проводящихся на месте проведения добычных работ. Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, а Калиева А.С. заслуживает присвоения степени магистра.

Рецензент

Заведующий лабораторией редких и редкоземельных металлов,
Института геологических наук им. К.И. Сатпаева,

PhD

**ЖАЛПЫ
БӨЛІМІ**

«14» мая 2021 г.

Тогизов Куаныш Серикханович

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ФИО Калиева Айгуль Сундетовна

магистранта специальности «Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых», кафедры Геологическая съемка, поиск и разведка месторождений полезных ископаемых,

Института Геологии и Нефтегазового дела им. К. Турысова
Казахского Национального Исследовательского Технического Университета им.К.И. Сатпаева

№ по п/п	Наименование	Форма работы	Выходные данные	Объем	Соавторы
1	2	3	4	5	6
Публикации в научных журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки					
1	Проблематика тектоники в свете истории образования медно-порфирового месторождения Актогай	Статья	«Сатпаевские чтения-2021» Секция:Повышение геологической изученности территории и восполнение минеральносырьевого комплекса Республики Казахстан	4 страницы	Научный рук. – А.Б. Байбатша,доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик КазНАЕН

«15» июня 2021 года

Автор

Заверяю:

Директор ИГНГД

Заведущий кафедрой ГСПиРМПИ

Калиева А.С.

Рысбеков

Бекботаева А.А.