

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, поисков и разведки
месторождений полезных ископаемых

УДК 552.086

На правах рукописи

Медео Тимурбек Рустамович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Особенности рудной минерализации и вещественного состава вмещающих
пород колчеданного месторождения Акжал

7M07206 – Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

Научный руководитель
Зав. кафедрой ГСП и РМПИ
доктор PhD, ассоц. профессор

А.А. Бекботаева

«16» июня 2021 г.

Рецензент
PhD доктор, старший научный сотрудник
ТОО «Институт геологических наук
им. К.И. Сатпаева»

Д.О. Даутбеков

«ЖАЛПЫ» 2021 г.

Нормоконтролер
доктор PhD, лектор кафедры
ГСПиРМПИ

Г.М. Омарова

«14» июня 2021 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой ГСПиРМПИ
доктор PhD, ассоц. профессор

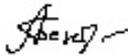
А.А. Бекботаева
«16» июня 2021 г.

Алматы, 2021

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, поисков и разведки месторождений
полезных ископаемых

7M07206 – Геология и разведка месторождений твёрдых полезных
ископаемых

УТВЕРЖДАЮ
Заведующая кафедрой
ГСПиРМПИ
 Бекботаева А.А.

«15» июня 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Медео Тимурбеку Рустамовичу.

Тема: Особенности рудной минерализации и вещественного состава вмещающих пород колчеданного месторождения Акжал.

Утверждена *приказом Ректора Университета №1914-М от «12» ноября 2020 г.*

Срок сдачи законченной диссертации *«15» июня 2021 г*

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) Уточнение данных о геологическом строении месторождения Акжал
- б) Микроскопические исследования вмещающих пород
- в) Минераграфические исследования руд
- г) Построение петрографической модели месторождения

Рекомендуемая основная литература:

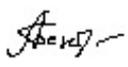
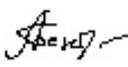
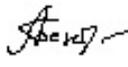
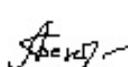
- 1) Отчеты о результатах поисково-разведочных и геологоразведочных работ в Средне-Орском рудном районе и на месторождении Акжал.
- 2) Справочные материалы по микроскопическому изучению минералов в проходящем и в отраженном свете.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

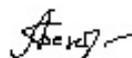
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
Геологическое строение Средне-Орского рудного района и колчеданного месторождения Акжал	05.02.2021	
Минералого-петрографический анализ вмещающих пород месторождения	20.03.2021	
Минераграфические исследования руд	14.04.2021	
Построение петрографической модели месторождения	18.05.2021	

Подписи

Консультантов и нормоконтролёра на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Геологическое строение Средне-Орского района и месторождения Акжал	Научный руководитель ассоц. проф., доктор PhD, зав. кафедры ГСП и РМПИ А.А. Бекботаева	05.02.2021	
Минералого-петрографические исследования	Научный руководитель ассоц. проф., доктор PhD, зав. кафедры ГСП и РМПИ А.А. Бекботаева	20.03.2021	
Минераграфические исследования	Научный руководитель ассоц. проф., доктор PhD, зав. кафедры ГСП и РМПИ А.А. Бекботаева	14.04.2021	
Геологическое моделирование	Научный руководитель ассоц. проф., доктор PhD, зав. кафедры ГСП и РМПИ А.А. Бекботаева	18.05.2021	
Нормоконтролер	Доктор PhD, лектор кафедры ГСПиРМПИ Г.М. Омарова	14.05.2021	

Научный руководитель



Бекботаева А.А.

Задание принял к исполнению обучающийся



Медео Т.Р.

Дата «15» июня 2021 г.

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация посвящена всестороннему изучению геологии месторождения Акжал, являющегося типичным представителем медноколчеданных месторождений уральского типа. На основе первичного анализа исторических и современных материалов по объекту был определен ряд спорных вопросов, решению которых посвящены разделы данной диссертационной работы.

Месторождение сложено разновозрастными фациями вулканитов, субвулканитов и интрузивных пород, которые подверглись значительным метаморфическим преобразованиям в позднепалеозойскую эпоху. Состав первичных пород претерпел значительные изменения под воздействием процессов метасоматоза.

Для более детального исследования вещественного и минералого-петрографического состава предусматривался отбор шлифов, результаты изучения которых внесли ясность в понимание геологического строения и позволили скорректировать структурно-петрографическую модель месторождения.

Микроскопическим просмотром аншлифов были определены взаимоотношения основных рудных минералов. Установлено, что главные рудные сульфиды находятся в довольно тесных взаимосвязях друг с другом, часто образуют структуры прорастания, замещения и распада, что значительно сказывается на извлекаемости рудных компонентов. В работе даются качественные и количественные характеристики таких образований.

На основе результатов исследований было проведено трехмерное моделирование всех петрографических типов – от вулканитов до метасоматитов. Полученная в итоге структурно-петрографическая модель месторождения позволяет в кратчайшие сроки визуально ознакомиться с геологическим строением объекта и его особенностями.

ANOTATION

The master's thesis is devoted to a comprehensive study of the geology of the Akzhal deposit, which is a typical representative of the Ural-type massive sulphide ore deposits. On the basis of the primary analysis of historical and modern materials on the object, a number of controversial issues were identified. The solution of this issues is devoted to the sections of this dissertation work.

Akzhal deposit is composed of different aged facies of volcanic, subvolcanic and plutonic rocks, which underwent significant metamorphic transformations in the Late Paleozoic epoch. The composition of primary rocks has undergone significant changes under the influence of metasomatosis processes.

For a more detailed study of the material and mineral-petrographic composition, the selection of thin sections was provided. The results of thin section studies brought clarity to the understanding of the geological structure and allowed us to correct the structural and petrographic model of the deposit.

The relationships of the main ore minerals were determined by microscopic viewing of the polished thin sections. It is established that the main ore sulfides are in quite close relationships with each other, often form structures of germination, substitution and decay, which significantly affects the recoverability of ore components. The paper provides qualitative and quantitative characteristics of such formations.

Based on the obtained materials and the available historical data, three – dimensional modeling of all rock types was carried out-from volcanites to metasomatites. The final structural and petrographic model of the deposit allows You to visually get acquainted with the geological structure of the object and its features in the shortest possible time.

АНДАТПА

Магистрлік диссертация Оралдық типті мыс-колчеданды кенорындарының өкілі болып табылатын Ақжал кенорнының геологиясын жан-жақты зерттеуге арналған. Объект бойынша тарихи материалдарды бастапқы талдау негізінде бірқатар шешімі табылмаған мәселелер анықталды, осы осы мәселелерге диссертациялық жұмыстың бөлімдеріне арналды.

Кенорын кеш палеозой дәуірінде айтарлықтай метаморфтық өзгерістерге ұшыраған вулканиттердің, субвулканиттердің және интрузивті таужыныстардың әртүрлі жастағы фацияларынан тұрады. Бастапқы жыныстардың құрамы метасоматоз процестерінің әсерінен айтарлықтай өзгерістерге ұшыраған.

Заттық және минералды-петрографиялық құрамын егжей-тегжейлі зерттеу үшін шлифтерді таңдау қарастырылды, олардың нәтижелері объектінің петрографиялық ерекшеліктерін түсіндірі отырып, кенорнының құрылымдық-петрографиялық моделіне түзетулер енгізуге мүмкіндік берді.

Аншлифтерді микроскоппен қарау арқылы негізгі кен минералдарының өзара байланысы анықталды. Негізгі кен сульфидтері бір-бірімен тығыз байланыста екендігі анықталды, көбінесе бірігу, орынбасу және ыдырау құрылымдарын құрайды, бұл кен компоненттерінің алынуына әсер етеді. Жұмыста мұндай құрылымдардың сапалық және сандық сипаттамалары берілген.

Алынған материалдар мен қол жетімді тарихи мәліметтер негізінде вулканиттерден бастап метасоматиттерге дейінгі барлық петрографиялық құрылымдардың үш өлшемді моделі дайындалды. Кенорнының қорытынды құрылымдық-петрографиялық моделі қысқа мерзімде объектінің геологиялық құрылымымен және оның ерекшеліктерімен көрнекі түрде танысуға мүмкіндік береді.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
2. Физико-географический очерк	11
3. Геологическая характеристика района работ.....	12
3.1. Геологическое строение Средне-Орского рудного района	12
3.1.1 Стратиграфия.....	13
3.2 Проявления магматизма в Средне-Орском рудном районе.....	15
3.3 Проявления метаморфизма в Средне-Орском рудном районе.....	16
3.4 Тектоника Средне-Орского рудного района	17
4. Геологическая характеристика месторождения Акжал	19
4.1 Геологическое строение месторождения.....	19
4.2 Тектоника.....	20
4.3 Рудовмещающие зоны месторождения	21
5 Минералого-петрографические исследования.....	22
5.1 Качество полевой документации.....	22
5.2 Минералого-петрографическая характеристика вмещающих пород ...	24
5.3 Метасоматические изменения пород	28
5.4 Выводы по разделу.....	37
6. Минераграфические исследования	38
6.1 Типы и вещественный состав руд месторождения Акжал	38
6.2 Результаты технологических испытаний 2019 года.....	39
6.3 Минераграфическая характеристика руд	40
6.4 Выводы по разделу.....	49
7. Структурно-петрографическая модель месторождения Акжал.....	50
7.1 Петрографическая модель месторождения	50
7.2 Моделирование тектонических нарушений	52
7.3 Выводы по разделу.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	56
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	57

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. На фоне «угасания» основных месторождений-поставщиков меди Казахстана возникает необходимость изучения новых объектов. На территории страны располагается множество месторождений меди, различающихся как по условиям формирования, так и по практическому значению. Колчеданные месторождения плотно занимают свою нишу и многие годы обеспечивали медную промышленность наряду с другими геолого-промышленными типами. Исследуемое в магистерской диссертации месторождение расположено в южной части Уральского региона, в пределах Мугоджарских хребтов.

Одной из крупнейших медных провинций мира по праву считается Урал и несмотря на наличие в его пределах множества других геолого-промышленных типов медных месторождений, ведущим по сей день продолжает оставаться колчеданный тип. Поэтому дальнейшее изучение колчеданных объектов Уральского региона сохраняет свою актуальность и является одной из важнейших задач научно-исследовательских и геологоразведочных работ.

Цель работы. Основной целью, поставленной в рамках магистерской диссертации, являлось всестороннее изучение особенностей геологического строения медноколчеданного месторождения Акжал и построение трехмерной петрографической модели объекта.

В соответствии с поставленной целью, был сформулирован ряд задач, необходимых для её выполнения:

- 1) Уточнение данных о минералого-петрографическом составе вмещающих пород месторождения Акжал.
- 2) Минераграфическое изучение руд и выяснение взаимоотношений, количественных и качественных характеристик главных рудных минералов.
- 3) Формирование петрографической базы данных для дальнейшего моделирования объекта.

Объектом исследования являются вмещающие породы месторождения Акжал, представленные разновозрастными фациями вулканитов, субвулканитов и плутонитов, околорудные зоны, сложенные метасоматитами с переменным составом, а также рудная минерализация.

Фактический материал. Диссертация написана на базе материалов, полученных в процессе геологоразведочных работ и дальнейших исследований геологического строения, а также с применением информации, собранной автором работы в период прохождения научно-исследовательской практики и научной стажировки.

Практическое значение. Практическое значение работы заключается в определении закономерностей распространения фаций метасоматитов, выявлении особенностей распределения медноколчеданного оруденения в

интенсивно метаморфизованных толщах и применение полученной информации в процессе геологического моделирования.

Новизна работы. В диссертации наглядно демонстрируется эффективность применения минералого-петрографических и минераграфических исследований в геологической разведке и геологическом моделировании месторождений полезных ископаемых.

Публикации. В соответствии с темой одного из разделов магистерской диссертации была опубликована научная статья в научно-исследовательском издании Казахского Национального Исследовательского Технического Университета имени К. И. Сатпаева (Satbayev University).

Личный вклад. Автор работы принимал непосредственное участие в исследовании и всестороннем изучении месторождения на каждом этапе работ. Минералого-петрографические и минераграфические исследования проводились самостоятельно с применением современного оборудования и всех необходимых справочных и научных материалов. Геологическое моделирование осуществлялось автором в специализированном программном обеспечении.

Структура и объем магистерской диссертации. Диссертация изложена на 58 страницах компьютерного набора и состоит из введения, семи разделов, заключения и списка использованных литературных источников. Также к работе прилагается 36 рисунков и 2 графических приложения.

2. Физико-географический очерк

Месторождение Акжал расположено на территории Хромтауского района Актюбинской области, в 160 км северо-восточнее города Актобе (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Обзорная карта Актюбинской области (изображение заимствовано с сайта planetolog.ru)

Геоморфология района отличается неоднородностью. Современный геоморфологический облик напрямую связан с геологическим строением местности – наиболее древние отложения палеозоя обнажаются в виде эрозионных форм рельефа, а выходы древней коры выветривания и более молодых мезо-кайнозойских образований характеризуются аккумулятивными и скульптурно-аккумулятивными формами [1].

Преобладает равнинный рельеф с незначительным развитием пологих невысоких холмов и гряд. Абсолютные высотные отметки колеблются в пределах 230-310 м. Относительные превышения редко достигают 35-40 м. Минимальные отметки (230 м) наблюдаются в долине реки Орь, расположенной в западной части района.

Орографический режим рассматриваемой территории можно охарактеризовать как умеренный. Крупнейшей рекой является Орь (приток реки Жаик). Река берет свое начало в Южных хребтах Мугоджар и протекает с юга на север до территории России. Общая длина ее составляет 230 км. Имеет три притока – Ащилысай, Тастыбулак и Чулаксай.

3. Геологическая характеристика района работ

3.1. Геологическое строение Средне-Орского рудного района

Медноколчеданное месторождение Акжал расположено в пределах Средне-Орского рудного района, являющегося составной частью Домбаровской структурно-формационной зоны, большая часть которой находится на территории Оренбургской области. В геолого-структурном плане территория района расположена на стыке двух структур регионального масштаба – Восточно-Уральского (Мугоджарского) поднятия и Урало-Магнитогорского прогиба [2].

Район занимает отрезок Зеленокаменной зоны Мугоджар и протягивается на 65 км от южной границы Оренбургской области до широты г. Актобе.

Геологическое строение Средне-Орского рудного района отличается обилием вулканогенных отложений. В его строении принимают участие среднепалеозойские вулканиты, субвулканиты, вулканогенно-осадочные, жильные и интрузивные породы, которые местами перекрываются терригенными комплексами позднего палеозоя (нижнего карбона) и рыхлыми образованиями мезо-кайнозойской эпохи.

В основании разреза вулканитов залегает мощная базальтоидная толща, мощность которой по данным геолого-геофизических исследований составляет 2,5-4,0 км. Толща сложена подводными лавовыми фациями афировых базальтов и долеритов. Верхняя часть толщи представлена массивными базальтами и базальтовыми порфиритами с линзами стекловатых мелкошаровых базальтов, шлаковых базальтов, гиалокластов, кремнистых туффилов, туфов, а также горизонтами лав кислого состава [1] [2].

Стратиграфическая принадлежность данных образований является дискуссионным вопросом. Ряд исследователей относит эти отложения к мугоджарской свите силура, другие ученые связывают их с мугоджарской и куркудукской свитами, проводя аналогию с разрезами Южной части Мугоджар. Формационная принадлежность тоже является спорной между базальт-диабазовой формацией и «контрастной».

Некоторыми исследователями продуктивный разрез мугоджарских вулканитов Средне-Орского района подразделяется на три яруса. Нижний ярус представлен чередующимися потоками долеритов и массивных, либо подушечных базальтов. Мощность потоков иногда достигает 70 м. При этом, четких границ между ними практически не наблюдается. Местами на границах выделяются более стекловатые базальты, которые к центральным частям потока переходят в более раскристаллизованные долериты. Мощность отложений яруса по геолого-геофизическим данным составляет 1,0-3,0 км.

Средний ярус мугоджарской свиты отличается широким развитием мелко- и среднешаровых подушечных лав (пиллоу-лав), преобладанием стекловатых базальтоидов, а также проявлением мелкопорфировых базальтов и туффоженных отложений. Мощность толщи не превышает 1,5 км.

Верхний ярус наиболее дифференцирован по составу. Отличается частыми чередованиями средне- и крупнозернистых долеритов, гиалобазальтов с флюидалными и брекчиевыми кислыми лавами риолитового состава, перлитами, кварцевыми порфирами и кремнистыми отложениями. Наибольшую мощность толща имеет на участках месторождений «50 лет Октября» и Приорское, где её значения достигают 800 м.

Отложения названных ярусов мугоджарской свиты по особенностям состава и условиям накопления выделены в две формации. Мощная толща базальтоидов нижнего яруса отнесена к так называемой «недифференцированной» формации. Вулканиды средней и верхней частей разреза составляют «контрастную» формацию.

Практически все промышленные колчеданные месторождения и рудопоявления района сосредоточены в верхних частях разреза мугоджарской свиты на площади развития отложений контрастной формации [2].

В северной и восточной частях рудного района среди отложений мугоджарской свиты были обнаружены вулканогенные породы с неясной формационной принадлежностью. Эти образования имеют сходства с вулканидами обеих вышеназванных формация, но их точная диагностика невозможна ввиду значительных метаморфических преобразований [2].

Региональный метаморфизм в пределах Средне-Орского района проявляется в виде процессов интенсивной амфиболизации, хлоритизации, эпидотизации и окварцевания, которым в значительной степени подвержены породы мугоджарской свиты. Наибольшая степень амфиболизации и хлоритизации отмечается между крупными гранитоидными массивами – Коктюбинским и Ащилысайским, а также вдоль контакта с массивом Кошенсай.

Контактовый метаморфизм характеризуется процессами ороговикования и скарнирования в зонах контакта с интрузивными телами.

3.1.1 Стратиграфия

В геологическом строении Средне-Орского рудного района принимают участие преимущественно вулканогенные отложения среднего-верхнего палеозоя (девон-карбон), которые перекрываются более молодыми образованиями мезозоя и кайнозоя [1] [2].

Палеозойские отложения

Нижний девон. Милыашиинская свита ($D_1 ml$).

Отложения данной свиты имеют ограниченное распространение в районе, прослеживаются в пределах месторождения «50 лет Октября». Особенностью свиты является широкое развитие пирокластического материала и редкое преобладание порфировых разностей. Свита подразделяется на две толщи. Нижняя эффузивно-пирокластическая толща

(D_1ml_1) сложена потоками массивных и миндалекаменных афировых и плагиопорфировых базальтов с прослоями пирокластических пород (вулканических брекчий, лапиллиевых и агломератовых туфов). Афировые базальты петрографически близки породам мугоджарской свиты. Местами встречаются прослой кремнистых алевролитов, туффитов и туфопесчаников. Мощность толщи варьирует в пределах от 100 до 400 м.

Верхняя пирокластическая толща (D_1ml_2) представлена обломочными образованиями, которые выполняют центральную часть вулканических депрессий. Отложения отмечаются в долинах рек и южнее месторождения «50 лет Октября». Мощность толщи колеблется от первых десятков до 500-700 м. По составу и текстурно-структурным особенностям обломочного материала выделяются туфо-агломератовые и туфо-шлаковые пачки.

Наибольшее распространение в пределах Средне-Орского района имеют вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы, которые большинством исследователей относятся к среднедевонским.

Средний девон. Улутауская свита (D_2gv-ul).

Вулканогенно-осадочные отложения улутауской свиты (живетский ярус) имеют ограниченное распространение в районе. Они прослежены на северо-востоке в виде неширокой полосы, смещенной разломами. Отложения в основном представлены вулканитами кислого состава и их туфами. Мощность пород составляет 250-300 м.

Средний девон. Карамалыташская свита (D_2gv-kr).

Отложения Карамалыташской свиты имеют наибольшее распространение в пределах Средне-Орского рудного района. Нижние части разреза свиты слагают вулканиты диабазовой толщи, представленные лейстовыми, петельчатыми и афировыми диабазами, долеритами, спилитами, плагиоклазовыми порфиритами. Местами прослеживаются лавобрекчии, туфы основного состава. Мощность пород нижней части иногда превышает 600-650 м.

Верхнюю часть разреза занимает андезитово-базальтовая толща, которую слагают чередующиеся прослой агломератовых туфов и туфоконгломератов, кристалло- и литокристаллокластических туфов плагиоклазовых порфиритов. В подчиненном количестве наблюдаются прослой лав основного состава и андезитово-базальтовых (вероятно, долеритовых) порфиритов. Общая мощность пирокластических пород толщи составляет 550-600 м.

Образования Карамалыташской свиты отличаются проявлениями процессов метаморфизма, которые характеризуются развитием альбит-актинолитовой и эпидот-альбитовой фаций зеленокаменных пород с характерным минеральным составом, представленным амфиболами (актинолитом, роговой обманкой), эпидотом, альбитом, реже рутилом, сфеном и магнетитом. Эти образования в большей степени имеют характер контактовых и динамометаморфических.

Особенно сильно метаморфизму подвержены вулканиты, которые в контактовых зонах интрузивов преобразовались в амфиболиты с характерной полосчатостью.

Нижний карбон. Турнейский ярус. Домбаровская свита (C₁dm).

Коренные выходы отложений турнейского яруса нижнего карбона отмечаются в западной, северо-восточной и центральной частях рассматриваемого района. Свиту слагают преимущественно осадочные породы – конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты и известняки, заполняющие крупную синклираль и перекрытые мезокайнозойскими образованиями.

По литологическим признакам они разбиты на 4 толщи снизу-вверх: конгломерато-песчаниковая, песчано-алеврито-аргиллитовая, известняково-аргиллито-алевролитовая и алеврито-аргиллитовая. Мощность отложений по разным источникам составляет в пределах 1300-1500 м.

Мезокайнозойские отложения

Мезозойские и кайнозойские образования широко распространены в Средне-Орском районе. Они перекрывают все комплексы пород и занимают около 80% его площади. Это продукты древней коры выветривания, юрские, палеогеновые, неогеновые и современные образования.

Юрские отложения представлены слюдистыми глинами с пластами бурых углей, мелкозернистыми аркозовыми песчаниками, линзами алевролитов. Мощность отложений не превышает 40 м.

Палеоген представлен глинами верхнего эоцена, среди которых отмечены прослой песчаников и пористых кварцитов, а также верхнеолигоценными железистыми песчаниками с прослоями гравелитов и конгломератов, которые перекрывают отложения турнейского яруса. Мощность не превышает 20 м.

Породы **неогена** отмечены на северо-востоке и юго-западе района. По мощности примерно равны отложениям палеогена. Представлены пестроцветными глинами с линзами полимиктовых песков, которые почти повсеместно перекрываются современными аллювиальными, делювиальными и пролювиальными отложениями.

3.2 Проявления магматизма в Средне-Орском рудном районе

Интрузивные образования довольно широко распространены в пределах Средне-Орского рудного района. Они представлены многообразными фациями пород основного и кислого состава, формирование которых происходило в различные этапы развития. Немалую роль играют фации субвулканитов (порфировых пород), тесно связанных с эффузивами.

Интрузивные образования подразделяются на две самостоятельные формации – габбро-плагиогранитную и собственно гранитную [2]. **Габбро-плагиогранитная формация** слагает два крупных многофазных интрузивных

массива – Коктюбинский в северной части Средне-Орского района и массив Ацилысай в центральной его части. Формирование массивов, вероятно, происходило в три фазы. На первой фазе образовались габброиды (габбро, диориты), со второй фазой связаны гранодиориты, а третья представлена лейкократовыми и аплитовыми гранитами. Возраст массивов средне-верхнедевонский.

Позднеинтрузивный комплекс представлен дайкообразными телами интрузивов и субвулканитов: гранит-порфиры, аплиты, гранодиорит-порфиры, диориты и их порфиры, липарит-дацитовые порфиры.

Собственно гранитную формацию слагают гранито-гнейсы в составе Кошенсайского интрузивного массива, отмеченные в юго-восточной части района. Возраст массива нижнекарбонный.

В средней части Средне-Орского района выделены дайки и интрузивные тела **субвулканической фации**, приуроченные к древним глубинным разломам, пространственно и генетически связанные с формированием вулканогенных пород мугоджарской свиты.

Субвулканиты кислого состава широко распространены в пределах месторождения «50 лет Октября» [1]. Штокообразные тела, лакколлиты и силлы сложены афировыми (первая генерация) и мелкопорфировыми (вторая генерация) липарит-дацитами. На контакте с рудными телами, в зонах сульфидной минерализации ранние липарит-дациты преобразованы в метасоматиты серицит-кварцевого состава, нередко обогащенные кордиеритом, антофиллитом, андалузитом и шпинелью. Более поздние мелкопорфировые образования вокруг рудных зон перекристаллизованы в кварц-полевошпатовые роговики и метасоматиты биотит-кварц-альбитового состава. Формирование медноколчеданных руд на месторождениях «50 лет Октября» и «Приорское» связывают именно с кислыми субвулканитами.

Субвулканиты основного состава представлены андезит-базальтовыми плагиопорфиритами, распространенными в пределах месторождений «Акжал» и «50 лет Октября» [1]. Чаще всего они слагают штоки и дайки, в центральной части которых породы имеют крупнопорфировую структуру, а к периферии размер вкрапленников уменьшается.

3.3 Проявления метаморфизма в Средне-Орском рудном районе

Метаморфические изменения пород Средне-Орского рудного района связаны с проявлениями регионального зеленокаменного метаморфизма среднепалеозойских вулканитов, со становлением гранитоидных интрузий и сопутствующими автометасоматическими процессами, и локально проявленными гидротермально-метасоматическими преобразованиями, сопутствующими процессам рудогенеза [2].

В минералого-петрографическом плане **зеленокаменный метаморфизм** характеризуется хлоритизацией пироксена и вулканического стекла, альбитизации и сосюритизации плагиоклаза, присутствием

лейкоксена, эпидота, карбоната. Измененные основные вулканиты чаще всего сохраняют первичные структуры или реликты первичных структур.

Для *автометасоматоза* характерна полная альбитизация плагиоклаза, хлоритизация, окварцевание и серицитизация вулканического стекла. Степень изменений различна и зависит от состава исходных пород. По времени процессы близки к застыванию магматического расплава и наиболее интенсивно проявлены в липарит-дацитовых субвулканических телах.

Контактный метаморфизм включает три основных типа изменений первичных пород – амфиболизацию, скарнирование и ороговикование.

Амфиболизация интенсивно развита по вулканитам в экзоконтактовых зонах интрузивных тел. Породы нацело амфиболизированы, преобразованы в амфиболиты с характерным полосчатым обликом.

Скарнирование часто связано с амфиболизацией и, вероятно, является следствием инфильтрационного метасоматоза. Проявляется в широком развитии типоморфных скарновых минералов – эпидота, граната-андрадита, пренита.

Ороговикование наиболее развито в пределах месторождений Акжал и «50 лет Октября», где проявляется в тектонических зонах и зонах экзоконтакта гранитных интрузивов. Контактные роговики образуются по основным эффузивам (с альбитом, серицитом, кварцем, хлоритом) и по субвулканитам липарит-дацитового состава. Состав метасоматитов отличается присутствием высокотемпературной антофиллит-биотит-кордиеритовой ассоциации, с которой часто связано оруденение.

Регрессивный метаморфизм, связанный с остыванием интрузивов, нередко наблюдается в зонах развития метасоматических роговинок. Процесс характеризуется замещением минералов исходных пород низкотемпературным хлоритом и серицитом, частым развитием прожилков кварцевого и карбонатного состава и нередко сопровождается образованием рудной вкрапленности.

3.4 Тектоника Средне-Орского рудного района

В геотектоническом плане Средне-Орский район расположен на сочленении двух региональных структур Южного Урала – Тагило-Магнитогорского мегасинклинория и Мугоджарского мегаантиклинория [1] [2]. Тагило-Магнитогорский прогиб в пределах Южного Урала подразделяется на три зоны – Западно-Магнитогорскую, Центрально-Магнитогорскую и Восточно-Магнитогорскую.

Восточно-Магнитогорская зона, получившая название Домбаровской структурно-формационной зоны, подразделяется на две подзоны – Домбаровскую и Приорскую, которые разделяются Борлинской зоной глубинных разломов (см. Приложение А).

Средне-Орский район приурочен к Приорской подзоне. Западной её границей служит Главный Приорский разлом, а с востока она ограничивается Восточно-Уральским поднятием. Геологическое строение подзоны

определяется взаимоотношением тектонических зон и условиями залегания фаций магматитов и осадочных пород разного возраста.

Зоны глубинных разломов прослеживаются практически по всей территории района и имеют северо-восточное и субмеридианальное простирание. Наиболее крупными зонами являются **Борлинская** (глубина достигает 12 км), **Тастыбулакская** (глубина до 6 км) и **Приорская**. К названным зонам нередко примыкают тектонические нарушения более мелких порядков с северо-восточным и северо-западным простиранием. Они имеют сколово-трещинный характер, что позволяет идентифицировать их как более молодые [3].

В пределах основных тектонических зон наблюдаются большие скопления разновозрастных тел субвулканитов и жильных образований (даек). Эти структуры, вероятно, являются магмовыводящими каналами.

В целом тектоническое строение района имеет мозаично-блоковый характер.

С вулканической активностью силур-девонского периода связаны две структуры – Орская и Средне-Орская депрессии.

Средне-Орская вулкано-тектоническая депрессия субмеридианально протягивается на 40 км. С запада структура ограничивается Тастыбулакской тектонической зоной. Депрессию слагают нижнедевонские эффузивно-пирокластические породы. В центральной части она прорывается Ащилысайским интрузивным массивом.

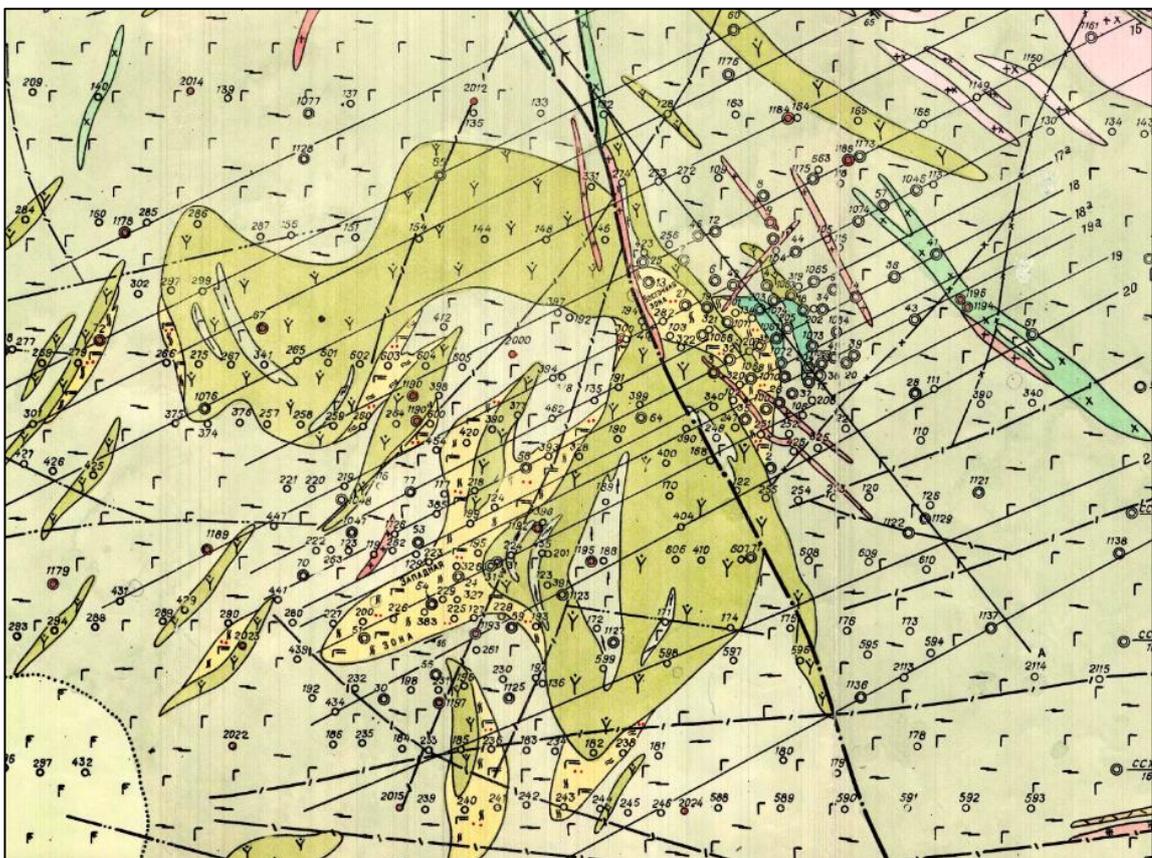
Орская депрессия занимает западную часть Средне-Орского района. Её выполняют осадочные образования нижнего карбона.

4. Геологическая характеристика месторождения Акжал

Месторождение Акжал относится к медноколчеданному геолого-промышленному (уральскому) типу [4].

4.1 Геологическое строение месторождения

Геологическое строение медноколчеданного месторождения Акжал в целом сходится со строением всего Средне-Орского рудного района. Месторождение слагают толщи вулканогенных, субвулканогенных и интрузивных палеозойских образований, повсеместно перекрытых отложениями мезозоя и кайнозоя (Рисунок 2). Более подробно с геологическим строением месторождения можно ознакомиться в приложении Б.



$S_{mg}^{1,2}$	Мугоджарская свита. Верхняя толща. Чередование афировых средне- и крупнозернистых долеритов с ирландитом, гнаюбазальтами, гнаюкласиттами, класютолазитами	$\gamma SD_3 + X$	Гранодиориты
S_{mg}^2	Мугоджарская свита. Средняя толща. Чередование подушечных лав, гнаюбазальтов, стекловатых базальтовых порфиритов, афировых базальтов и долеритов	$\delta D_3 X$	Диориты
S_{mg}^1	Мугоджарская свита. Нижняя толща. Преимущественно лавы массивных долеритов и долеритовых базальтов с редкими прослоями и горизонтами гнаюбазальтов с гнаюкласиттами	$\nu D_3 L$	Габбро
$axS \dot{Y}$	СУБВУЛКАНИЧЕСКИЕ И ЖЕРЛОВЫЕ ФАЦИИ	$\nu \nu D_3 L \Gamma$	ЖИЛЬНАЯ СЕРИЯ
	Крупноплаглокласювые долеритовые порфириты	$\delta D_3 X$	Габбро-диабазы
	ИНТРУЗИВНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ	$\delta D_3 L$	Микродиориты и диоритовые порфириты
$\gamma D_3 +$	Граниты амфиболовые и биотит-амфиболовые	$\delta D_3 L$	Лампрофиты
		$\delta D_3 \#$	Гранит-порфириты
		$ax D_3 +$	Ирландит-дацитовые и дацитовые порфириты

Рисунок 2 – Фрагмент геологической карты месторождения Акжал (1:5000) и условные обозначения к ней

Вулканиды в пределах участка месторождения представлены фацией эффузивов мугоджарской свиты. Отложения имеют преимущественно базальтоидный состав – долериты, мелкошаровые базальты, гиалобазальты. Породы сильно изменены, практически полностью амфиболизированы (вплоть до амфиболитов) под воздействием метаморфизма в приконтактных зонах гранитоидных массивов. Следствием этого является преобладание в строении месторождения полосчатых амфиболитов, которые являются главной рудовмещающей петрографической разностью в пределах всего участка [5]. Амфиболиты часто подвержены вторичным метасоматическим преобразованиям – скарнированию, окварцеванию и эпидотизации.

Субвулканогенная фация представлена телами долеритовых порфиритов, слагающих штоко- и дайкообразные вытянутые тела, приуроченные к тектоническим зонам.

Рудная зона располагается на контакте толщи амфиболитов с долеритовыми порфиритами.

В северной (северо-восточной) части месторождения отмечаются **интрузивные породы** Коктюбинского массива, с внедрением которых связаны ранее упомянутые проявления метаморфизма. Интрузивный массив имеет основной и кислый состав – габбро, диориты, гранодиориты, граниты. Наибольшее распространения имеют гранодиориты.

Жильные образования имеют широкое распространение на участке. Преобладают дайки гранитов и гранодиоритов, диоритов, редко встречаются риолиты. Дайки кислого состава часто связаны с колчеданным оруденением. Местами содержат рудную вкрапленность. Образуют как согласные, так и секущие контакты тектонического характера – по ним развиты локальные зоны дробления и рассланцевания.

4.2 Тектоника

В юго-восточной части рассматриваемого участка протягивается **Тастыбулакская зона глубинных разломов** [2], с которой связан ряд смежных тектонических нарушений первого порядка северо-западного простирания (см. Приложение А). С одним из таких нарушений связано месторождение Акжал.

К основному разлому приурочено крупное дугообразное тело долеритовых порфиритов (Рисунок 2). Большая часть этого тела расположена с западной стороны от разлома, а восточнее наблюдается контакт субвулканитов с амфиболитами, с которым связано медноколчеданное оруденение. В целом рудная зона сильно осложнена тектоническими структурами высшего порядка, проявленными в виде мощных зон дробления и рассланцевания.

Всё это обуславливает сложное тектоническое строение месторождения.

С тектоническим строением месторождения Акжал можно подробно ознакомиться в подразделе «7.2 Моделирование тектонических нарушений».

4.3 Рудовмещающие зоны месторождения

Месторождение Акжал представлено двумя рудными зонами – *Восточной* и *Западной* (Рисунок 3). Они разделяются между собой дугообразным субвулканическим телом долеритового состава (долеритовые порфириты). Расстояние между зонами составляет порядка 400-500 м.

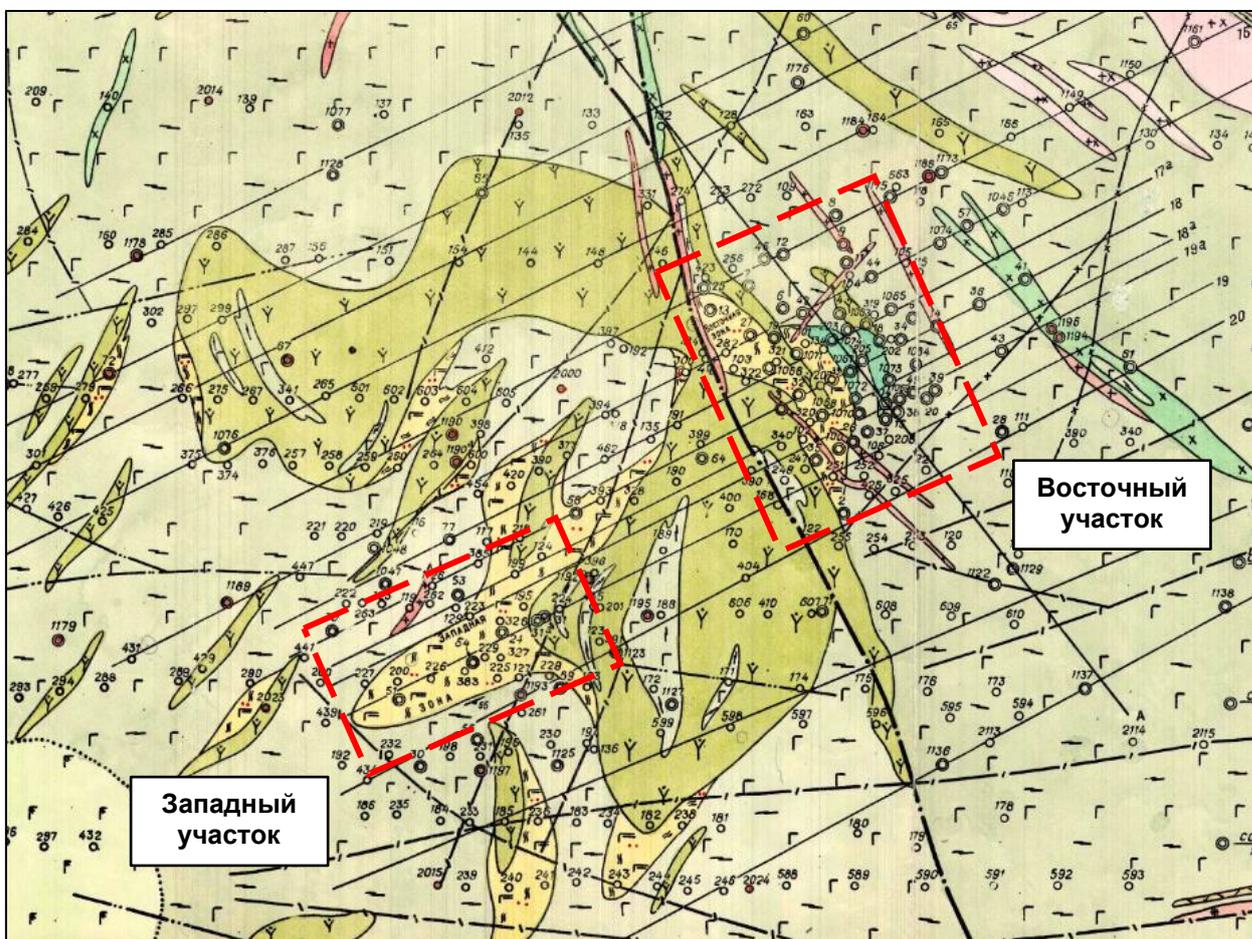


Рисунок 3 – Рудовмещающие зоны месторождения Акжал

Колчеданное оруденение заключено в метасоматитах, развитых по основным вулканитам. Минеральный состав метасоматитов напрямую связан с интрузивными образованиями Коктюбинского гранодиоритного массива, расположенного в северо-восточной части рассматриваемой территории.

Зональность метасоматитов проявляется по мере удаления от рудных зон в виде смены высокотемпературной антофиллит-биотит-кордиеритовой и хлорит-биотитовой ассоциаций (слагают внутренний контур) более низкотемпературными зелеными сланцами и кварц-альбитовыми, кварц-серицитовыми породами.

Морфология рудных тел осложняется непростым тектоническим строением. В метасоматитах Восточной рудной зоны рудные тела располагаются в виде крутопадающих столбообразных линз. На поверхности руды обнажаются в виде железных шляп.

5 Минералого-петрографические исследования

Историю изучения медноколчеданного месторождения Акжал (поисково-разведочные, поисково-оценочные, геологоразведочные и др. работы) можно условно разделить на исторический этап (1970-1980 года) и современный период, включающий два отдельных этапа – 2019 и 2020 года. Причина такого разделения современного периода заключается в качестве геологоразведочных работ: информация, полученная в ходе геологоразведочных работ 2019 года, во многом отличается от таковой за 2020 год.

В данном разделе приводится описание основных спорных вопросов (и их решений), возникших при сопоставлении материалов указанных периодов.

5.1 Качество полевой документации

Главной проблемой в материалах 2019 года являются ошибки при документировании керна. Сопоставление фотодокументации с полевым описанием керна помогло выявить значительные расхождения в определении петрографических разностей.

В полевой документации были обнаружены интервалы мощностью до 200 и более метров, названные андезитами. Однако визуально, по фотографиям керна (даже в сухом виде), в пределах таких интервалов четко выделяется несколько петрографических типов пород (от 2-х и более – амфиболиты, метасоматиты, гранитоиды и др.). Рисунок 4 демонстрирует фрагмент полевого журнала одной из скважин 2019 года бурения, в котором описан интервал «андезитов» мощностью почти 280 метров.

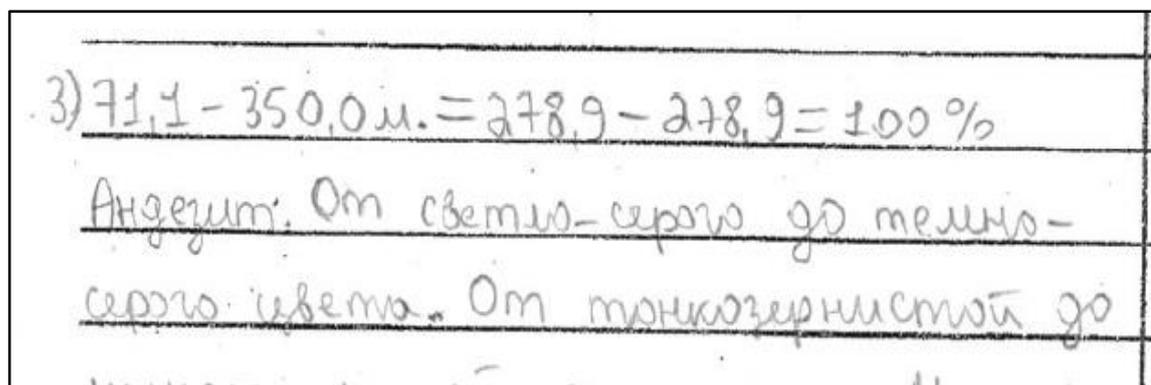


Рисунок 4 – Пример интервала «андезитов» из полевого журнала 2019 года

Ящик с керном из указанного интервала изображен ниже (Рисунок 5). По фотографии четко заметны текстурные признаки, более характерные для метаморфических пород (плойчатость и волнистая полосчатость).

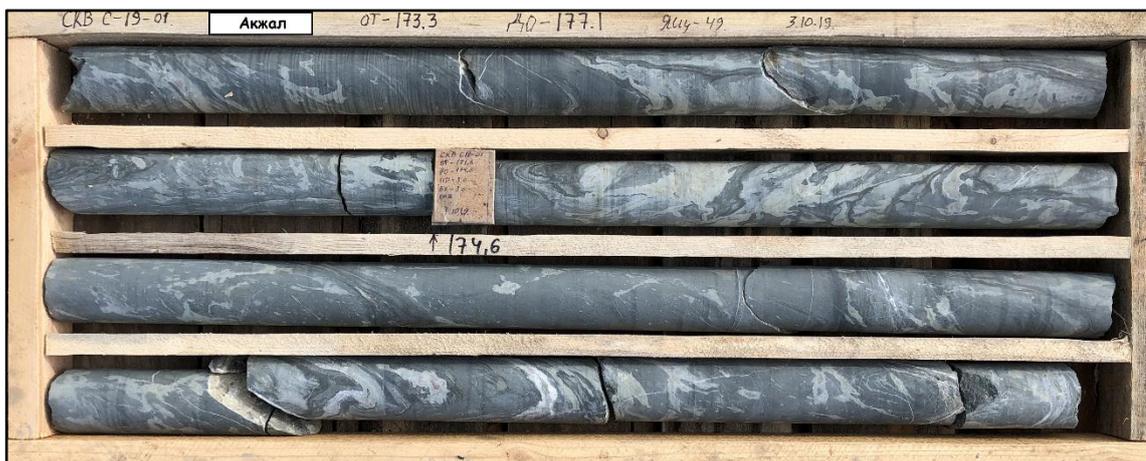


Рисунок 5 – Фотография ящика с керном из указанного на рисунке 4 интервала «андезитов»

Похожий пример демонстрируется на фото ниже (Рисунок 6). В полевой документации интервал описан как андезиты, однако визуально по фотографии керна имеется явное различие в облике пород, как по цвету, так и по текстуре (сверху гранитоиды, снизу амфиболиты).



Рисунок 6 – Фотография ящика с керном из похожего интервала «андезитов»

Одна из причин выделения андезитов в документации 2019 года, вероятно, заключается в их визуальном сходстве с распространенными в пределах месторождения долеритовыми порфиритами. Это подтверждается материалами 2020 года. В документации скважин 2020 года андезиты не отмечались вовсе, тогда как долеритовые порфириты встречались довольно часто наряду с амфиболитами (Рисунок 7).

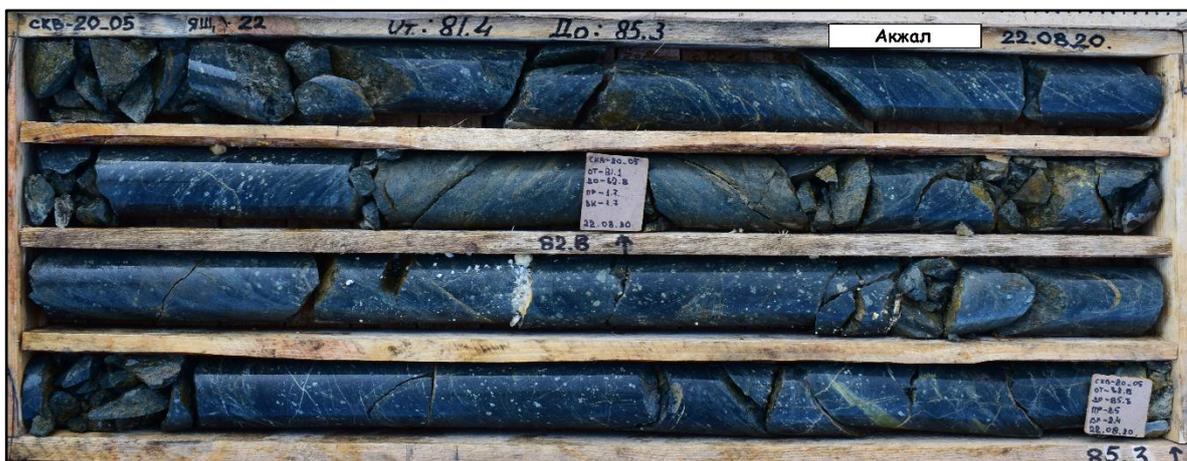


Рисунок 7 – Фотография ящика с керном одной из скважин 2020 года с интервалом долеритовых порфиритов

Описанные примеры легли в основу **первой задачи**, поставленной в рамках магистерской диссертации – уточнение данных о минералого-петрографическом составе вмещающих пород месторождения Акжал.

5.2 Минералого-петрографическая характеристика вмещающих пород

Для изучения минералого-петрографического состава месторождения проектом геологоразведочных работ 2020 года был предусмотрен отбор шлифов по нескольким скважинам.

Из отобранных керновых проб было изготовлено 40 прозрачных шлифов. Исследования в проходящем свете проводились с использованием поляризационного микроскопа Полам Р-312.

Наибольшее распространение в пределах месторождения имеют амфиболиты, сформированные в результате метаморфизма по базальтоидам и основным плутонитам, о чем свидетельствуют реликты первичных структур и минералогический состав конечных пород. Амфиболиты являются рудовмещающими образованиями и по мере приближения к тектоническим зонам и зонам расланцевания сменяются амфиболовыми сланцами и фациями метасоматитов.

Минералогический состав пород довольно разнообразен. Главными породообразующими минералами выступают амфиболы (чаще роговая обманка, реже – актинолит, тремолит), полевые шпаты (основные плагиоклазы, практически повсеместно замещенные альбитом, реже кислые), кварц. В метасоматитах часто главными являются хлорит, слюды, иногда серпентин.

Второстепенную роль в исходных породах играют слюды (серицит, биотит, мусковит), вторичный хлорит.

В подчиненных количествах присутствуют эпидот, цоизит (иногда самостоятельно, но чаще в агрегатах соссюрита), карбонаты (кальцит), гранат.

Акцессорные минералы представлены апатитом, сфеном, рутилом (лейкоксенон) и рудным веществом.

Ниже приводится подробное описание и фотографии шлифов основных типов изученных пород.

Порфиритоид (метаморфизованный базальтоид)

Структура исходной породы порфировидная, конечной породы – гранонематобластовая с элементами реликтовой.

Порода представляет собой метаморфизованный вулканит основного состава (базальт, долерит). Исходную породу удалось определить по наличию редких реликтов порфировых вкрапленников (размером 0,5-1,0 мм), представленных плагиоклазом с неравномерной соссюритизацией. Они имеют неровные контуры и прорастаются минералами основной массы (Рисунок 8). Реликтов первичной структуры основной массы не наблюдается.

В конечном виде основная масса представляет собой полностью перекристаллизованный мелкозернистый агрегат с гранонематобластовой структурой. Размер зерен основной массы составляет в среднем 0,05-0,1мм.

В составе выделяется примерно равное количество плагиоклаза и амфибола. Плагиоклаз представлен изометричными и таблитчатыми зернами (1), по которым в разной степени развита соссюритизация. Амфибол представлен зеленой роговой обманкой, образующей удлиненные призматичные, ромбовидные и изометричные сечения с характерной спайностью и плеохроизмом (2) [6].

Среди вторичных минералов развит хлорит. Встречается в виде бледно зеленоватых листовидных, чешуйчатых выделений с аномально синими цветами интерференции [7].

Местами в шлифе замечены прожилки эпидот-цоизитового состава.

Широким развитием пользуется мелкая рудная вкрапленность, которая иногда группируется в прерывистые прожилки и цепочки (3).

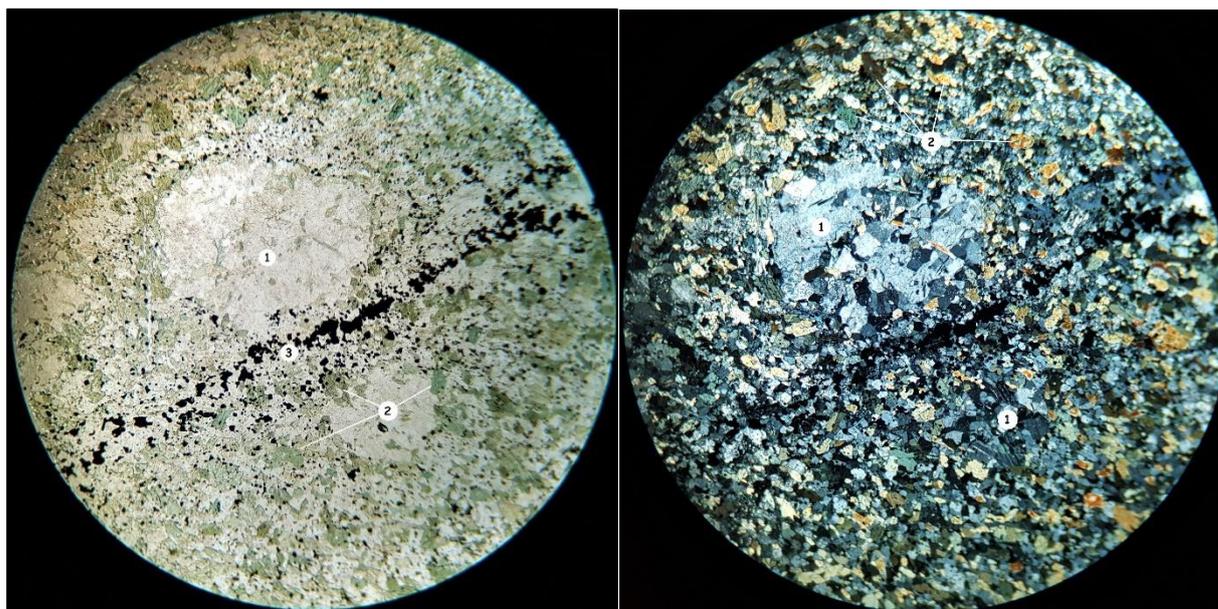


Рисунок 8 – Шлиф 5-1, глубина отбора 74м. Увеличение 40, слева николи параллельны, справа скрещены.

Амфиболизированное габбро (метагаббро)

Текстура породы массивная, структура реликтовая гипидиоморфнозернистая с элементами панидиоморфнозернистой (Рисунок 9).

Плагиоклаз образует более-менее изометричные, иногда таблитчатые зерна и агрегаты с неровными краями, подвержен интенсивной альбитизации, слабо сосюритизирован. Местами заметны характерные полисинтетические двойники (1) [8]. Амфибол развит в виде кучно расположенных игольчатых, призматических, ромбовидных кристаллов (2), имеет светлую грязно-зеленую окраску, часто актинолитизирован, реже хлоритизирован.

Размер индивидов, слагающих породу, составляет в пределах 0,4-0,8мм.

В небольших количествах встречаются реликты зерен пироксена, определяемые по характерной спайности и ярким цветам интерференции (3). Среди аксессуарных минералов замечены выделения эпидота, кристаллики апатита и сфена. По многочисленным разно ориентированным прожилкам развит карбонат (4).

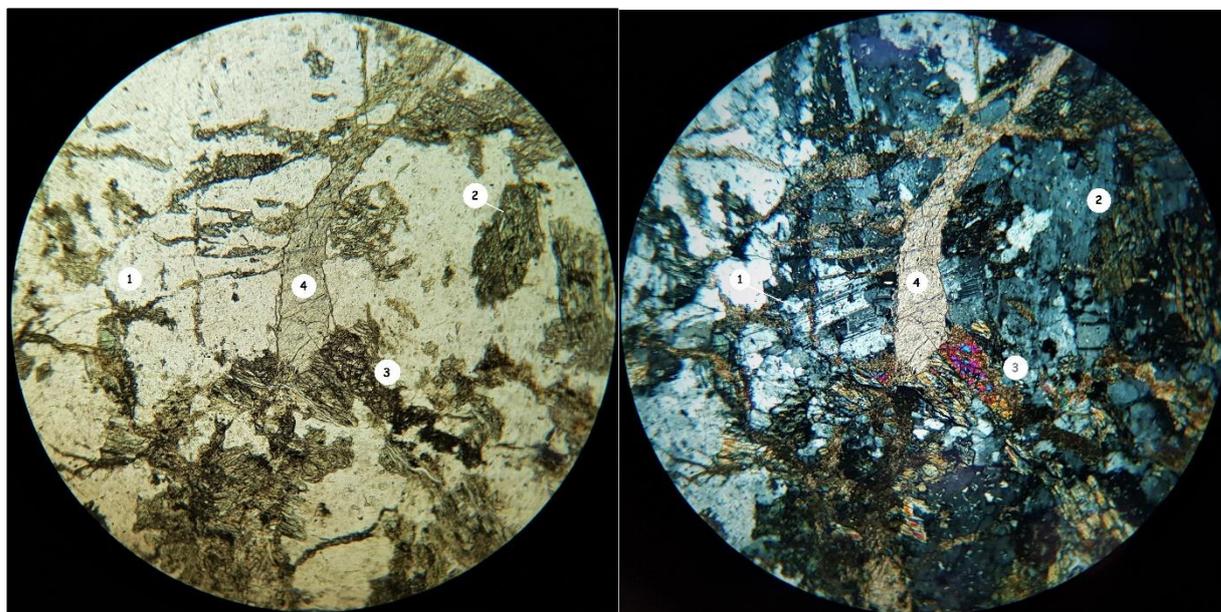


Рисунок 9 – Шлиф 5-10, глубина отбора 168,8м. Увеличение 100, слева николи параллельны, справа скрещены

Амфиболит

Текстура ясносланцеватая, обусловлена ориентированным расположением минералов по удлинению, структура нематогранобластовая.

Основная ткань породы состоит из агрегата плагиоклаза и амфибола, в котором заметна довольно многочисленная рудная вкрапленность (Рисунок 10). Реликтов вкрапленников не наблюдается.

Плагиоклаз представлен в основном альбитом, который образует прозрачные зерна изометричной и таблитчатой формы (1), размером 0,05-0,1мм. Иногда встречаются более основные разновидности, подверженные сосюритизации. Амфибол представлен зеленой роговой обманкой, развитой

в виде мелких удлиненных призмочек, ромбовидных и шестиугольных сечений (2) [7].

Среди вторичных минералов замечен хлорит, слагающий редкие прожилки с характерными темно-синими цветами интерференции (3). Акцессорные представлены эпидотом (4) [8].

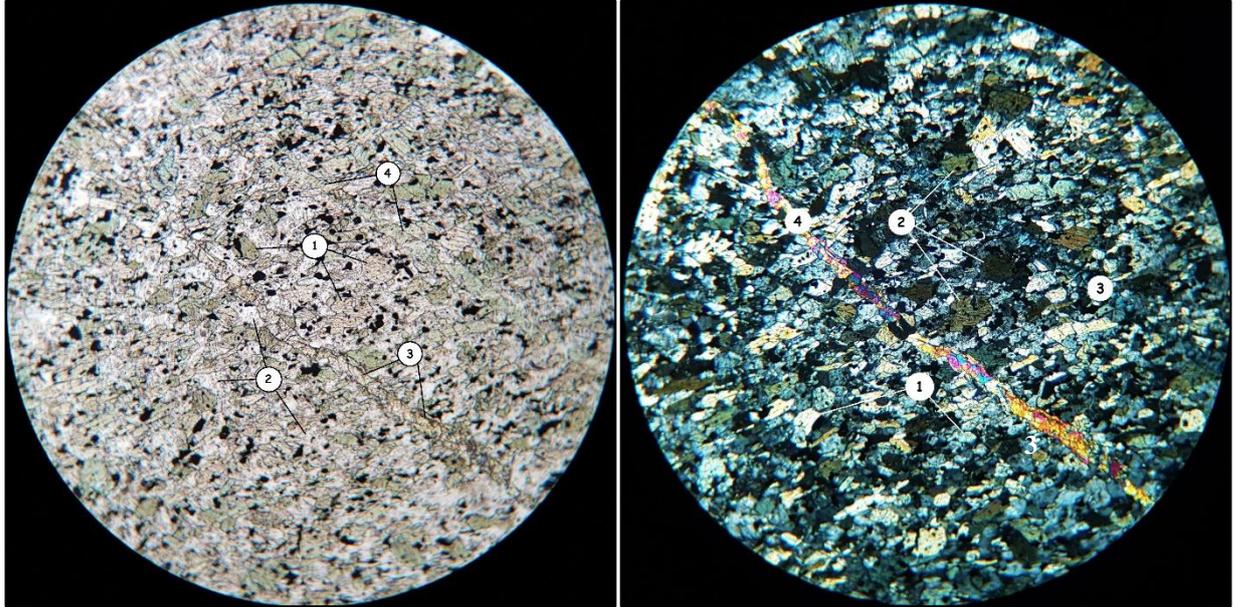


Рисунок 10 – Шлиф 12-4 глубина отбора 134,25м. Увеличение 100, слева николи параллельны, справа скрещены

Амфиболит (Амфиболовый сланец)

Текстура ясносланцеватая, структура гранонематобластовая (Рисунок 11).

Порода состоит из преобладающего количества амфибола, образующего агрегат субпараллельно ориентированных удлиненных призмочек и иголок, редко мелких ромбовидных кристалликов (размером до 0,04-0,1мм по удлинению), имеющих бледно-зеленую, иногда буроватую окраску (1). В подчиненных количествах в промежутках между индивидами амфибола расположены мелкие изометричные зерна альбита (2) и тонкозернистые массы эпидот-цоизита и соссюрита [8]. В небольших количествах встречается тонкая рудная вкрапленность.

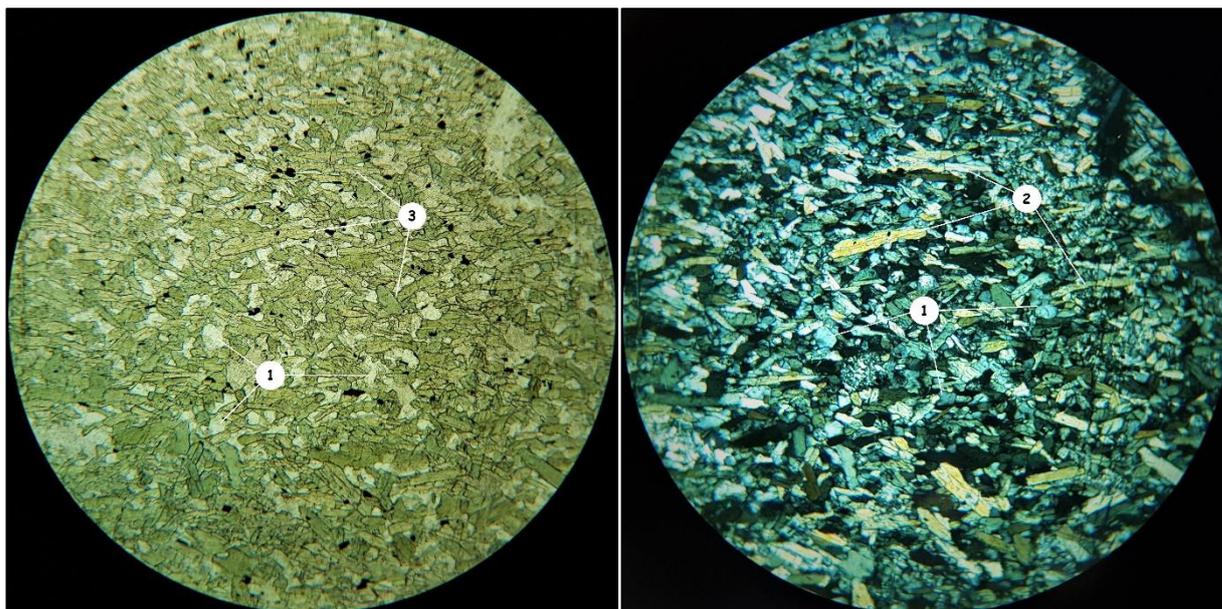


Рисунок 11 – Шлиф 5-9, глубина отбора 160,7м. Увеличение 100, слева николи параллельны, справа скрещены

5.3 Метасоматические изменения пород

Согласно классификации Г.Э. Нарвайт для пород Западной Зеленокаменной зоны Мугоджар в отложениях базальтоидной толщи метаморфизм проявляется в следующие несколько стадий [9]:

- Регрессивный региональный метаморфизм, выразившийся в хлоритизации, окварцевании, альбитизации плагиоклазов;
- Контактный метаморфизм, выразившийся в амфиболизации основных и средних эффузивов и проявлением контактовых кварц-плагиоклаз-амфиболовых роговиков с гранатом, диопсидом и скаполитом;
- Региональный дорудный гидротермальный метасоматизм, выраженный эпидотизацией, окварцеванием, пумпеллитизацией, предшествующей оруденению и околорудным изменениям;
- Околорудный гидротермальный метасоматизм, сопровождающий оруденение в ореолах околорудных метасоматитов;
- Региональный пострудный метасоматизм, наложенный на все предыдущие изменения и выраженный в карбонатизации, цеолитизации, окремнении.

При изучении шлифов в той или иной степени были замечены признаки каждой стадии.

Метасоматиты зонально располагаются внутри и за пределами рудных контуров. Границы между зонами проявляются в виде смены парагенетических ассоциаций минералов от наиболее высокотемпературных

внутри контура рудных тел, к низкотемпературным по мере удаления от контура.

Наиболее часто под микроскопом отмечаются процессы «озеленения» – хлоритизация, эпидотизация, актинолитизация, реже серпентинизация. По полевым шпатам (плагиоклазам) активно развита альбитизация, соссюритизация и серицитизация. Немалое развитие имеет окварцевание, иногда карбонатизация.

Зеленый сланец

Текстура породы «слабо» сланцеватая. Местами заметны реликты первичной структуры, однако точно определить её не удастся из-за интенсивной метаморфизации (Рисунок 12).

В состав входят хлорит, амфибол и тонкозернистые эпидот-цоизитовые (соссюритовые) массы. В небольших количествах присутствуют мелкие зерна прозрачного альбита, а также вкрапления и гнезда рудного минерала.

Хлорит образует чешуйки и их агрегаты, а также крупные (до 1 мм по удлинению) широкие пластинки и псевдоморфозы удлиненно-призматической формы. Также замечен в виде спутанно-волокнистых агрегатов (серпентиновидных [7]). Имеет бледную зеленоватую, буроватую окраску и аномальные синие и желтые цвета интерференции (1).

Амфибол представлен игольчатыми и удлиненно-призматическими кристаллами актинолита (2), часто развитыми в сростании с хлоритом, реже встречаются мелкие ромбические сечения роговой обманки.

Тонкие эпидот-цоизитовые массы развиты в промежутках между основными минералами, не имеют четких контуров, образованы, вероятно, за счет первичного основного плагиоклаза.

По редким прожилкам развит карбонат.

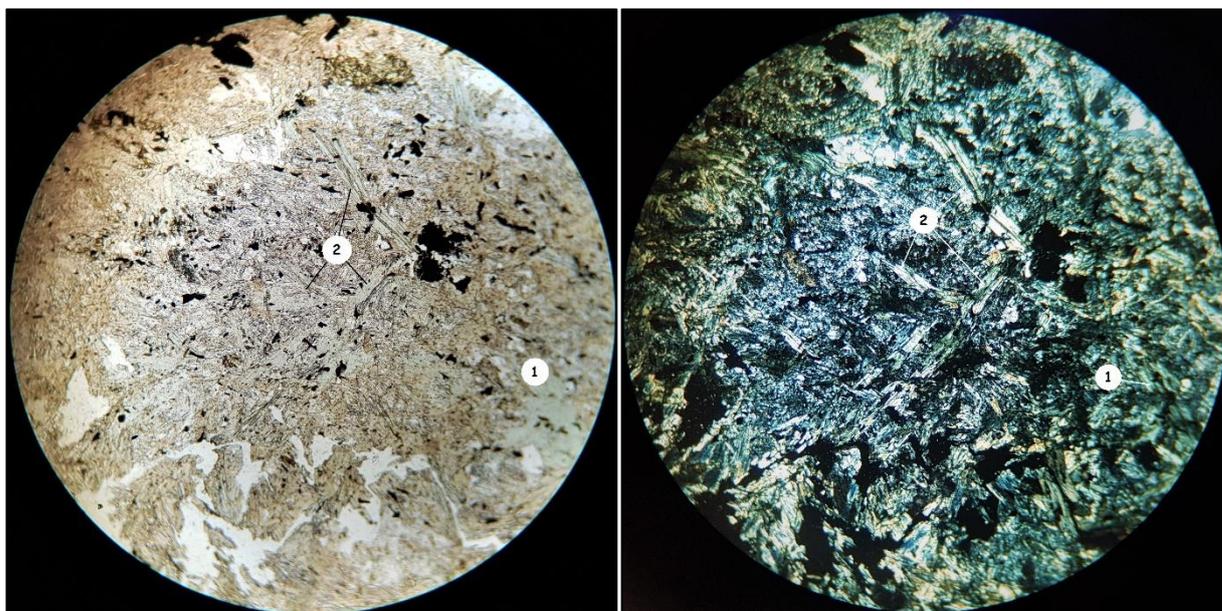


Рисунок 12 – Шлиф 5-3, глубина отбора 98,6м. Увеличение 40, слева николи параллельны, справа скрещены

Хлорит-амфиболовый сланец

Текстура сланцеватая, структура фибролепидобластовая (Рисунок 13).

Породу слагают агрегаты удлиненных листовидных и пластинчатых выделений бледно-зеленого хлорита (1), срastaющиеся с игольчатыми, и спутанно-волокнистыми выделениями бесцветного или бледно-зеленого амфибола – тремолита или актинолита (2). Местами встречаются чешуйки слюды светло-бурого цвета.

Широко развита рудная минерализация в виде зерен неправильной формы, заключенных в промежутках между основными минералами. Рудные включения имеют различные размеры и иногда образуют невыдержанные прерывистые прослои.

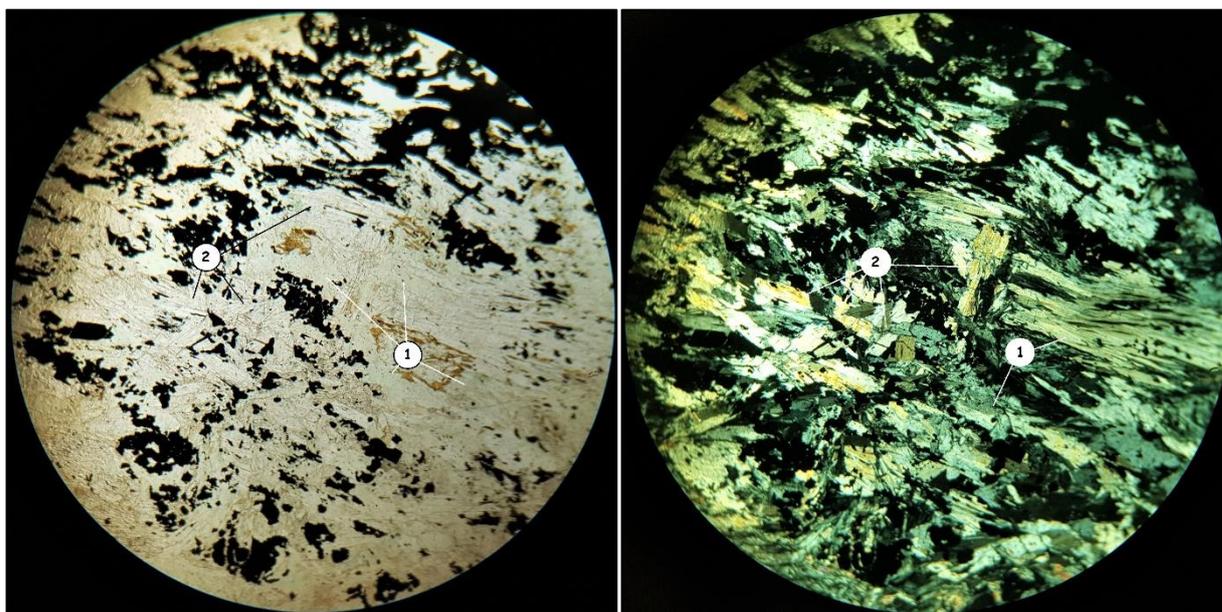


Рисунок 13 – Шлиф 5-13, глубина отбора 241,1м. Увеличение 40, слева николи параллельны, справа скрещены

Серпентинит (Серпентиновый сланец)

Текстура породы сланцеватая и слабо плейчатая (Рисунок 14).

Состоит из удлиненных волокон и листочков бесцветного серпентина с низкими серыми цветами интерференции, имеющих одинаковую ориентировку и слабо смятых в поперечные складочки (1) [7]. Среди волокнистых серпентиновых масс четко различимы реликты изометричных зерен оливина, практически полностью замещенных рудным веществом (2). Помимо формы их выдают характерные яркие цвета интерференции.

В значительных количествах (до 10%) отмечается рудный минерал в виде удлиненных зерен, заключенных в промежутках между волокнами серпентина. Зерна ориентированы по сланцеватости и вместе с серпентином смяты в складочки, подчеркивая плейчатость породы.

Также замечены немногочисленные порфиробласты эпидота-клиноцоизита таблитчатой и удлиненно-призматической формы (0,3-0,5мм), яркие желтые, оранжевые, синие цвета интерференции высокого порядка.

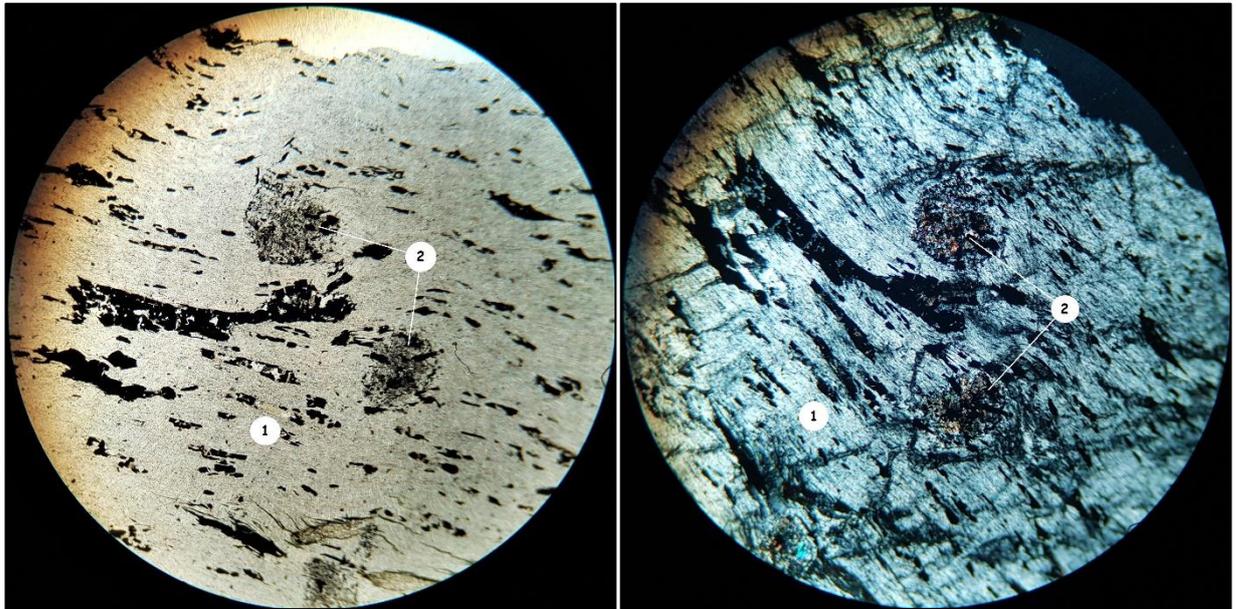
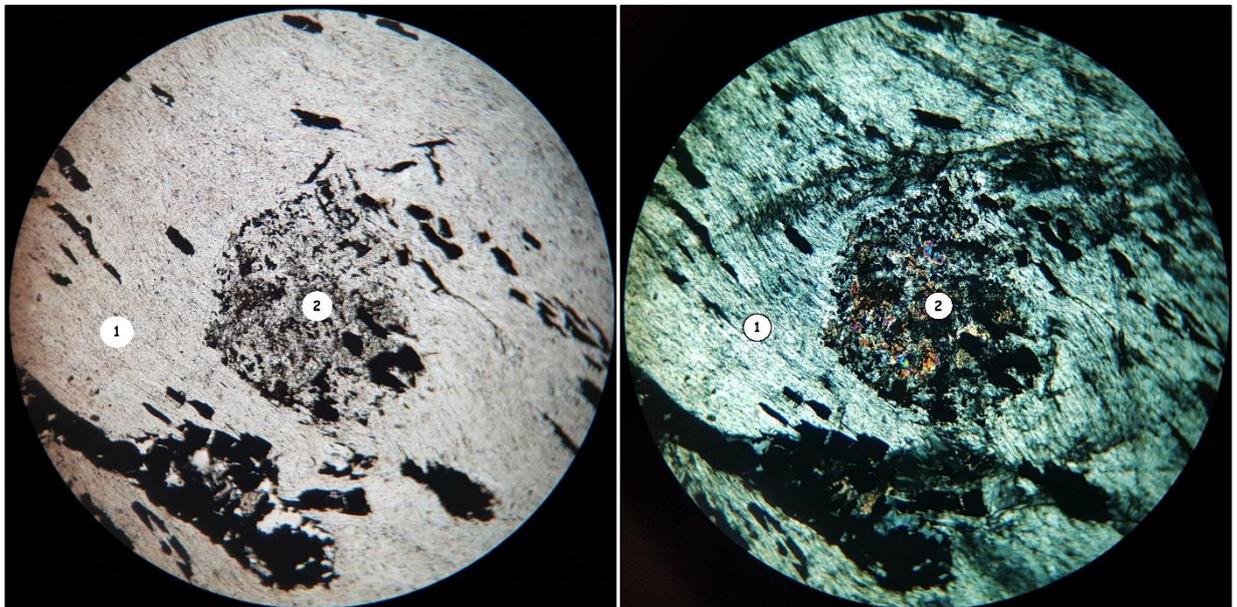


Рисунок 14 – Шлиф 12-9, глубина отбора 194м. Увеличение 40. Слева николи параллельны, справа скрещены



Тот же шлиф. Увеличение 100, слева николи параллельны, справа скрещены

Аналогичный образец

Текстура сланцеватая, плейчатая, структура фибролепидобластовая (Рисунок 15).

Серпентин в большинстве случаев почти бесцветен или имеет очень слабый зеленоватый оттенок, низкие серые цвета интерференции (1). Местами встречаются окрашенные в бурый цвет листочки с аномальными цветами интерференции, а также плотные бурые эмалевидные выделения (вероятно, сепофит [7]).

Местами между выделениями серпентина заметны эпидот-цоизитовые скопления (2). Рудные минералы развиты в виде мелких гнезд размером около 1,5мм, вокруг которых развиты мелкие зерна кварца.

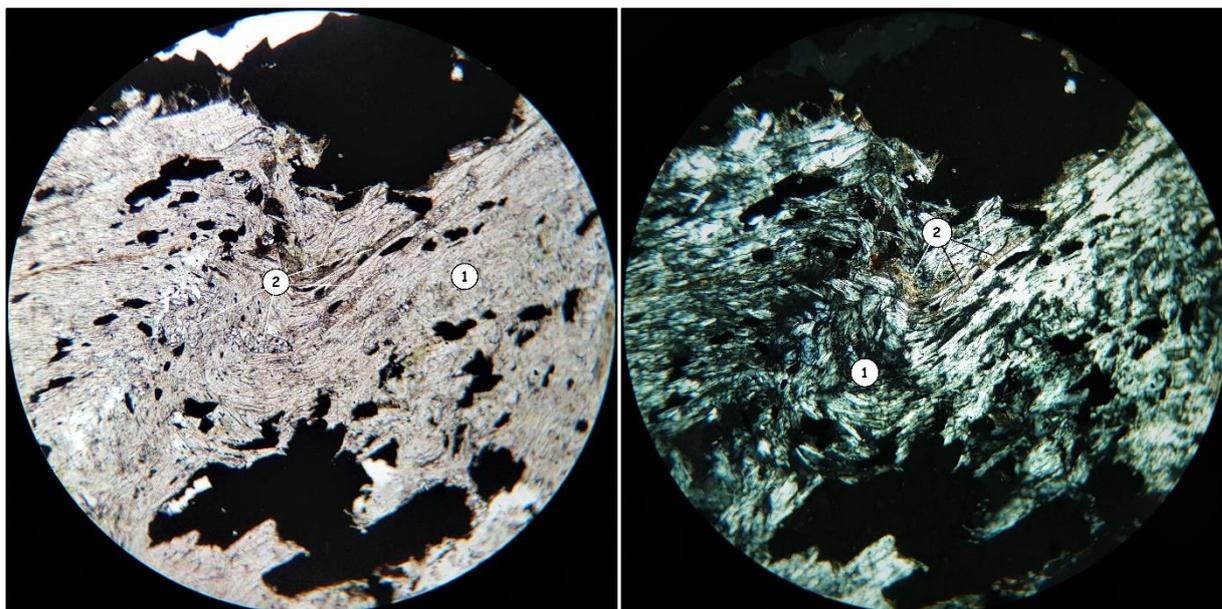


Рисунок 15 – Шлиф 12-10, глубина отбора 199,65 м. Увеличение 100, слева николи параллельны, справа скрещены

Амфибол-полевошпат-кварцевый сланец

Текстура «слабо» сланцеватая, местами линзовидная, плейчатая. Структура гранобластовая с элементами нематобластовой (Рисунок 16).

Порода сложена изометричными, реже слабо удлинёнными зёрнами кварца (1) размером 0,1-0,5мм, мелкими буроватыми зёрнами полевого шпата неправильной или таблитчатой формы (часто пелитизированы и замещены серицитом) и густо окрашенных зелёных выделений амфибола (2) призматической, изометричной и неправильной формы (0,05-0,15мм). Амфиболы (роговая обманка) часто группируются в тонкие прерывистые и изогнутые прослой среди полевошпат-кварцевого агрегата, развитые совместно с тонкозернистыми массами эпидот-цоизита и рудным веществом.

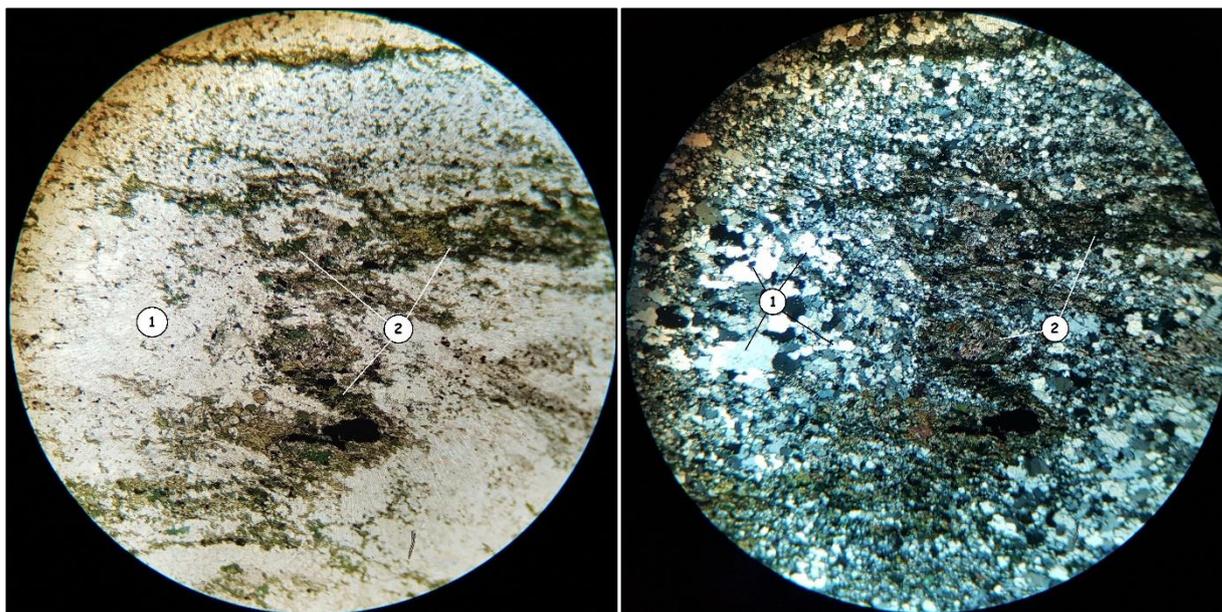
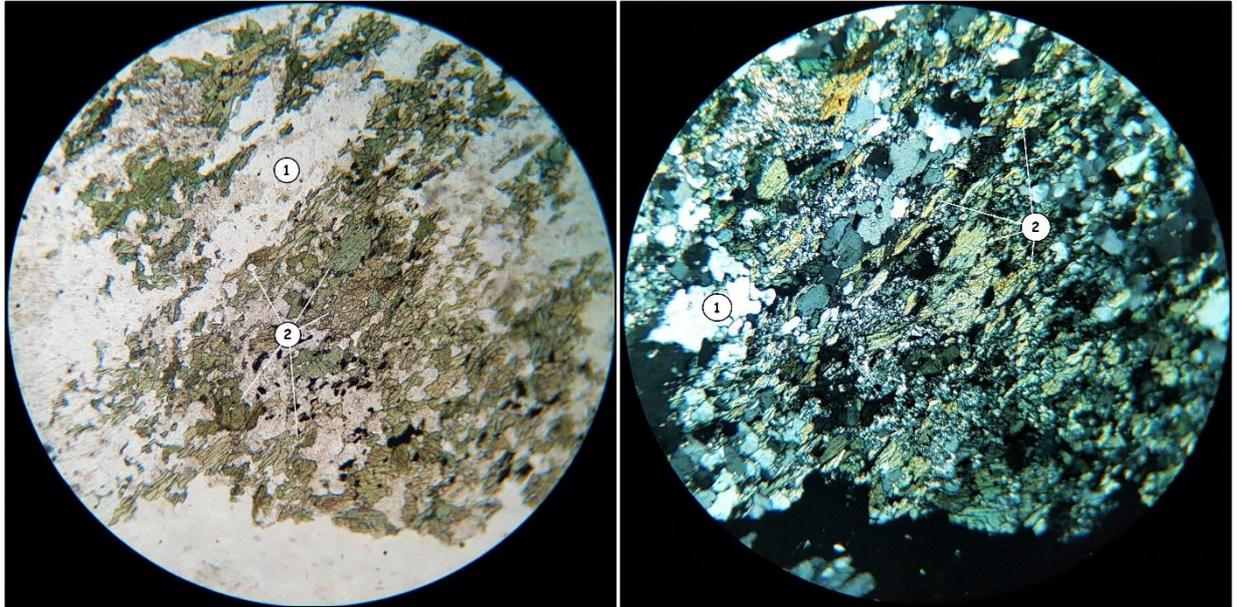


Рисунок 16 – Увеличение 40, слева николи параллельны, справа скрещены



Тот же шлиф. Увеличение 100, слева николи параллельны, справа скрещены

Слюдяно-кварцевый сланец

Текстура породы «слабо» слоистая, структура лепидогранобластовая. Слоистость обусловлена чередованием невыдержанных полос, имеющих разную структуру и состав (Рисунок 17). Среди прослоев преобладают микролепидобластовые агрегаты чешуек и листочков бесцветного серицита (1), иногда псевдоморфного облика, вероятно развитые за счет первичного плагиоклаза. Они чередуются с прерывистыми прослоями и линзами, состоящими из гранобластового агрегата изометричных зерен кварца (2).

Часто встречаются выделения бледно-бурого биотита с яркими цветами интерференции, местами хлоритизированные, ориентированные поперек общей слоистости (3) [8].

Рудное вещество распределяется в виде редких неравномерных вкраплений.

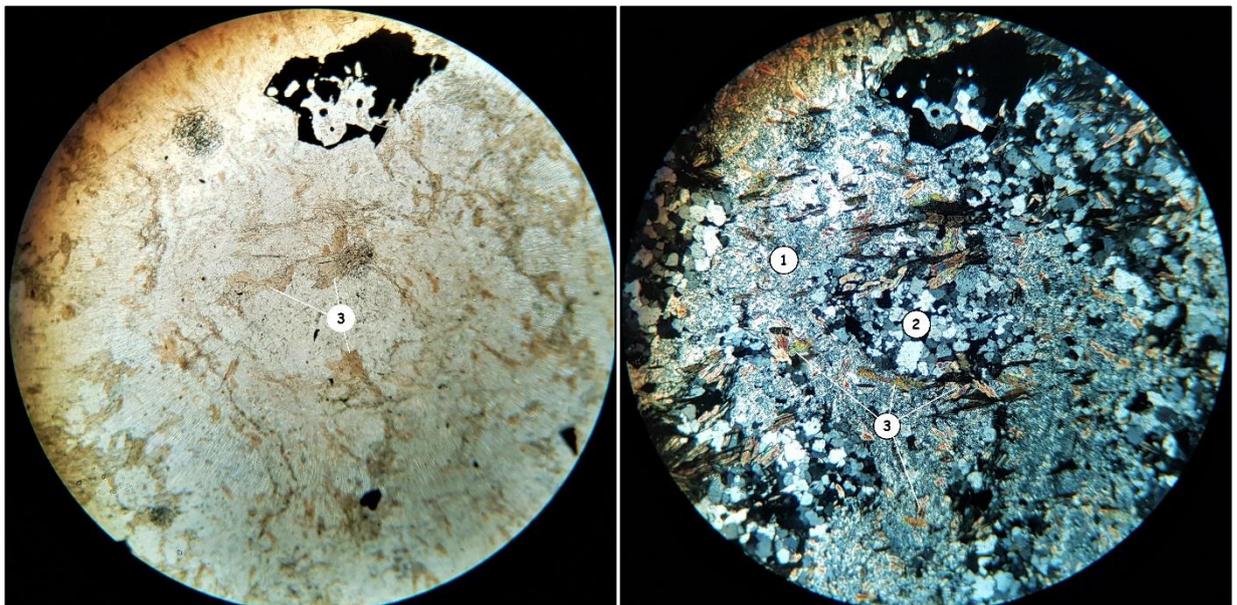


Рисунок 17 – Шлиф 12-11, глубина отбора 209,75м. Увеличение 40, слева николи параллельны, справа скрещены

Гранат-полевошпат-эпидотовый роговик

Структура гранобластовая.

Порода сложена тонкозернистым агрегатом полевого шпата, эпидота, с подчиненным количеством хлорита, пироксена, амфибола и граната, содержит мелкую рудную вкрапленность (Рисунок 18).

Основную часть породы слагают мелкие зерна плагиоклаза и амфибола (1). Амфибол определяется по слабому плеохроизму в зелено-бурых тонах. Полевой шпат представлен изометричными и таблитчатыми зернами часто сосюритизированного и альбитизированного плагиоклаза, размером около 0,05мм. Эпидот (и цоизит) образуют мелкие бесцветные, чаще грязно-серые зерна с яркими или тусклыми аномальными цветами интерференции. Пироксен замечен в виде бесцветных, реже зеленоватых зерен, приуроченных к гранату (реже встречается в основной массе). Отличается характерной спайностью и яркими цветами интерференции (3).

Гранат четко различим в составе крупного прожилка, секущего основную массу (2). Образует изотропные трещиноватые округлые зерна, имеющие желтую окраску (андрадит) [8]. В промежутках зерен граната заметны выделения зеленого хлорита с темно-синими цветами интерференции (4), карбонаты и рудное вещество. Породу секут многочисленные прожилки карбоната (кальцита (5)).

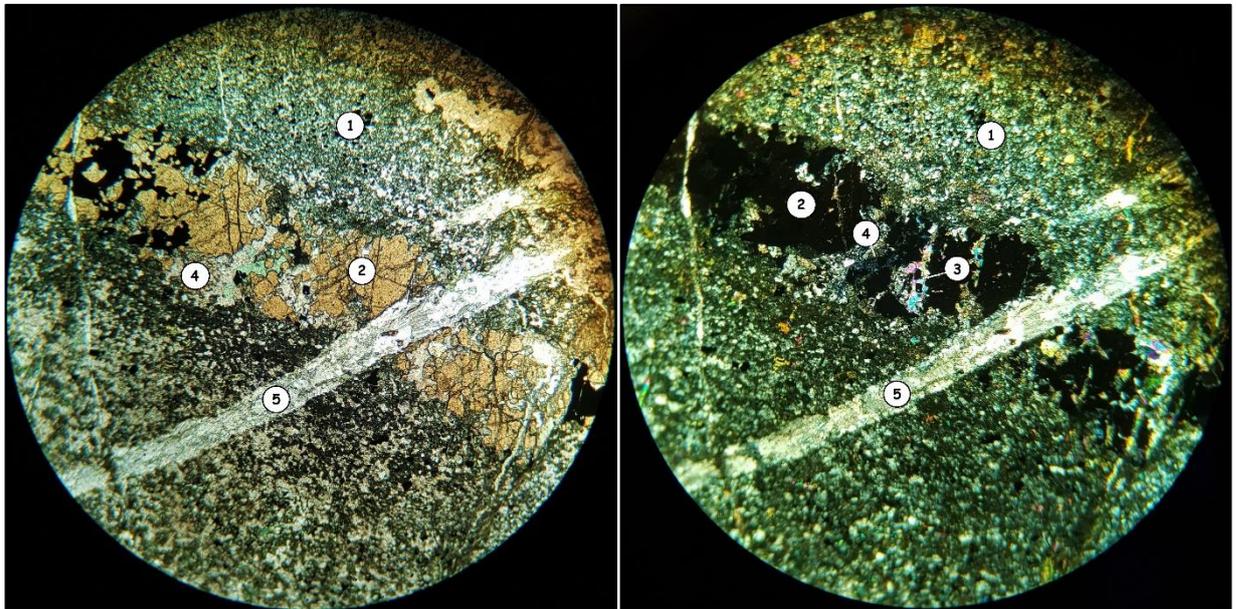
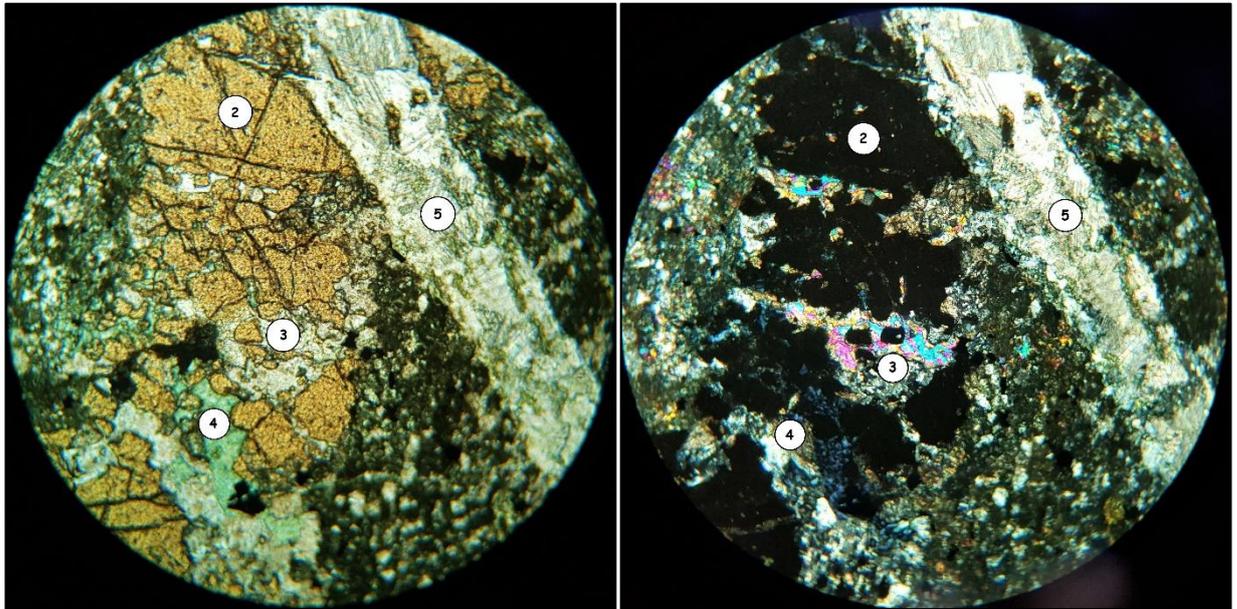


Рисунок 18 – Шлиф 12-2, глубина отбора 88,05м. Увеличение 40, слева николи параллельны, справа скрещены



Тот же шлиф. Увеличение 100, слева николи параллельны, справа скрещены

Рудовмещающая ассоциация метасоматитов

В исторических отчетах при описании рудных зон упоминается рудовмещающая фация метасоматитов, представленная антофиллит-биотит-кордиеритовой ассоциацией [10].

Из 40 шлифов, 12 были отобраны с интервалов сплошных и прожилково-вкрапленных руд. При их микроскопическом изучении из указанных минералов в значимых количествах был замечен лишь биотит, но не в пределах рудного контура, а в составе кварц-сланцев. Кордиеритоподобные образования были замечены в виде единичных измененных включений среди микрокварцевой массы в промежутках рудного вещества. В шлифах, отобранных с интервалов сплошных руд, в небольшом количестве были отмечены образования похожие на антофиллит (образование с яркими цветами интерференции в центре – Рисунок 19) [7].

Это в определенной степени подтверждает информацию из исторических материалов.

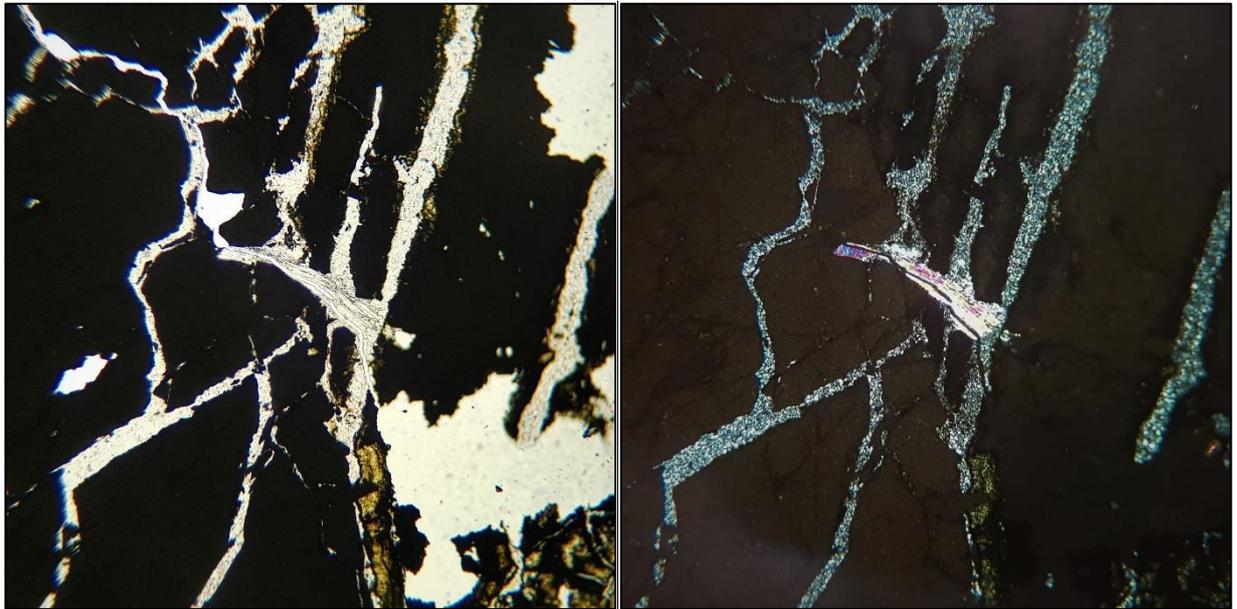


Рисунок 19 – Шлиф 5-5, глубина отбора 127,35. Увеличение 100, слева николи параллельны, справа скрещены

Сплошная руда

Фотография шлифа, отобранного по сплошной руде (Рисунок 20).

Шлиф заполнен плотной черной и темной непрозрачной рудной массой, среди которой четко различимы полупрозрачные красновато-бурые выделения сфалерита. Местами сечется немногочисленными прерывистыми микротрещинками, в которых замечен кварц.

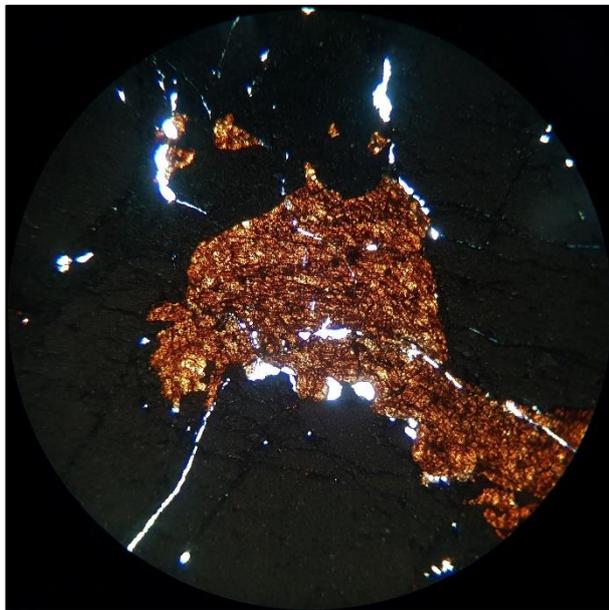


Рисунок 20 – Шлиф 12-5, глубина отбора 142,1. Увеличение 40, николи скрещены

5.4 Выводы по разделу

По результатам изучения горных пород в проходящем свете было установлено, что:

- Основными рудовмещающими породами на месторождении Акжал являются амфиболиты. Рудная зона образована на контакте амфиболитов с долеритовыми порфиритами и представлена несколькими фациями метасоматитов.
- Среди метасоматических процессов преобладает «озеленение» – хлоритизация, эпидотизация, реже актинолитизация и серпентинизация. По полевым шпатам интенсивно развита альбитизация, серицитизация и сосюритизация.
- Основную массу околорудных метасоматитов составляют хлоритовые, хлорит-кварцевые, кварц-полевошпатовые, серицит-кварцевые породы.
- Зональность метасоматитов проявляется по мере удаления от рудных тел в виде смены высокотемпературной рудоносной формации более низкотемпературными зелеными сланцами.
- Проведена корректировка полевой документации: описанные в полевых журналах 2019 года интервалы андезитов были разделены по отдельным петрографическим разностям в соответствии с результатами микроизучения.

6. Минераграфические исследования

6.1 Типы и вещественный состав руд месторождения Акжал

На месторождении по вещественному составу выделяется три типа руд – медноколчеданные, медно-цинковые и серноколчеданные. По текстурно-структурным особенностям агрегатов названные типы руд подразделяются на сплошные и прожилково-вкрапленные.

Основные рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, сфалеритом, редкие – пирротинном, магнетитом и гематитом. В зонах вторичного сульфидного обогащения первичные медные минералы часто заменяются вторичными ковеллином и халькозином (Рисунок 21).



Рисунок 21 – Минералогический состав руд. Слева – медно-цинковая руда (пирит-халькопирит-сфалерит), справа – медноколчеданная руда (пирит-халькопирит-ковеллин)

Агрегаты сплошных руд характеризуются крупнозернистой, иногда порфировидной структурой. В их составе преобладают крупные выделения пирита с более мелкими зёрнами, прожилками, гнездами сфалерита и халькопирита (Рисунок 22).



Рисунок 22 – Интервалы керна по сплошным рудам месторождения Акжал

Прожилково-вкрапленные руды распределяются во вмещающих породах в виде прожилков, вкрапленности и гнездообразных обособлений рудных минералов (Рисунок 23).



Рисунок 23 – Интервалы керна по прожилково-вкрапленным рудам месторождения Акжал

6.2 Результаты технологических испытаний 2019 года

Для исследования извлекаемости рудных компонентов и определения схемы обработки проб на месторождении Акжал в 2019 году проводились технологические испытания, которые подкреплялись минераграфическим изучением аншлифов.

Результаты испытаний показали тесную взаимосвязь главных рудных минералов меди и цинка – тонкие эмульсионные прорастания халькопирита в сфалерите (Рисунок 24) [11] [12].

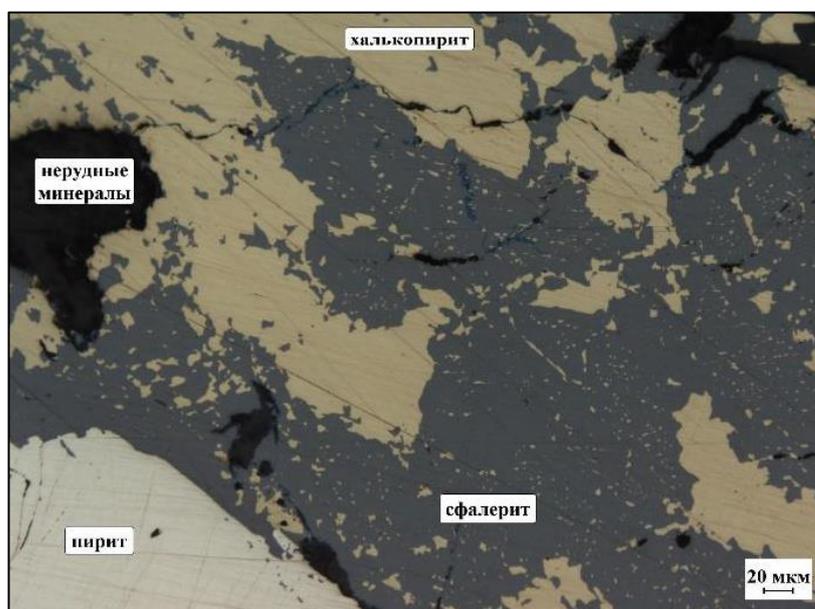


Рисунок 24 – Эмульсионные вкрапления халькопирита в сфалерите (текстура распада твердого раствора). Фотография аншлифа из технологического отчёта по месторождению Акжал 2019 года.

Такие сростания сульфидов прослеживались даже в истертом материале технологической пробы (Рисунок 25) [11].

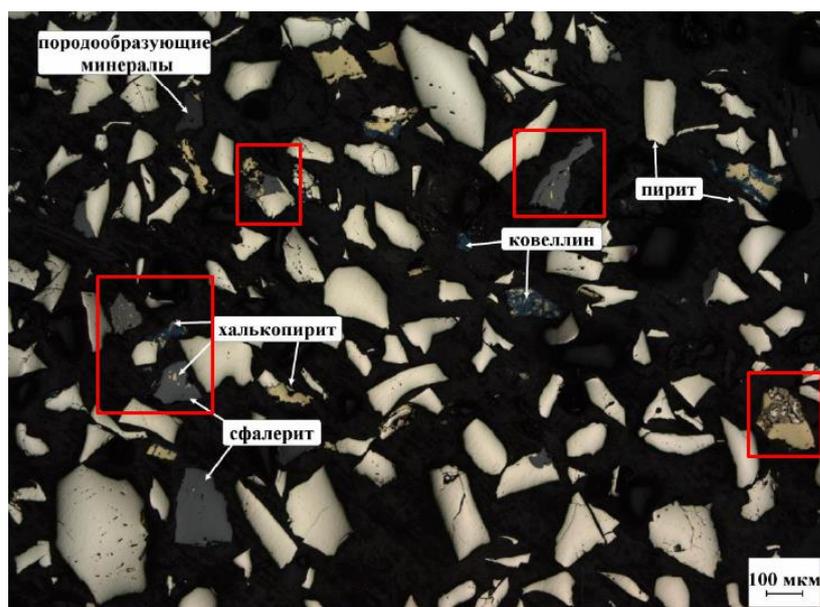


Рисунок 25 – Фотография технологической пробы, измельченной до размера 0,074 мм (из технологического отчёта по месторождению Акжал 2019 года). На фото отмечены эмульсионные включения халькопирита в сфалерите

На основе описанных положений была определена **вторая задача** в рамках магистерской диссертации – выяснение взаимоотношений, количественных и качественных характеристик главных рудных сульфидов.

6.3 Минераграфическая характеристика руд

Подраздел посвящен результатам минераграфического изучения образцов руд, отобранных в процессе геологоразведочных работ на медноколчеданном месторождении Акжал. Для изучения вещественного состава руд из сколков было изготовлено 40 аншлифов, которые в дальнейшем изучались на поляризационном микроскопе Полам Р-312 в отраженном свете.

Для сравнения приводятся фотографии сколковых образцов руды, с которых были отобраны аншлифы.

Аншлиф 5-2 глубина отбора 227,25м (Рисунок 26)

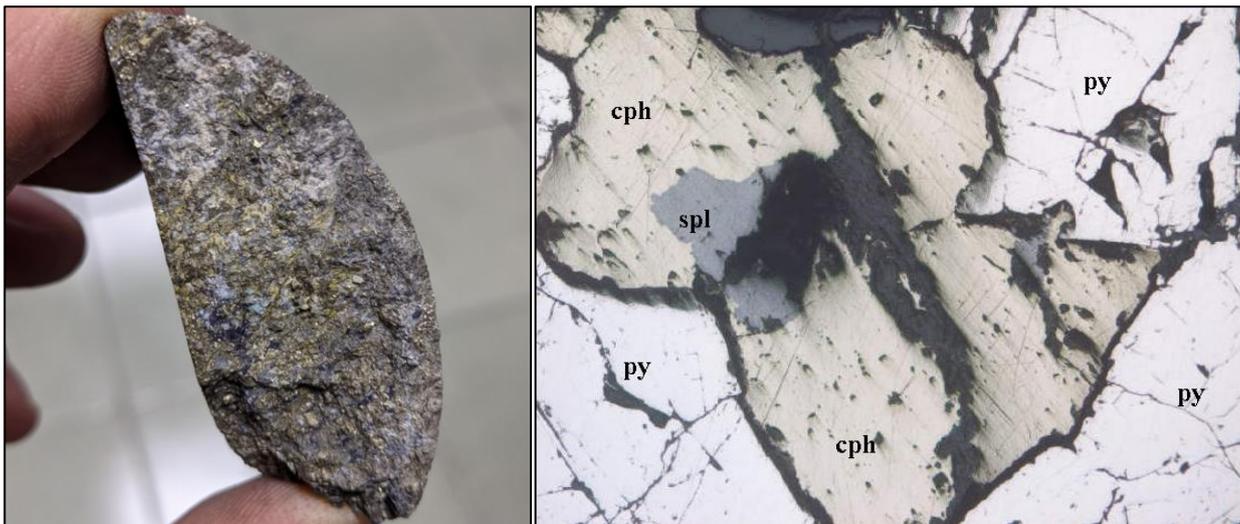


Рисунок 26 – Слева макрообразец сплошной руды, справа – фотография аншлифа 5-2, увеличение 200

Основным рудным минералом является **пирит (py)** – содержание составляет около 80-85%.

Выделения пирита характеризуются мелко (0,02-0,2мм), средне (0,2-1,0мм) и крупнозернистыми (более 1,0 мм) агрегатами с идиоморфным и гипидиоморфным строением [13]. Пирит находится в тесных взаимоотношениях с другими сульфидами (сфалеритом, халькопиритом) и нерудными минералами. Халькопирит и сфалерит, как правило, выполняют роль цемента в пиритном агрегате и корродируют его. Форма их обособлений прожилково-петельчатая, структура аллотриоморфнозернистая.

В нерудной массе наблюдается вкрапленность пирита в виде перекристаллизованных индивидов с кристаллографическими очертаниями и идиоморфные кристаллы размером от первых до 100 и более мкм.

Халькопирит (chr) – приблизительное содержание порядка 2%. Характерными формами выделений халькопирита являются: агрегаты в виде скоплений, гнезд и жилок; тонкие прожилки, развивающиеся по пириту и сфалериту; выделения неправильной формы, цементирующие пирит совместно со сфалеритом или нерудным веществом; эмульсиевидная вкрапленность в сфалерите. Скопления и гнезда халькопирита размером до 2 и более мм, как правило, сопровождаются сфалеритом.

Минерал более поздним к пириту, цементирует его, располагаясь в промежутках зерен и агрегатов. Выполняя промежутки, халькопирит образует густую сеть замкнутых прожилков мощностью 0,01-0,05мм.

Сфалерит (spl) – не более 1%) преимущественно наблюдается в виде включений и интерстиционных выделений в пирите, участками сливаясь в цементирующие его массы, как в виде самостоятельных ксеноморфных зёрен и их гнездообразных скоплений (размером от 0,01 до 1,0-2,0мм), так и часто в ассоциации с халькопиритом в виде аллотриоморфнозернистых скоплений, приуроченных к межзерновым пространствам пирита. Редко встречается в

виде самостоятельных полей размером 0,02-0,3мм и небольших ксеноморфных выделений в нерудной массе.

Встречаются две основные разновидности сфалерита: 1) наиболее часто встречаемый сфалерит с эмульсионной вкрапленностью и микровключениями халькопирита различных форм и размеров, нередко превышающих 3мкм; 2) сфалерит без эмульсионной вкрапленности халькопирита.

Среди редких минералов отмечен **ковеллин**, развитый в виде коррозионных структур по отдельным образованиям халькопирита, реже сфалерита. Частично замещает их от периферии зерен по трещинкам и спайности.

Акцессорные минералы представлены **рутилом**.

Аншлиф 5-6, глубина отбора 225,85м (Рисунок 27)

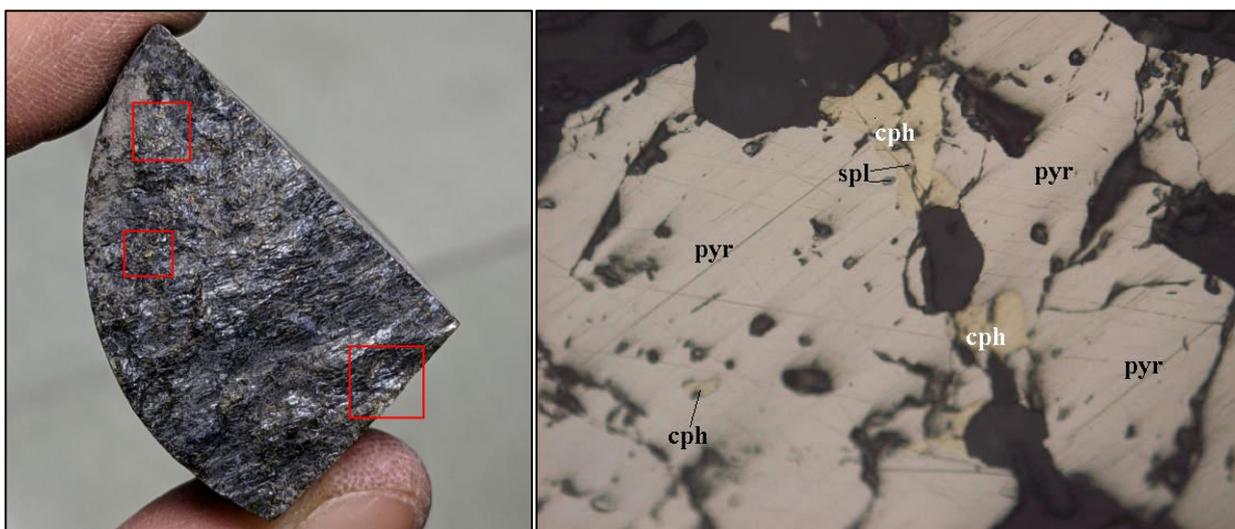


Рисунок 27 – Слева макрообразец прожилково-вкрапленной руды (на фото выделены участки с видимыми сульфидными вкраплениями), справа – фотография аншлифа 5-6, увеличение 200

Пирит (около 2-3%) образует вкрапленную текстуру. Выделения преимущественно, гипидиоморфные, редко идиоморфные, местами неправильной формы, размером от 0,005 до 0,1мм. Иногда встречается в виде агрегатов, размеры которых могут достигать 1,0-2,0мм. Незначительно подвержен катаклазу и отчасти выщелачиванию, образовавшиеся трещинки и пустотки выполнены нерудными минералами, редко рутилом или пирротином, с которыми пирит, встречается и в виде *структур* взаимных границ срастаний.

Пирротин (pyr) – содержание не более 1%. Образует гнездообразные скопления, реже одиночную вкрапленность (размером от 0,015 до 2,0мм) неравномерно распределенные в нерудной массе, приуроченные к промежуткам зернового пространства породообразующих минералов. Отмечен в срастании с халькопиритом, пиритом, рутилом, редко содержит микровключения сфалерита внутри своих агрегатов.

Халькопирит (chp) редок. Образует тонкую вкрапленность ксеноморфных выделений размером от первых микрон до 0,1мм в нерудном

веществе, часто в тесной ассоциации с пирротинном, пиритом, редко сфалеритом.

Сфалерит (spl) замечен в виде единичных выделений (не более 0,02мм) в сростании с халькопиритом, участками в виде микровключений в пирротине.

Акцессорный **рутил** (лейкоксен) встречается повсеместно в виде вкрапленности тонких кристалликов в нерудной массе, местами в сростании с пиритом и пирротинном.

Аншлиф 12-3, глубина отбора 159,5м (Рисунок 28)

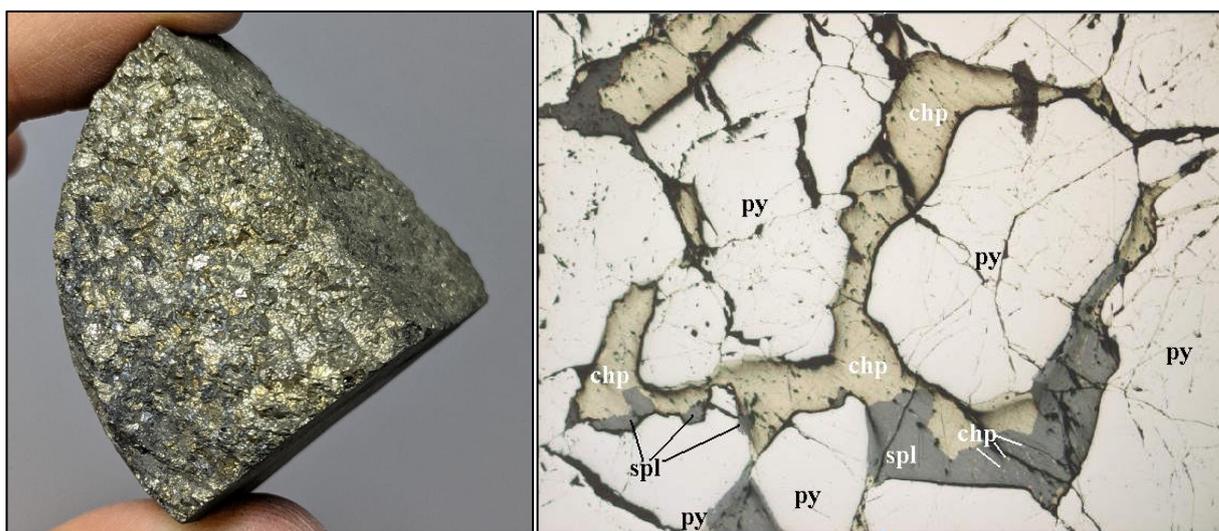


Рисунок 28 – Слева макрообразец сплошной руды, справа – фотография аншлифа 12-3, увеличение 50

Пирит (py) значительно преобладает в составе образца – содержание порядка 90%. Образует сплошные катаклазированные массы с неравномерным распределением халькопирита, сфалерита и нерудного вещества.

Выделения пирита характеризуются средне (0,2-1,0мм), реже крупнозернистыми (более 1,0мм) сильно катаклазированными агрегатами с идиоморфным и гипидиоморфным строением.

К границам и промежуткам межзернового пространства сплошных масс пирита приурочены выделения халькопирита, сфалерита и нерудного, которые, как правило, выполняют роль цемента в пиритном агрегате, проникая по многочисленным трещинкам, корродируя его зёрна. Форма их выделений интерстициальная, прожилковая, структура аллотриоморфнозернистая [13].

Халькопирит (chp) – приблизительное содержание порядка 5%. Минерал является более поздним к пириту, цементирует его, располагаясь в промежутках зерен и агрегатов. Характерными формами выделений халькопирита являются: 1) агрегаты в виде скоплений, гнезд и жилок; 2) неправильные выделения, совместно с нерудными минералами или сфалеритом; 3) тонкие прожилки, развивающиеся по пириту и сфалериту; 4) эмульсиевидная вкрапленность в сфалерите. Скопления и гнезда халькопирита, как правило, сопровождаются сфалеритом.

Сфалерит (spl) составляет не более 1%, преимущественно наблюдается в виде включений и интерстиционных выделений в пирите, участками сливаясь в цементирующие его массы. Встречается как в виде самостоятельных зёрен и гнезд размером от 0,01 до 0,5мм, так и в ассоциации с халькопиритом.

Большая часть сфалерита содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита и его микровключения различных форм и размеров. Сфалерит без микровключений халькопирита встречается редко.

Аншлиф 12-14, глубина отбора 292,9м (Рисунок 29)



Рисунок 29 – Слева макрообразец сплошной руды, справа – фотография аншлифа 12-14, увеличение 500

Пирит преобладает, содержание составляет порядка 70-75%. Общая характеристика выделений пирита аналогична таковым в предыдущем аншлифе. Образует сплошные катаклазированные массы с неравномерным распределением халькопирита, сфалерита, нерудных минералов. Среди аксессуарных отмечен рутил.

Примечательным для данного аншлифа являются взаимоотношения основных рудных минералов меди и цинка – халькопирита и сфалерита.

Содержание минералов в образце примерно на одном уровне – около 7% **сфалерита (spl)** и примерно 4% **халькопирита (chp)**. Самостоятельные выделения минералов крайне редки. Наиболее часто «парочка» наблюдается в виде тесных эмульсиевидных сростаний.

Аншлиф 1-3, глубина отбора 45,2м (Рисунок 30)

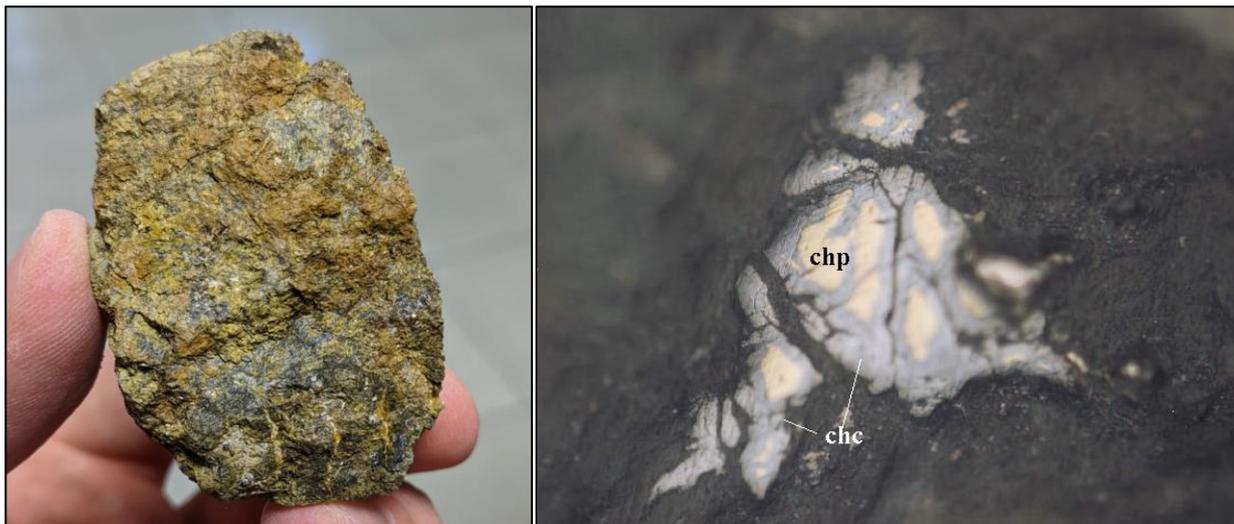


Рисунок 30 – Слева макрообразец окисленной руды («железная шляпа»), справа – фотография аншлифа 1-3, увеличение 200

Образец из зоны окисления. Основную массу составляют безрудные скопления. Среди рудных минералов замечен незначительно преобладающий **пирит** (*py* – около 3%), образующий гнездообразные скопления и отдельную вкрапленность зёрен и их агрегатов идиоморфных и гипидиоморфных очертаний (размером 0,035-0,50мм и 0,5-2,0мм), рассеянных в основной массе, местами замечен в срастании с халькопиритом.

Халькопирит – ориентировочное содержание около 1%. Халькопирит образует мелкие скопления и единичные вкрапления ксеноморфных зёрен размером от 0,015 до 0,25мм в нерудном веществе.

Приблизительно половина всех выделений халькопирита (*chp*) замещается **халькозином** (*chc*). Последний проникает от периферии к центральным частям выделений халькопирита, образуя структуры, подобные коррозионным.

Отмечены реликтовые образования **магнетита** в виде выделений неправильных форм размером от 0,015мм до 0,1мм в нерудном веществе.

Аншлиф 2-4, глубина отбора 54,0м (Рисунок 31)

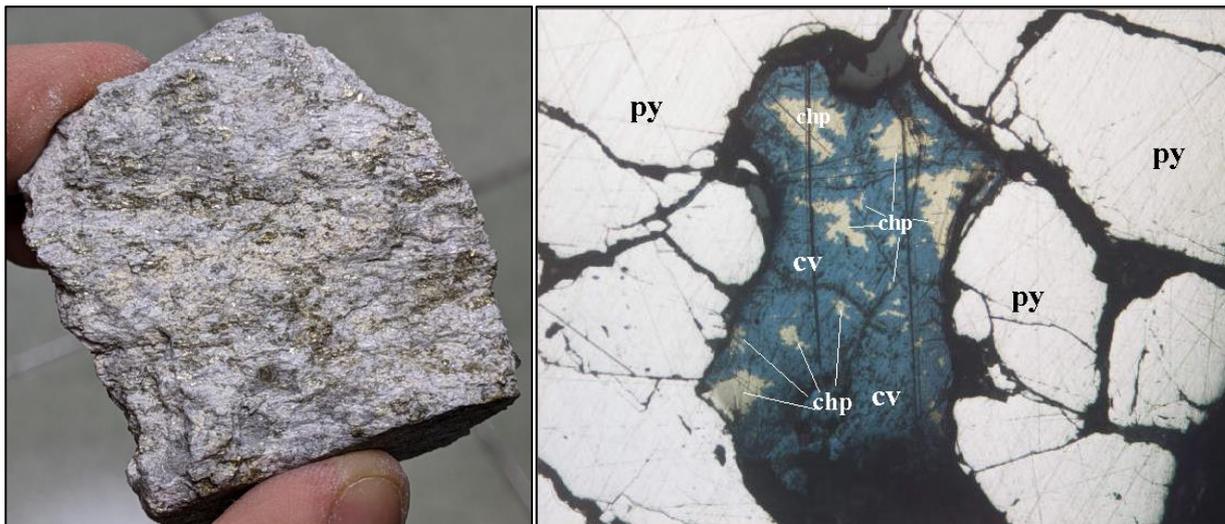


Рисунок 31 – Слева макрообразец окисленной руды (в выветрелом амфиболите), справа – фотография аншлифа 2-4, увеличение 100

Образец из зоны окисления (сильно выветрелый амфиболит из зоны вторичного сульфидного обогащения). Основную массу составляют нерудные минералы.

Пирит (py) составляет порядка 45-50%. Образует полосчатую текстуру в виде параллельно ориентированных прослоек, сложенных мелко- и крупнозернистыми агрегатами слабо удлинённых форм размером от 0,1 до 5,0мм и более. Трещины катаклаза и участки дробления сцементированы нерудным материалом, местами выполнены выделениями ковеллина.

Халькопирит (chp) крайне редок – все его выделения практически полностью замещены вторичным ковеллином.

Ковеллин (cv) образовался в результате метасоматического замещения выделений халькопирита. Его образования имеют вид коррозионных структур, местами содержат остаточные реликты первичного халькопирита. Они приурочены к участкам нерудного вещества, либо выполняют промежутки в агрегатах пирита или рассредоточены в непосредственной близости от его границ. Размерность выделений ковеллина составляет от 0,015 до 0,75мм, по удлинению.

В виде единичных проявлений среди нерудной массы заметны зёрна **сфалерита** неправильной формы размером не более 0,035мм.

Аншлиф 2-8, глубина отбора 78.1м (Рисунок 32)

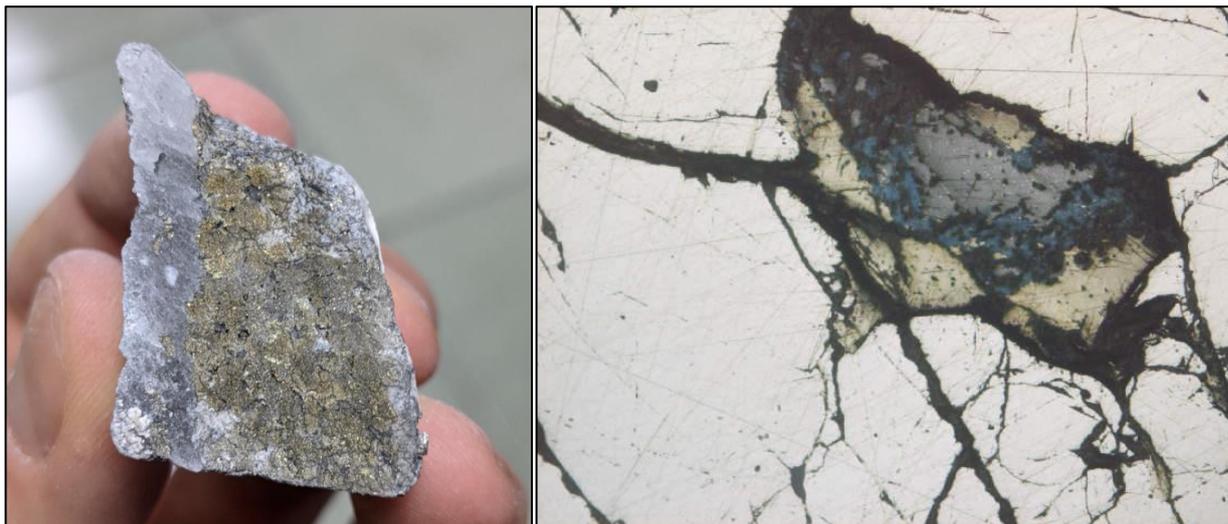
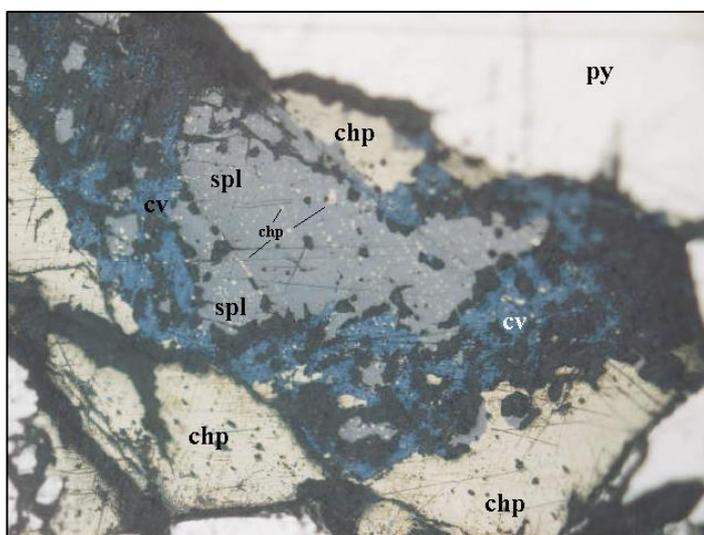


Рисунок 32 – Слева макрообразец сплошной руды (на контакте с гипсовым прожилком), справа – фотография аншлифа 2-8, увеличение 100



Увеличенный участок того же аншлифа, увеличение 200

Основным минералом изученного аншлифа является **пирит (py)**, образующий сплошные мелкозернистые (0,075-1,0мм) массы (агрегаты) с неравномерным распределением в них халькопирита, сфалерита, мелких и крупных зёрен и гнёзд нерудного вещества. Пирит находится в тесных взаимоотношениях со всеми вышеперечисленными минералами.

Массивный серный колчедан катаклазирован и пронизан серией тонких разветвляющихся трещин. Полости трещин, пор и межзерновые пространства часто корродированы и выполнены халькопиритом, сфалеритом и нерудным минералом.

Халькопирит (chp) – порядка 5%) образует ксеноморфнозернистые скопления, в виде мелких и крупных масс (агрегатов) размером от 0,025 до 2,0мм и более, приуроченных к межзерновым пространствам и интерстициям пирита. Также развивается в виде тонких (0,01-0,1мм) и более мощных (до

0,25мм) прожилков по многочисленным трещинкам катаклаза пирита, часто в тесной ассоциации со сфалеритом в виде взаимных срастаний друг с другом цементируя пирит. Значительная часть выделений халькопирита в различной степени подвержена замещению ковеллином, проникающим от границ по трещинкам в глубь халькопирита.

Сфалерит (spl) – содержание примерно около 2%. Практически весь сфалерит переполнен микровключениями халькопирита различных форм и размеров. Сфалерит без микровключений халькопирита встречается редко.

По отдельным выделениям сфалерита, находящегося в ассоциации с халькопиритом развиваются коррозионные структуры замещения их ковеллином [13].

Ковеллин (cv) редок. Замещает выделения халькопирита и сфалерита от периферии, далее по трещинкам и спайности, проникая внутрь. Колебания размерности вторичного ковеллина от тончайших (0,001-0,05мм), до более крупных образований размером до 0,1-0,5мм по удлинению. Они содержат в своей массе многочисленные реликты первичных сульфидов.

6.4 Выводы по разделу

По результатам изучения аншлифов в отраженном свете было установлено, что:

- Рудные зоны месторождения подверглись действию направленного давления, в результате которого отчётливо проявлены признаки катакластических структур, выраженных в виде сильной трещиноватости и раздробленности агрегатов. Наиболее явно последствия такого воздействия можно наблюдать по агрегатам пирита.
- **Пирит** значительно преобладает среди рудных минералов, образует сплошные средне- и крупнозернистые агрегаты часто подверженные катаклазу. Трещины выполняют нерудные минералы, либо халькопирит со сфалеритом.
- Описанные в разделе взаимоотношения халькопирита со сфалеритом основаны на поведении твердых растворов, кристаллизация которых часто сопровождается образованием структур распада. В рудах месторождения Акжал такие структуры проявлены в виде эмульсии халькопирита в сфалерите.
- **Халькопирит** встречается в виде прожилковидных выделений в пирите, часто выполняет промежутки между его зёрнами (цементирует пирит), также образует эмульсионные включения в сфалерите. Местами замещается вторичными медными сульфидами – ковеллином, реже халькозином.
- Около 15% выделений халькопирита заключено в виде эмульсионной вкрапленности в сфалерите, около 5% наблюдается в срастаниях с вторичным ковеллином.
- **Сфалерит** распределяется неравномерно в виде неправильных зёрен с изрезанными контурами (реже в виде прожилков). Местами замечен в срастании с халькопиритом в промежутках пирита.
- В чистом виде сфалерит практически не встречается, чаще всего содержит равномерно распределенные эмульсионные включения халькопирита неправильной, каплевидной, реже прожилковидной формы. Размер включений редко превышает первые микрометры, но местами достигает 10-15 мкм.
- В аншлифах визуально на долю 0,074 мм сфалерита приходится в среднем 5~10% эмульсионных вкраплений халькопирита. Следовательно, полного раскрытия основных рудных минералов меди и цинка при измельчении до класса 0,074 мм добиться невозможно. Это подтверждает результаты технологических испытаний.

На рисунке видно, что большую часть месторождения занимают толщи амфиболитов (зеленый цвет каркаса), внутри которых располагаются все остальные геологические тела. В северо-западной части смоделированного участка отмечается контакт амфиболитов с гранодиоритами Коктюбинского массива (сиреневый цвет каркаса).

Рисунок 34 демонстрирует петрографическую модель без учета амфиболитов.

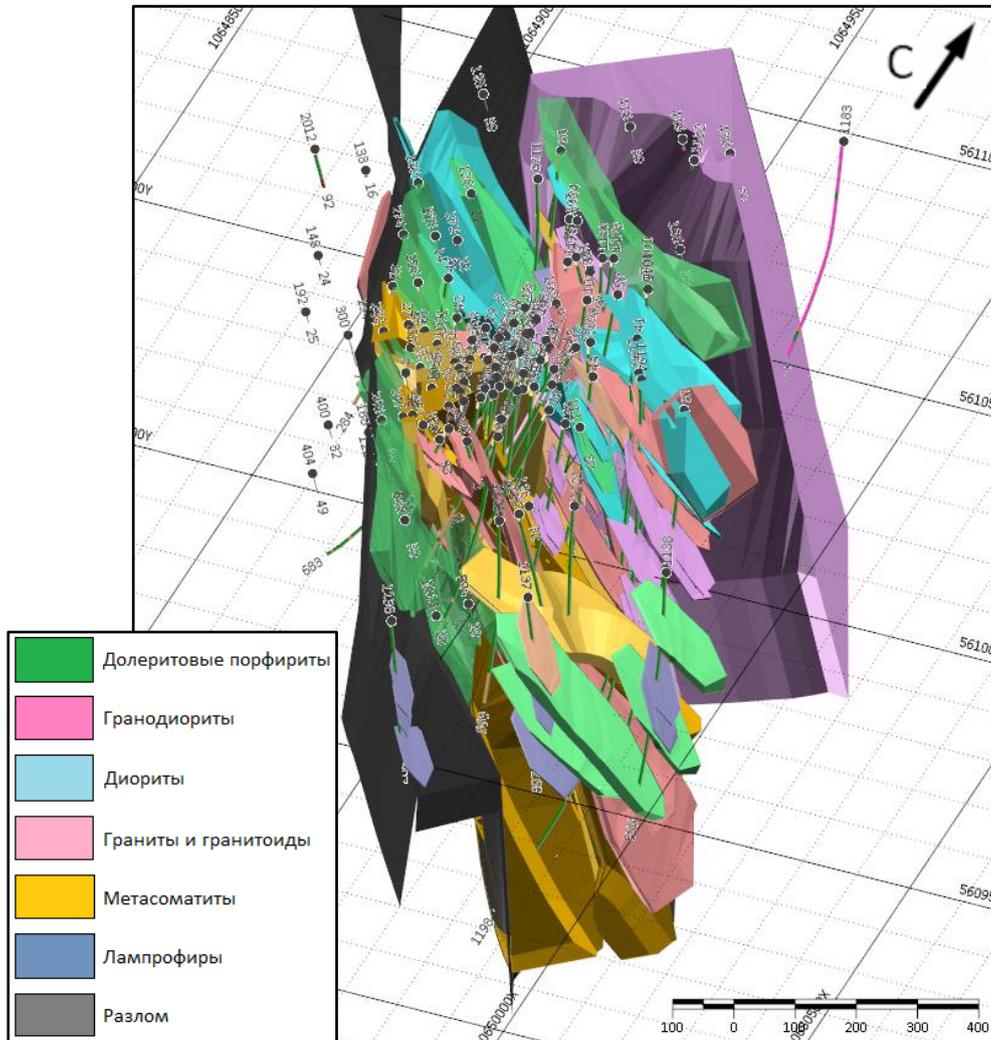


Рисунок 34 – Структурно-петрографическая модель без учета амфиболитов

Более мелкие геологические тела – крутопадающие дайки и линзы сосредоточены в центральной части Восточного участка месторождения с правой стороны от главного разлома. К юго-западу от зоны разлома располагается Западный участок, однако в рамках диссертации он не исследовался.

При моделировании геологических тел особое внимание было уделено метасоматитам, так как они являются рудоконтролирующими образованиями. Сами породы строго контролируются тектоническими зонами, значительно видоизменены нарушениями сдвигового и сбросо-сдвигового типа, что сказалось на трудности их моделирования. Каркасная модель метасоматитовых толщ приведена на Рисунок 35.

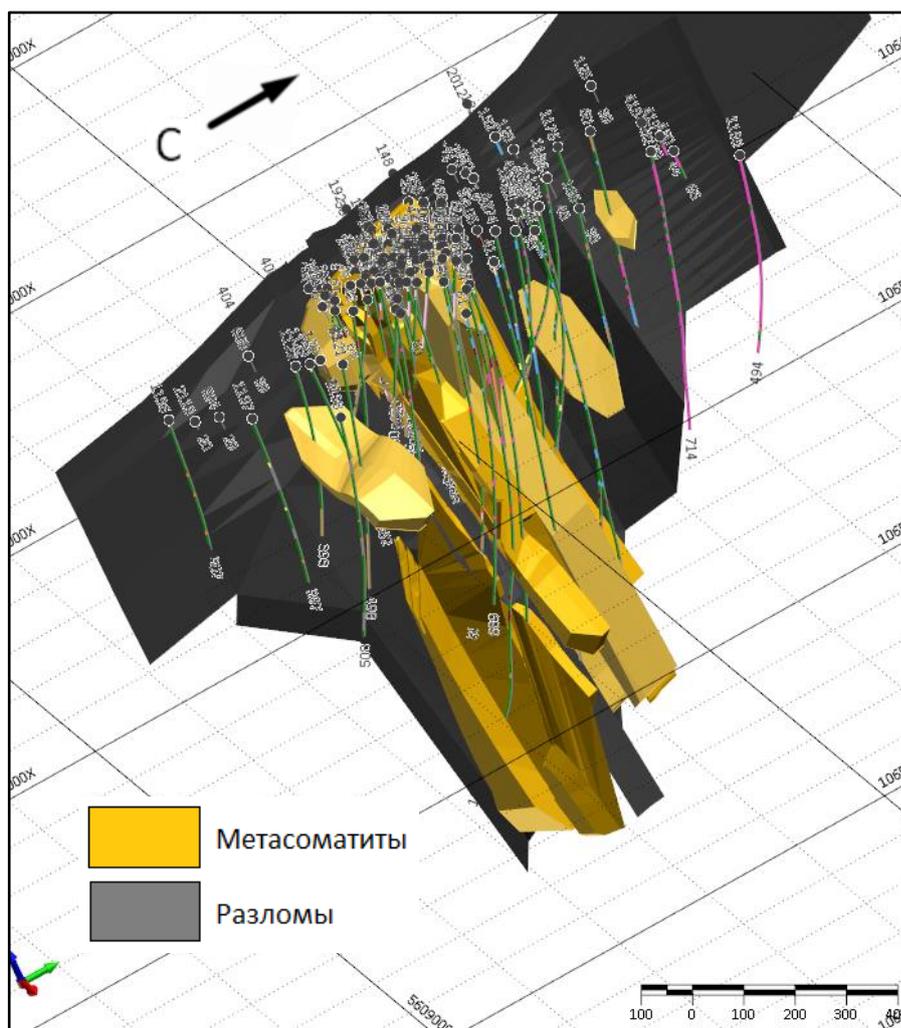


Рисунок 35 – Структурно-петрографическая модель метасоматитов

7.2 Моделирование тектонических нарушений

Согласно описанию, приведенному в подразделе «4.2 Тектоника», тектоническая обстановка в пределах месторождения Акжал характеризуется обилием нарушений мелких и средних порядков, приуроченных к основному глубинному разлому (На Рисунок 36 отмечены коричневым и темно-зеленым цветами). Они часто имеют сдвиговый и сбросо-сдвиговый характер, сильно нарушают рудовмещающие толщи метасоматитов. Главный разлом имеет сложное ветвистое строение и протягивается более чем на 2 км в северо-западном направлении, выходя за пределы участка месторождения.

При моделировании тектонических нарушений использовались:

- исторические и более современные графические материалы (карты, планы горизонтов, геологические разрезы);
- полевая документация: в полевых журналах были выделены предполагаемые зоны разломов, зоны трещиноватости, дробления и рассланцевания;
- данные о геофизических исследованиях, проведенных на объекте ранее.

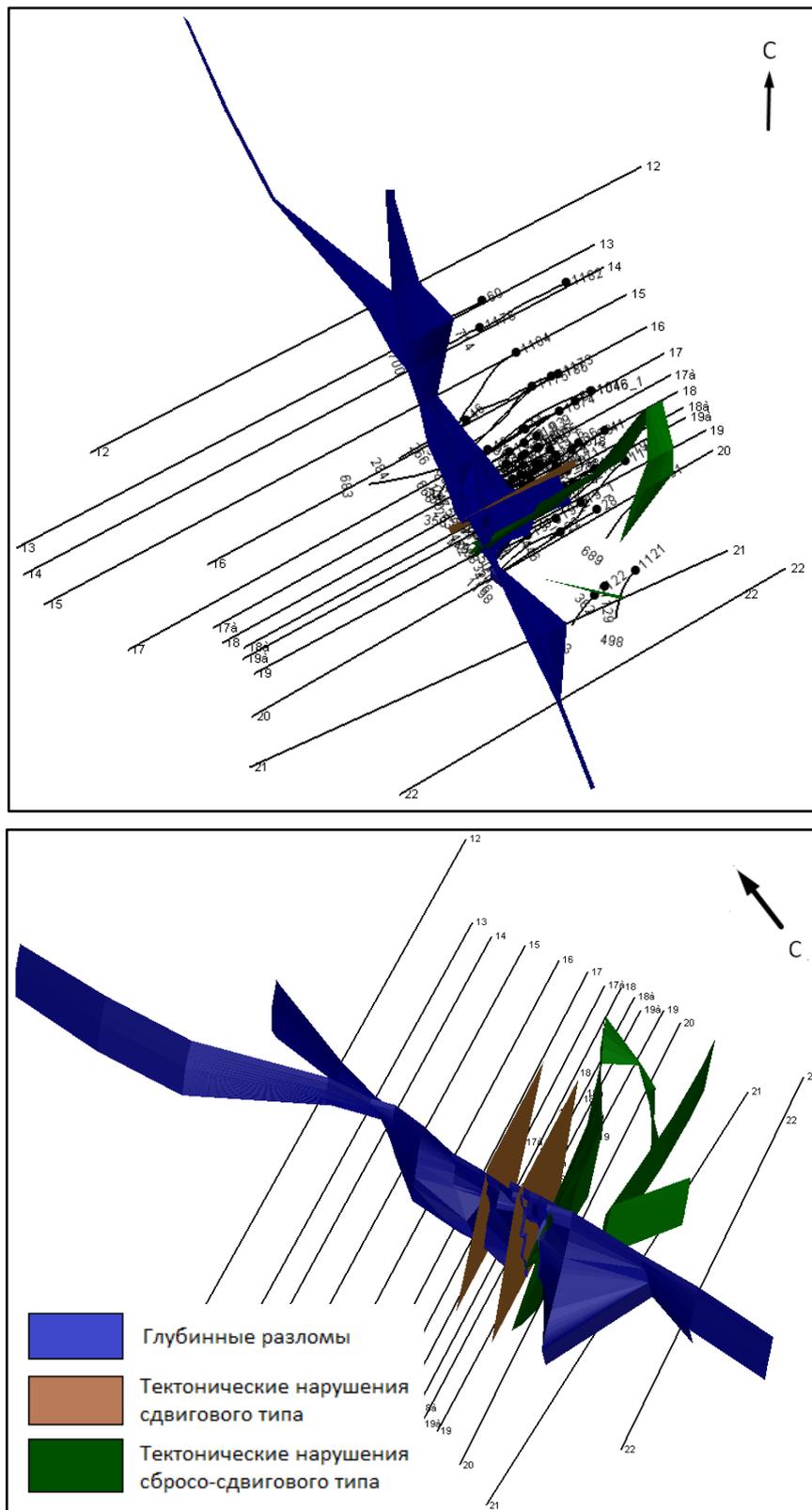


Рисунок 36 – Тектоническая модель месторождения

7.3 Выводы по разделу

- На основе всех полученных материалов и уже имеющихся исторических данных было проведено трехмерное моделирование всех петрографических разностей, включая толщи метасоматитов.
- Отдельно были сформированы трехмерные каркасы разломов, что позволило связать тектонические зоны с рудовмещающими толщами метасоматитов.
- Сформированная структурно-петрографическая модель позволяет быстро ознакомиться с особенностями геологического и тектонического строения месторождения Акжал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе написания магистерской диссертации были изучены основные геологические характеристики медноколчеданного месторождения Акжал уральского типа.

В соответствии с намеченной целью диссертационной работы были выполнены все поставленные для её выполнения задачи:

1. На первом этапе изучения объекта были проведены детальные минералого-петрографические исследования, направленные на уточнение и дополнение данных о вещественном и минералогическом составе вмещающих горных пород месторождения. Результаты изучения шлифов в проходящем свете помогли решить ряд вопросов и позволили скорректировать структурно-петрографическую модель.

2. Второй этап исследований включал минераграфическое изучение образцов руд в отраженном свете. Было установлено, что главные рудные сульфиды подверглись интенсивному тектоническому воздействию, а также находятся в тесных взаимоотношениях. Сульфиды меди и цинка образуют эмульсионные структуры распада твердого раствора, что сказывается на извлекаемости рудных компонентов.

3. На заключительном этапе проводилось формирование базы данных и трехмерное геологическое моделирование всех петрографических типов, а также моделирование тектонических зон.

Итоговая структурно-петрографическая модель месторождения позволяет в кратчайшие сроки визуально ознакомиться с геологическим строением объекта и его особенностями.

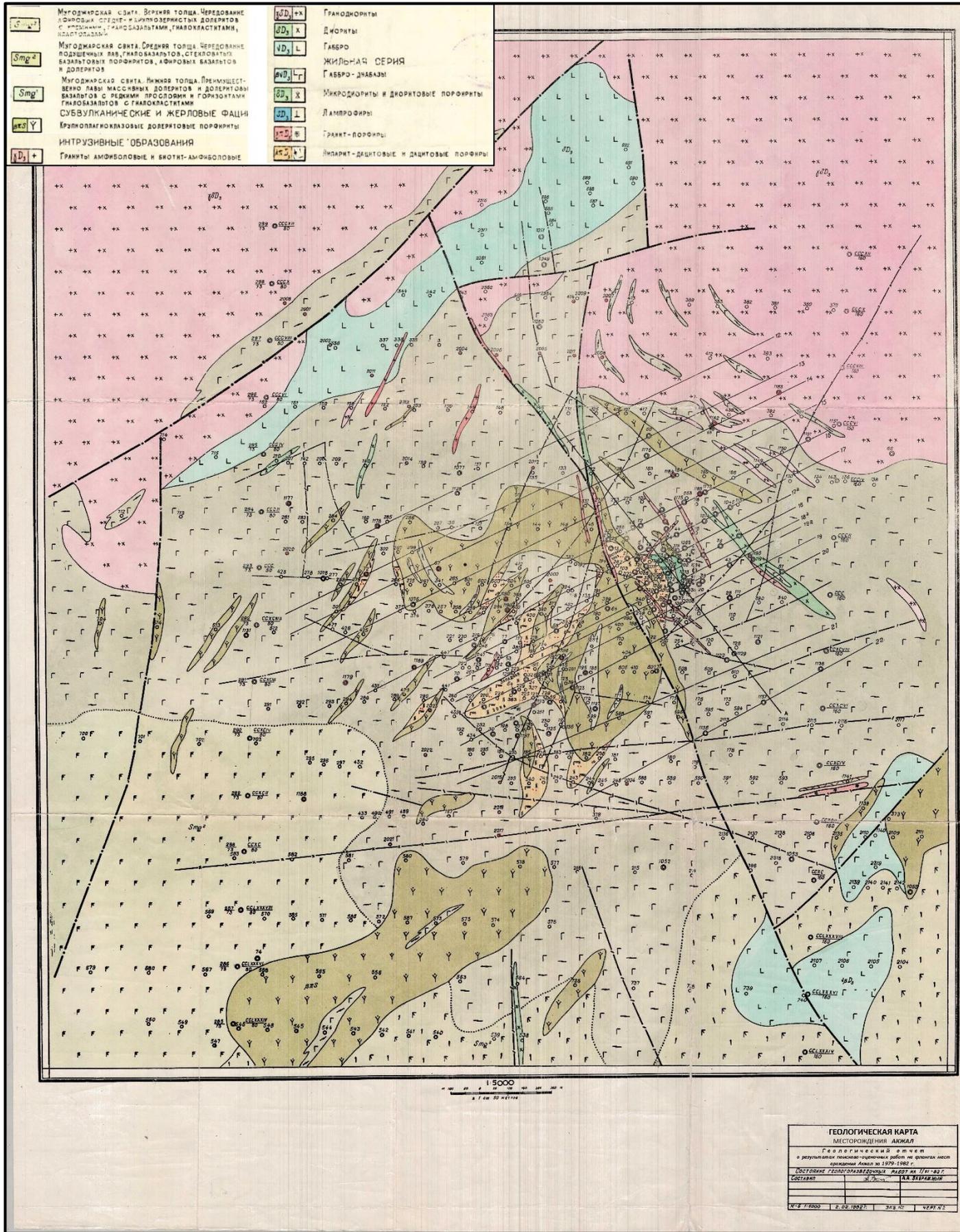
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] «Геологический отчёт о результатах поисково-оценочных работ на рудном поле месторождения Акжал и предварительной разведки Восточного участка» 1974 г.
- [2] «Геологический отчёт о результатах поисково-разведочных работ на флангах месторождения Акжал и его глухих горизонтах за 1979-1982 гг.» Актюбинск, 1982 г.
- [3] Серавкин И.Б., «Проблемы и некоторые результаты изучения колчеданных месторождений Южного Урала», Уфа: Институт геологии УНЦ РАН, 2001 г, с. 19.
- [4] Смирнов В.И., «Геология полезных ископаемых». Москва: "Недра", 1982 г.
- [5] Синяков В.И., «Геолого-промышленные типы рудных месторождений» Недра, Санкт-Петербург, 1994 г.
- [6] Залищак Б.Л., «Определение породообразующих минералов в шлифах и иммерсионных препаратах», Москва: Недра, 1981 г.
- [7] Перчук А.Л., «Основы петрологии магматических и метаморфических процессов», Москва: МГУ, 2015 г.
- [8] Бекботаев А.Т., Бекботаева А.А., «Микроскопия петрогенных минералов», Алматы: КазНТУ, 2015 г.
- [9] Нарвайт Г.Э., «Послемагматическое минералообразование и оруденение Западных Мугоджар», Алма-Ата: Наука, 1971 г.
- [10] «Геологический отчёт о результатах поисково-разведочных работ на медные руды в Свееерной части Средне-Орского района» 1971 г.
- [11] «Исследование и разработка технологии переработки медно-цинковой руды месторождения Акжал» 2020 г.
- [12] Медео Т.Р., «Особенности рудной минерализации медно-колчеданного месторождения Акжал» *Труды Сатпаевских чтений*, т. 1, р. 4, 2021 г.
- [13] Бетехтин А.Г., Текстуры и структуры руд, Москва: Госгеолиздат, 1958 г.
- [14] Стандарт организации. Система менеджмента качества. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала., Алматы: СТ КазНТУ им. К.И.Стапаева, 2017 г.
- [15] Положение о магистерской диссертации (магистерского проекта), Алматы: КазНТУ им. К.И.Сатпаева, 2018 г.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А





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: Медео Т.Р.

Название: Особенности рудной минерализации и вещественного состава вмещающих пород колчеданного месторождения Акжал.docx

Координатор:Алма Бекботаева

Коэффициент подобия 1:0

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:0

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

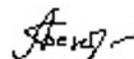
- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности 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:

..... Признаком плагиата не обнаружено. Работа выполнена в соответствии со всеми требованиями

14.06.2021
.....

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: Медео Т.Р.

Название: Особенности рудной минерализации и вещественного состава вмещающих пород колчеданного месторождения Акжал.docx

Координатор: Алма Бекботаева

Коэффициент подобия 1:0

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:0

Интервалы:0

Микропробелы:0

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;

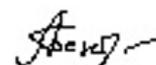
обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;

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:

Магистерская диссертация выполнена на должном уровне. Плагиата в тексте обнаружено не было. Для имеющихся заимствований приводятся ссылки на источник в списке литературы.

14.06.2021



Дата

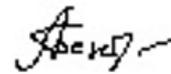
Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Работа выполнена самостоятельно, соответствует стандартам и допускается к защите
.....
.....
.....
.....

14.06.2021
.....
.....



Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТИ

Отзыв
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ
на магистерскую диссертацию
Медео Тимурбека Рустамовича

7M07206 – Геология и разведка месторождений твёрдых полезных
ископаемых

На тему: Особенности рудной минерализации и вещественного состава
вмещающих пород колчеданного месторождения Акжал.

Диссертационная работа магистранта Медео Т.Р. посвящена всестороннему изучению особенностей геологического строения медноколчеданного месторождения Акжал.

Основная цель работы заключалась в построении трехмерной петрографической модели месторождения с учетом результатов, полученных в процессе исследования объекта. Для выполнения поставленной цели, магистрантом были сформулированы следующие задачи:

- 1) Уточнение данных о минералого-петрографическом составе вмещающих пород месторождения Акжал.
- 2) Минераграфическое изучение руд и выяснение взаимоотношений, количественных и качественных характеристик главных рудных минералов.
- 3) Формирование литологической базы данных для дальнейшего моделирования объекта.

Для написания работы были использованы материалы, полученные магистрантом в процессе геологоразведочных работ и дальнейших исследований геологического строения, а также с применением информации, собранной во время прохождения научно-исследовательской практики и научной стажировки.

Магистерская диссертация включает семь основных разделов, в которых подробно расписаны общие особенности месторождения, а также приведены результаты промежуточных исследований, использованных при моделировании. Особое внимание было уделено разделам минералого-петрографических и минераграфических исследований, где автор описывает основные проблемы, возникшие при изучении объекта и приводит их решение.

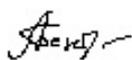
В диссертации наглядно демонстрируется значимость и эффективность применения микроскопических исследований горных пород и рудной минерализации в геологической разведке и геологическом моделировании месторождений полезных ископаемых.

Диссертационная работа выполнена на должном техническом уровне и отвечает всем требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям.

Автор работы показал высокий уровень владения современным программным обеспечением, поляризационным микроскопом и доказал готовность к самостоятельной обработке геологической информации.

Магистерская диссертация рекомендуется публичной защите и заслуживает отличной оценки, а Автор – академической степени магистра технических наук по специальности 7М07206 – «Геология и разведка месторождений твёрдых полезных ископаемых».

Научный руководитель
Зав. Кафедрой ГСП и ПМПИ,
Доктор PhD, ассоц. Профессор



А.А. Бекботаева
(подпись)

«14» июня 2021 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию

Медео Тимурбека Рустамовича

7M07206 – Геология и разведка месторождений твердых полезных
ископаемых

На тему: «Особенности рудной минерализации и вещественного состава вмещающих пород колчеданного месторождения Акжал».

Магистерская диссертация состоит из 7 глав, содержит 56 страниц машинописного текста, список используемой литературы и 36 рисунков.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Магистерская диссертация Медео Тимурбека Рустамовича содержит достаточное количество материала, как в текстовом, так и в графическом виде, необходимого для полного раскрытия темы работы – «Особенности рудной минерализации и вещественного состава вмещающих пород колчеданного месторождения Акжал».

В работе отражены результаты изучения геологического строения медноколчеданного месторождения Акжал.

Диссертационная работа Медео Т.Р. грамотно структурирована, имеет четкую логическую последовательность. В геологической части автор подробно описал о генезисе и основных особенностях строения месторождения, а также обозначил основные проблемы, возникшие при изучении объекта. Решению таковых проблем посвящены соответствующие разделы работы.

Магистрант самостоятельно произвел трехмерное моделирование литологии в программном обеспечении Micromine.

Основные результаты исследований отражены в опубликованной работе соискателя. Фактов недобросовестности соискателя нет, диссертация написана магистрантом самостоятельно.

Всё сказанное позволяет считать рассмотренную магистерскую диссертацию, написанную на базе большого фактического материала, вполне соответствующей требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, а самого автора работы достойным искомой степени.

Оценка работы

В целом магистерская диссертация написана грамотно, на профессиональном уровне, четко структурирована на разделы, каждый из которых подробно описан. Работа освещает все необходимые изучаемые геологические аспекты и отвечает всем имеющимся требованиям.

Автор показал свою готовность к самостоятельному анализу и интерпретации геологической информации, показал уровень владения поляризационным микроскопом и продемонстрировал навыки работы с наиболее современным программным обеспечением по трехмерному геологическому моделированию.

Всё вышесказанное позволяет оценить данную диссертационную на «отлично».

Рецензент

PhD доктор, старший научный сотрудник
ТОО «Институт геологических наук
им. К.И. Сатпаева»



Д.О. Даутбеков

«ЖАШЫ БӨЛІМІ» 2021 г.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Медео Тимурбек Рустамович

Магистранта, обучающегося по образовательной программе «Геология и разведка месторождений твердых полезных ископаемых»
кафедры «Геологическая съемка, поиск и разведка месторождений полезных ископаемых»
Института «Геологии, нефти и горного 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	Особенности рудной минерализации медно-колчеданного месторождения Акжал	Статья	Сатпаевские чтения - 2021. - 1 (ISBN 978-601-323-209-6). - Алматы: Satbayev University. - С. 3-7.	4 страницы	Научный руководитель – заведующая кафедрой ГСП и РМПИ, ассоциированный профессор, доктор PhD А.А. Бекботаева

«30» апреля 2021 года

Автор

Медео Т.Р.

Заверяю:

Научный руководитель

Бекботаева А.А.

Заведующий кафедрой ГСПиРМПИ

Бекботаева А.А.



КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И. САТПАЕВА

САТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТИ



SATBAYEV
UNIVERSITY

СЕРТИФИКАТ

«САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2021»

Секция: «Повышение геологической изученности территории и восполнение минерально-сырьевого комплекса Республики Казахстан»

Авторы: МЕДЕО Т.Р., БЕКБОТАЕВА А.А.

Тема: Особенности рудной минерализации медно-колчеданного месторождения Акжал

Директор института ГНиГД

К.Б. Рысбеков