

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела геологии и геотехнологии
институт
Геологии минералогии и петрографии
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.И. Леонтьев

подпись

« 22 » 06 2017г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.02 «Прикладная геология»

21.05.02.04 «Прикладная геохимия, петрология, минералогия»

Петрография вмещающих пород и вещественный состав руд Удерейского
золото-сурьмяного месторождения

Научный
руководитель


подпись, дата

Профессор кафедры ГМиП,
д-р геол.-минерал. наук

А.М. Сазонов

Выпускник


подпись, дата

Е.Р. Бутько

Рецензент


подпись, дата

Ведущий геолог ООО
«ПБК»

А.А. Гулякова

Консультант:

Геохимическая
характеристика руд
наименование раздела


подпись, дата

С.И. Леонтьев

Нормоконтролер


подпись, дата

Т.В. Полева

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела геологии и геотехнологии
институт
Геологии минералогии и петрографии
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

 С.И. Леонтьев
подпись

« 22 » _____ 2017г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме дипломной работы**

Студенту: Бутько Екатерине Рашидовне.

Группа: МГП 12-05. Направление (специальность): 21.05.04 «Прикладная геохимии, петрология, минералогии».

Тема выпускной квалификационной работы: «Петрография вмещающих пород и вещественный состав руд Удере́йского золото-сурьмяного месторождения».

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

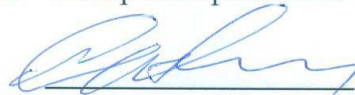
Руководитель ВКР: профессор кафедры ГМиП, д-р г-м.н. А.М. Сазонов

Исходные данные для ВКР: коллекция каменного материала, шлифов и аншлифов; база данных со спектральным анализом проб; фондовая и опубликованная научная литература.

Перечень разделов ВКР: геологическая характеристика Партизанского рудного узла и Удере́йского месторождения; фактический материал и методы исследования; петрография и минералогия пород и руд Удере́йского месторождения; стадийность минералообразования; геохимическая характеристика руд; генезис месторождения.

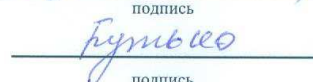
Перечень графического материала: обзорная геологическая карта района Удере́йского золото-сурьмяного месторождения; схематическая геологическая карта рудного поля Удере́йского золото-сурьмяного месторождения; геологический план Центрального участка Удере́йского золото-сурьмяного месторождения и геологические разрезы по разведочным линиям RL-7.5, RL-8.5; схема последовательности минералообразования руд Удере́йского месторождения.

Руководитель ВКР



А.М. Сазонов

Задание принял к исполнению



Е.Р. Бутько

« _____ » _____ 2017 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения ВКР

Наименование и содержание этапа (раздела)	Сроки выполнения	Выполнил	Проверил
Геологическая характеристика района и месторождения	23.01-23.02.2017	Бутыко	
Методы исследования	23.02-03.05.2017	Бутыко	
Петрография и минералогия пород и руд Удере́йского месторождения	23.02-20.04.2017	Бутыко	
Стадийность минералообразования	20.04-05.06.2017	Бутыко	
Генезис месторождения	01.05-10.06.2017	Бутыко	
Графические приложения	05.06-10.06.2017	Бутыко	

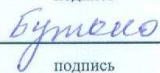
« ____ » _____ 2017г.

Руководитель ВКР



А.М. Сазонов

Задание принял к исполнению



Е.Р. Бутыко

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Петрография вмещающих пород и вещественный состав руд Удере́йского золото-сурьмяного месторождения» состоит из введения, шести глав и заключения общим объемом 80 страниц. В ней содержится 16 рисунков, 12 таблиц и 4 графических приложения. Список литературы включает 23 наименований.

УДЕРЕ́ЙСКОЕ МЕСТОРОЖДЕ́НИЕ, МИНЕРАЛОГИ́Я РУД, ПЕТРОГРАФИ́Я, ЗОЛОТО, СУРЬМА, АРСЕНОПИРИТ, ПИРИТ, АНТИМОНИТ, МИНЕРАЛООБРАЗОВА́НИЕ, ГЕНЕЗИ́С.


Целью дипломной работы являлось проведение петрографических и минералогических исследований вмещающих пород и руд Удере́йского золото-сурьмяного месторождения. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ научно-методической литературы, научных наблюдений;
- проведение минералого-петрографических исследований;
- проведение аналитических работ (точечное определение химического состава сульфидов методом микрорентгеноспектрального анализа; определение элементов-примесей в сульфидах с использованием ICP-MS; рентгеноструктурное и Мёссбауэровское исследование кристаллохимии арсенопирита; термобарогеохимические опыты по изучению флюидных включений в жильном кварце месторождения исследовательских работ и обработка их результатов);
- проведение геохимической характеристики руд.

По результатам работы установлены этапы минералообразования (седиментогенный, метаморфогенно-метасоматический, гидротермальный, который образует 5 стадий минералообразования: золото-арсенопиритовая, полиметаллически-сульфидная, кварцево-жильная, бертьерит-антимонитовая, милонитизации антимонитовых руд) на Удере́йском месторождении с подробным описанием парагенетических ассоциаций. Определены РТХ-параметры минералообразования на месторождении. Обобщена информация об условиях образования месторождения и сделаны выводы о возрасте Удере́йского золото-сурьмяного месторождения.

Министерство образования и науки РФ
*Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»
Институт горного дела, геологии и геотехнологии*

Кафедра ГМиП
Раздел плана: тематические работы
Полезное ископаемое: рудное золото
Наименование объекта: Енисейские кряж
Местонахождение объекта: Красноярский край

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ГМиП
 С.И.Леонтьев
«__» _____ 2017 г.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

На проведение научно-исследовательской работы по теме «Петрография вмещающих пород и вещественный состав руд Удере́йского золото-сурьмяного месторождения».

Основание выдачи геологического задания:

приказ по университету № _____ от _____ об утверждении тем дипломных работ.

1. Целевое назначение работ, пространственные границы объекта:
Проведение петрографических и минералогических исследований вмещающих пород и руд Удере́йского золото-сурьмяного месторождения.

2. Геологические задачи, последовательность и основные методы их решения:

2.1. Создание коллекции пород и руд месторождений, анализ минеральных ассоциаций и комплексов руд (петрографические и минералогические исследования);

2.2. Установление РТХ-параметров рудообразования на месторождении;

2.3. Комплексный анализ сульфидных минералов с применением современных прецизионных методик;

2.4. Изучить и обобщить литературные данные предшественников по изучению геологии, минералогии и петрографии месторождения;

2.5. Формирование парагенетической схемы минералообразования;

2.6. Предположить возраст образования Удере́йского месторождения.

3. Ожидаемые результаты:

3.1. Определить РТХ-параметры минералообразования на месторождении;

3.2. Разработать парагенетическую схему минералообразования;

3.3. Сделать вывод о возрасте месторождения.

Руководитель ВКР


подпись

А.М. Сазонов

Задание принял к исполнению


подпись

Е.Р. Бутко

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1.Геологическая характеристика Партизанского рудного узла и Удере́йского месторождения	10
<i>1.1.Краткая геологическая характеристика района</i>	10
1.1.1.Стратиграфия	10
1.1.2.Магматизм.....	12
1.1.3.Тектоника	12
1.1.4.Полезные ископаемые	14
<i>1.2.Геологическое строение месторождения</i>	14
1.2.1.Краткая характеристика участков Удере́йского месторождения.....	16
1.2.2.Особенности рудоносности Центрального участка.....	18
2. Фактический материал и методы исследования	21
<i>2.1.Характеристика коллекции пород и руд для лабораторных исследований</i>	21
<i>2.2. Методы исследования</i>	22
3.Петрография и минералогия пород и руд месторождения.	22
<i>3.1. Петрография</i>	22
3.1.1. Петрография неизмененных пород.....	24
3.1.2. Петрография пород минерализованной зоны	25
3.1.3. Петрография рудных метасоматитов	33
<i>3.2.Минералогия руд</i>	41
3.2.1. Нерудные минералы	41
3.2.2. Рудные минералы	44
3.2.3 Прецизионные исследования рудных минералов.....	48
4.Стадийность минералообразования	64
5.Геохимическая характеристика руд	69
6.Генезис месторождения	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	78
<i>1. Фондовая литература</i>	78
<i>2.Опубликованная литература</i>	78
ГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ	

Приложение А - Обзорная геологическая карта района Удерейского золото-сурьмяного месторождения

Приложение Б - Схематическая геологическая карта рудного поля Удерейского золото-сурьмяного месторождения

Приложение В - Геологический план Центрального участка Удерейского золото-сурьмяного месторождения и геологические разрезы по разведочным линиям RL-7.5, RL-8.5

Приложение Г - Схема последовательности минералообразования руд Удерейского месторождения

ВВЕДЕНИЕ

На территории Красноярского края сосредоточено 12 % российских запасов золота (более 1600 т). Прогнозные ресурсы категории P_1 края превышают 400 т золота. Основная часть запасов и ресурсов сосредоточена в металлогенических зонах Енисейского кряжа на севере Саяно-Енисейской металлогенической провинции. Также особый интерес представляет сурьмяная минерализация, проявленная на некоторых золоторудных месторождениях района. Различна лишь степень ее проявления – от секущих жил и небольших тел метасоматитов с антимонитом (Олимпиадинское, Ведугинское) до золото-сурьмяных (Удере́йское) и собственно сурьмяных (Раздольнинское) месторождений. Проблема ее генезиса на этих месторождениях остается нерешенной. Все это указывает на необходимость детальных исследований золоторудных месторождений Енисейской провинции.

Удере́йское месторождения является одним из немногих, где наряду с ранней золото-арсенопиритовой минерализацией, широко проявлена поздняя – сурьмяная. Изучение геологии Удере́йского месторождения позволит глубже подойти к решению вопроса о взаимосвязи золотой и сурьмяной минерализации на месторождениях кряжа.

Целью дипломной работы являлось проведение петрографических и минералогических исследований вмещающих пород и руд Удере́йского золото-сурьмяного месторождения. Сбор фактического материала проводился на второй производственной и преддипломной практиках, пройденных в ООО «Производственно-Буровой компании» в городе Красноярск. При написании дипломной работы был использован графический материал, составленный по ранее проведенным работам: обзорная геологическая карта района (масштаб 1:200 000); схематическая геологическая карта рудного поля Удере́йского золото-сурьмяного месторождения (масштаб 1:5000); геологический план Центрального участка (масштаб 1:1000); геологические разрезы по разведочным линиям (масштаб 1:1000). Также ООО «ПБК» предоставили для изучения каменный материал и шлифы.

Для достижение поставленной цели решались следующие задачи:

- создание коллекции пород и руд месторождений;
- анализ минеральных ассоциаций и комплексов руд;
- комплексный анализ сульфидных минералов с применением современных прецизионных методик;
- разработка парагенетической схемы минералообразования;
- выделение этапов формирования месторождения.

Для решение поставленных задач было изучено визуально и под бинокулярным микроскопом 32 образца пород и руд, под микроскопом CarlZeissAxioskop 40Apo1 53 шлифа и 15 аншлифов. Микрорентгеноспектральным анализом изучен химический состав четырех образцов арсенопирита. Элементы-примеси в арсенопирите, пирите и антимоните определены всего в девяти образцах. Проведено мессбауэровское

изучение микроструктуры арсенопирита, термобарогеохимическое исследование жильных минералов. Исследован химический состав газовой фазы включений.

В первой главе рассмотрены геологическое строение района и рудного поля месторождения и закономерности размещения золотого оруденения на основе материалов геолого-съёмочных работ последних лет, данных предшественников. Во второй главе отражаются все проведенные исследовательские работы с главными минералами руд Удерейского месторождения. Третья глава посвящена описанию природных типов руд в пределах минерализованной зоны и рудных тел, их текстурно-структурных особенностей; детально рассмотрен вещественный состав руд; приведены результаты аналитических работ по изучению типоморфных особенностей главных минералов руд. В четвертой главе отражается описание каждого этапа и стадии парагенитической схемы последовательности минералообразования руд. Пятая глава посвящается геохимической характеристике руд по имеющимся данным. В шестой главе приведены обобщения по условиям образования Удерейского месторождения и результаты сопоставления изотопного датирования.

Автор благодарен своему научному руководителю Анатолию Максимовичу Сазонову, под чьим руководством сформулированы задачи исследования, организованы и выполнены экспериментальные работы, проведено обсуждение результатов и выводов. Автор признателен заведующему кафедрой ГМиП ИГДГиГ СФУ Леонтьеву С.И. за руководство в написании раздела «Геохимическая характеристика пород и руд».

Автор выражает свою признательность специалистам ИГМ СО РАН, г. Новосибирск: В.Н. Королюкуза помощь при выполнении микрорентгеноспектрального анализа; А.А. Томиленко, Н.А. Гибшер, М.А. Рябухе за помощь и полезные рекомендации при изучении флюидных включений. Автор благодарен сотрудникам ЦКП «Центр геохимии природных систем» ТГУ, г. Томск П.А. Тишину, Е.В. Корбовяку и другим за помощь в выполнении аналитических работ и представлении возможности проведения экспериментов в лабораториях ЦКП. Сотрудникам ИФ СО РАН, г. Красноярск О.А. Баюкову, Ю.В. Князеву за проведение Мёссбауэровского исследования арсенопиритов. Автор признателен С.Д. Кирику (СФУ, г. Красноярск) за выполнение поликристалльного рентгеноструктурного анализа.

1. Геологическая характеристика Партизанского рудного узла и Удерейского месторождения

1.1. Краткая геологическая характеристика района

Стратиграфическая схема расчленения представлена в приложение А, которая соответствует легенде Государственной геологической карте масштаба 1:200 000 (Енисейская серия) в настоящей работе была за принята основу, в которую предшественниками были внесены изменения и дополнения по результатам работ [1.1]. В геологическом строении Партизанского рудного узла принимают участие отложения нижнего протерозоя, нижнего и среднего рифея, нижнего и среднего палеогена, голоцена.

1.1.1. Стратиграфия

Нижний протерозой

Отложения *пенчегинской свиты* (PR_{1pn}) картируются в ядре Татарского куполовидного поднятия и концентрически окаймляют выходы Татарской интрузии. Свита, сложена кристаллическим сланцем с амфиболом, кальцитом, гранатом, дистеном и графитом. Также присутствуют прослои графитистых и слюдяных мраморов, слюдяных кварцитов, амфиболом. Мощность свиты составляет 1600-2100 м.

Нижний рифей

Кординская свита (RF_{1kd}). Свита, распространена в западной части района, вокруг магматических отложений. По литологическим характеристикам выделяют три подсвиты. *Нижняя подсвита* (R_{1kd_1}) сложена зеленоцветными углеродосодержащими филлитами кварц-серицитового, хлорит-биотит-кварцевого состава. Мощность подсвиты достигает 2000 м. *Средняя подсвита* (R_{1kd_2}), представлена сероцветными филлитами хлорит-серицитового, кварц-серицитового состава, кварцитами, линзами доломитов и известняков. Мощность подсвиты 750-1000 м. *Верхняя подсвита* (R_{1kd_3}), сложена серо-, зеленоцветными сланцами серицит-кварцевого состава, полосатыми филлитами, прослоями кварцитовидных песчаников. Мощность 600-800 м. В ослабленных зонах породы свиты вмещают золото-кварцевое оруденение.

Средний рифей

Горбилочская свита (R_{2gr}). Отложения свиты, развиты в пределах Мамонского рудного поля в восточной части района (см. прил. А). Характерным ее отличием является зеленоватый цвет или оттенок от выше- и нижележащих пород. По литологическим признакам в составе свиты выделяются две пачки. *Нижняя пачка* (R_{2gr}^I) представлена полосчатыми

зеленовато-серыми кварц-серицитовыми сланцами и кварц-хлорит-серицитовыми, иногда содержащими вкрапленность магнетита. *Верхняя пачка* (R_{2gr}^2) сложена, в основном, грубослоистыми алеврито-глинистыми сланцами, алевролитами с прослоями кварц-хлорит-серицитовых сланцев. Суммарная мощность свиты достигает 770-800 м.

Удере́йская свита (R_{2ud}). Отложения свиты слагают рудное поле Удере́йского месторождения и всю центральную часть района. В пределах рудного поля удере́йская свита разделяется на три подсвиты. *Нижнеудере́йская подсвита* (R_{2ud_1}) в пределах месторождения сложена однообразной толщиной переслаивающихся светло-серых, серых, темно-серых пунктирно-слоистых и слоистых кварц-серицитовых и карбонат-серицитовых сланцев. Мощность подсвиты достигает 800 м.

Среднеудере́йская подсвита (R_{2ud_2}) по литологическому составу подразделяется на три пачки, так как в пределах рудного поля развита наиболее широко. *Пачка 1* ($R_{2ud_2^1}$) представлена зеленовато-серыми кварц-хлорит-карбонатными, серицит-хлоритовыми, серицит-кварцевыми сланцами с отчетливой тонкой слоистостью, обусловленной наличием слоев преимущественно кварцевого или серицитового составов. Под микроскопом порода состоит из тонких чешуек серицита, хлорита, на фоне которых наблюдаются мелкие зерна кварца (0,1-0,3 мм) и карбоната (0,05-0,1 м). Мощность пачки порядка 220-240 м. *Пачка 2* ($R_{2ud_2^2}$) сложена зеленовато-серыми и темно-серыми кварц-хлорит-серицитовыми и кварц-серицитовыми сланцами преимущественно неяснослоистыми или неслоистыми. *Пачка 3* ($R_{2ud_2^3}$) представлена зеленовато-серыми или желтовато-серыми кварц-серицит-хлоритовыми алевросланцами, часто известковистыми. Мощность пачки около 100-120 м.

Верхнеудере́йская подсвита (R_{2ud_3}) представлена однообразной толщиной темно-серых до черных глинистых филлитизированных сланцев с редкими алеврито-глинистыми нитевидными прослоями. В основании подсвиты выделяется характерный горизонт известковистых глинистых сланцев желтовато-бурой или зеленовато-серой окраски с обильной точечной вкрапленностью охр бурого цвета. Мощность подсвиты достигает 350-400 м.

Отложения среднего рифея смяты в пологие складки, осложняющие, в свою очередь, Васильевскую синклинали.

Нижний-средний палеоген

В западной части района незначительным распространением пользуются отложения герфедской и мурожнинской свит.

Герфедская свита (Pg_2gr) представлена каолиновыми глинами с прослоями песков, с горизонтами рыхлых или каменистых бокситов. Мощность свиты 150-200 м.

Мурожнинская свита (Pg_{1-2mr}) объединяет болотные и озерные отложения, состоящие из глин пестроцветных, каолиновых, иногда с горизонтами бокситов. Мощность свиты порядка 60-100 м.

Голоцен

Повсеместно развиты современные отложения в долинах рек и ручьев на всей площади района. Отложения представлены гравийно-галечниковыми, аллювиальными песчаными, валунными образованиями, как правило, золотоносными.

1.1.2. Магматизм

Интрузивные породы в пределах рудного поля Удерейского месторождения отсутствуют. Ближайшие их выходы на поверхность расположены в 8-15 км западнее, где они представлены амфиболитами, ортоамфиболитами индыглинского комплекса и гранитами, гранодиоритами татарско-аяхтинского комплекса.

Раннерифейские субвулканические и позднерифейские интрузивные образования

Индыглинский комплекс слагает субвулканические образования *метагаббро-долеритового состава ($\nu\beta RF_{in}$)*, которые образуют штоки, силлы, протяженные дайкообразные тела с шириной выходов до 400 м. Габброиды представляют собой серовато-зеленые или темно-зеленые средне- и крупнозернистые породы. Состоят из цоизита, плагиоклаза, актинолита, эпидота, хлорита. Отмечаются реликты трех минералов: ильменита, сфена, пироксена. Иногда породы с примесью мусковита, кварца, биотита, кальцита.

Татарско-аяхтинский гранитовый комплекс ($\gamma\text{-}\gamma\delta RF_{zt}$) разделяется на три фазы. К первой фазе относится внедрение среднезернистых кварцевых диоритов, гранодиоритов и диоритов. Во вторую главную фазу произошло становление крупнозернистых биотитовых, биотит-амфиболовых гранитов и гранодиоритов. В заключительную фазу сформировались штоки и дайки мелкозернистых гранитов, лейкогранитов, аплитов и пегматитов.

1.1.3. Тектоника

Район месторождения расположен в зоне сочленения Центрального антиклинория и Ангаро-Питского синклинория. Для Партизанского рудного узла характерно развитие крупных, несколько вытянутых брахиформных складок, выделяемых под названием Удерейско-Пенченгинское поле брахиформных складок, широким распространением пользуются дизъюнктивные нарушения типа сбросов, имеющих, отчасти, региональный

характер. Основная ориентировка как складчатых структур, так и разрывных нарушений северо-восточная.

Южный структурный элемент Центрального антиклинория Татарское куполовидное поднятие занимает всю западную часть района. Ядерная часть его сложена гранитоидами татарско-аяхтинского комплекса, а породы тейской и сухопитской серий концентрически располагаются вокруг этого ядра. Согласно залегание гранитоидов в складчатых формах обрамления свидетельствует об одновременном проявлении кислого магматизма и складкообразования. С востока Татарское куполовидное поднятие отделено от Удере́йско-Пенченгинского поля брахиформных складок Верхне-Удере́йским сбросом, на юге оно по системе мелких сбросов примыкает к Верхне-Мурожнинской антиклинальной структуре. Удере́йско-Пенченгинское поле брахиформных складок охватывает центральную и восточную части района. Рудное поле Удере́йского месторождения приурочено к ядерной части Васильевской синклинали.

Васильевская синклиналь вытянута в северо-восточном направлении на 16 км от верховьев р. Шалакон до верховьев р. Мамон. Крылья ее сложены породами горбилкокской свиты, ядро – образованиями ниже- и среднеудере́йской подсвит. Северо-западное крыло выдержанное, падает под углами 50-60° на юго-восток. Юго-восточное крыло осложнено дополнительной складчатостью или срезается тектоническими нарушениями. Ядро интенсивно смято в складки разных порядков вплоть до гофрировки. Шарнир синклинали ундулирующий. К местам максимального погружения шарнира складки приурочены Северо-Восточный, Центральный и Юго-Западный рудоносные участки Удере́йского месторождения.

Пространственно с ядерной частью синклинали совпадают зоны повышенной трещиноватости и рассланцевания, которые также имеют северо-восточное простирание. Наиболее четко рассланцевание выражено в верховьях р. Шалакона и его притоков – ручьям Васильевский и Степановский, а также на р. Удере́й с его притоками – руч. Безымянный, Рудный и постепенно затухает в сторону верховьев р. Мамон. Возникла эта система, по-видимому, сначала как система трещин вязкого скола, позднее, при формировании Верхне-Мурожнинской зоны взбросов была подновлена. Установленная ширина зоны составляет в среднем 300 м, длина по простиранию до 8 км. Дешифрированием аэрофотоснимков установлено, что ширина ее не менее 5-6 км и объединяет она рудные поля месторождений: Урал, Васильевское и Удере́йское. Нарушения и зоны дробления этой системы вскрыты горными выработками на Северо-Восточном и Центральном участках Удере́йского месторождения. Представлены они сильно трещиноватыми сланцами или глиной серого цвета с многочисленными обломками сланцев, кварца.

Все кварцевые жилы Урало-Васильевского рудного поля, в т.ч. несущие сурьмяное оруденение, имеют в его пределах северо-восточное простирание и северо-западное падение. Отчетливый тектонический контроль сурьмяного оруденения выражен зонами рас-сланцевания и повышенной трещиноватости.

Шаарганская и Мамонская синклинали расположены в восточной части района, имеют северо-западное простирание и сложены в своих ядерных частях сланцами удерейской свиты, на крыльях – отложениями горбилкокской свиты.

Верхне-Мурожнинская горст-антиклинальная структура охватывает южную и юго-западную части района и представлена чередованием горстообразных выступов, сложенных породами кординской свиты с грабенсинклинальными понижениями, выполненными сланцами горбилкокской свиты.

1.1.4.Полезные ископаемые

Главными полезным компонентами золото-сурьмяных руд Удерейского месторождения, представляющих промышленную ценность, являются сурьма, выступающая в качестве основного компонента этого природного типа руд, и золото, являющееся попутным компонентом. Вредной примесью руд является мышьяк. Каких-либо закономерностей распределения золота, сурьмы и мышьяка в пространстве не отмечается.

Основные запасы золото-сурьмяных и золотых руд сосредоточены на Центральном участке, который в свою очередь, разделяется на три рудных зоны – Западную, Главную и Пойменную. Предыдущими исследованиями (Стеблева, 1973) в пределах участка выделено 43 золото-сурьмяных рудных тела с балансовыми запасами сурьмы и золота составляющими по сумме категорий С1 и С2: 295,2 тыс. тонн руды, в которой содержится 30006 тонн сурьмы и 444,2 кг золота, со средним содержанием сурьмы 10% и золота 1,3 г/т.

Рудная минерализация представлена пиритом, арсенопиритом, реже антимонитом. Эти минералы образуют вкрапленность в сланцах удерейской свиты. Пирит и арсенопирит, порой формируют густо вкрапленные агрегаты и послойные прожилки. Кварц зачастую пересекает сульфидные агрегаты, формируя при этом густую сеть прожилков и маломощных жил небольшой протяженности.Общий уровень содержания сульфидов от 3 до 60%.

1.2.Геологическое строение месторождения

Удерейское месторождение расположено в центральной части Енисейского кряжа и приурочено к зоне Ишимбинского глубинного разлома, что можно наблюдать в приложении. Б. Рудоконтролирующая структура - Васильевско-Удерейская брахисинклиналь, представляющая собой широкую зону глубинных разломов, прослеживается в северо-северо-восточном направлении на расстояние 10-15 км, представлена на рисунке 1.1. Складчатые и разрывные структуры являются составляющими более крупной антиклинальной складки, в пределах которой и сформировалось Удерейское золото-сурьмяное месторождение. Ось складки полого погружается на юго-запад под углом 15-25° вдоль крупного тектонического нарушения. Углы падения западного крыла складки 45-60°, восточного - 20-40°. Общее

простираение осей складчатых структур в зоне разлома - от субмеридионального до северо-восточного (от 15° до 50°). Литологический контроль осуществляется пачкой компетентных и благоприятных для рудоотложения карбонатных филлитизированных углеродсодержащих алевро-глинистых сланцев удерейской свиты среднего рифея.

Рудное поле месторождения площадью 8 км^2 вытянуто в северо-восточном направлении. В пределах рудного поля выделяются рудоносные участки: Центральный, Северо-Восточный, Ново-Удерейский, Юго-Западный. Малаховой Л.Т. в границы рудного поля месторождения включаются слабо изученные примыкающие фланговые участки: Безымянско-Копьевский, Надеждинский, Степановский, с учетом которых площадь рудного поля составляет 12 км^2 (Малахова, 2005г).

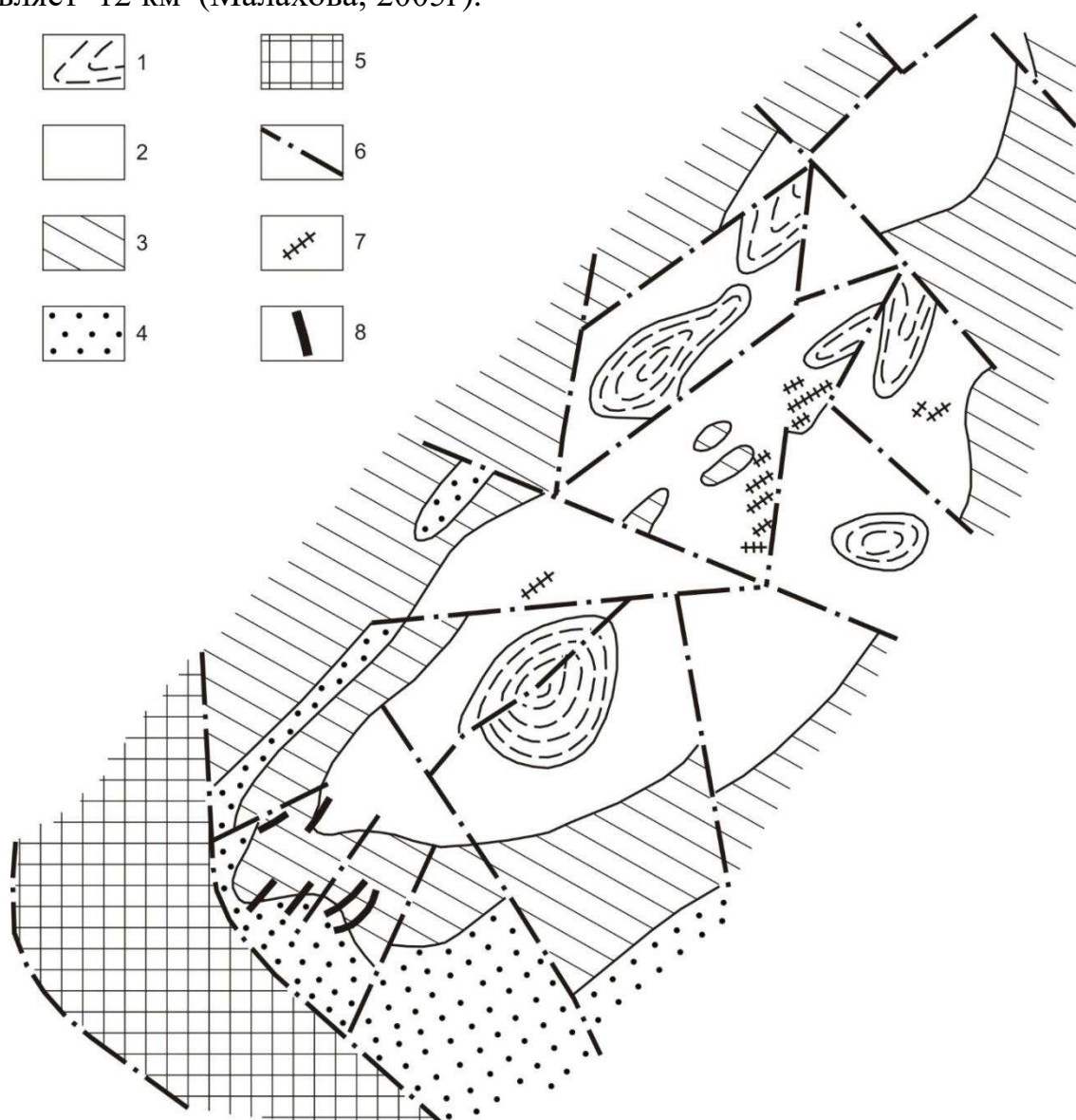


Рисунок 1.1 - Схема геологического строения Васильевско-Удерейского рудного поля (составили А.М. Сазонов, А.А. Ананьев). Условные обозначения: 1-2 – удерейская свита: 1 – среднеудерейская подсвита, 2 – нижнеудерейская подсвита; 3 – горбилкокская свита; 4 – кординская свита; 5 – грабен, выполненный отложениями горбилкокской свиты; 6 – дизъюнктивы; 7 – золотосурьмяные жилы, залежи Удерейского месторождения; 8 – золоторудные жилы Васильевского месторождения.

Вещественно-минеральный состав и текстурно-структурные особенности на этих участках в целом одинаковы. Различия состоят в интенсивности и количественном соотношении золото-сурьмяного и собственно золотого оруденения, а также в морфологии рудных тел и зон. Это обусловлено многообразием выделяемых в пределах рудного поля месторождения природных рудно-минеральных образований:

- золотоносных зон тонкопрожилкового окварцевания и сульфидизации;
- кварцевых и кварцево-сульфидных жил золотоносных;
- золото-кварц-антимонитовых, золото-антимонитовых жил;
- кварцевых, кварц-карбонатных жил безрудных.

В зависимости от конкретных условий они могут быть совмещены в пространстве, либо располагаться обособленно.

1.2.1. Краткая характеристика участков Удере́йского месторождения

Рудоносные участки выделяются в пределах полей распространения рассланцованных пород Удере́йской свиты как относительно компактные скопления кварц-антимонитовых жил, зон сульфидизации и тонкопрожилкового окварцевания.

Юго-Западный участок.

Сурьмяные руды Юго-Западного участка локализованы в двух сближенных субпараллельных крутопадающих кварц-антимонитовых жилах с узкой призальбандовой полосой оруденелых сланцев. Мощность жил изменяется от 0,2 до 1,5 м. Длина по простиранию составляет 300 м, по падению прослежена на 160 м. Участок изучен с поверхности канавами и шурфами, на глубину скважинами колонкового бурения и штольной. Балансовые запасы оконтурены до горизонта +400 м (до глубины 80 м) и составляют 46,8 тыс. тонн руды, в которой содержится 5 880 тонн сурьмы и 49 кг золота. Содержание сурьмы в контуре балансовых запасов 12,27%. Содержания золота колеблются от следов до 3,2 г/т, в среднем составляя 1,0 г/т.

Ново-Удере́йский участок.

Золотое оруденение на Ново-Удере́йском участке, расположенном в 1,5 км юго-западнее Центрального участка, приурочено к двум субпараллельным зонам интенсивного тонкопрожилкового окварцевания и сульфидизации карбонатно-глинистых сланцев удере́йской свиты. На юго-западе золотоносные образования участка граничат с кварц-антимонитовыми телами Юго-Западного участка. Простирание зон северо-восточное (35-40°), падение изменчивое – от крутого северо-западного до крутого юго-восточного. Мощность зон составляет 20-25 м, на флангах происходит уменьшение до 5,0 м. По простиранию зоны прослежены горными выработками (шурфы,

канавы) на 500-550 м, по падению зоны оценены до глубины 250,0 м скважинами колонкового бурения по сети 200x50 м. Формы рудных тел в плане и разрезе линзовидно-ленточные. Максимальное содержание золота на участке достигает 30 г/т, максимальная вскрытая мощность золоторудного тела 15,6 м при среднем содержании 4,2 г/т. В отличие от других участков месторождения сурьмяное оруденение в пределах участка проявлено слабо. Среднее содержание сурьмы не превышает 0,004 %, при максимальном 0,06 %. Прогнозные ресурсы категории P_1 по зоне №1 составляют 6,8 тонн золота, при среднем содержании 3,8 г/т золота и запасах 1799 тыс.тонн руды (Власов, 1981г).

Северо-Восточный участок.

Северо-Восточный участок расположен в 500 м северо-восточнее Центрального участка. По характеру рудоносности, по морфологии рудных образований как золотоносных так и сурьмяных является очень сложным. Рудные тела в его пределах представлены серией различно ориентированных коротких линзообразных кварц-антимонитовых жил. Золотое оруденение, в выявленных мощных зонах сульфидизации и окварцевания, так же образует несколько линзовидных тел, увязка которых между собой весьма затруднена. Следует отметить, что сульфидизация на этом участке имеет в основном вкрапленный характер, в отличие от прожилкового, характерного для продуктивных образований Центрального участка. Прогнозные ресурсы категории P_2 для золотого оруденения оценены в 12,2 тонны. По сурьмяным рудам подсчитаны и утверждены забалансовые запасы категории C_2 в количестве 43,3 тыс.т руды в которых содержится 1756 т сурьмы и 56 кг золота (Стеблева, 1973г).

Центральный участок.

Основные запасы золото-сурьмяных и золотых руд Удерейского месторождения сосредоточены на Центральном участке, который в свою очередь, разделяется на три рудных зоны – Западную, Главную и Пойменную. Центральный участок продемонстрирован в приложении В. Предыдущими исследованиями (Стеблева, 1973г) в пределах участка выделено 43 золото-сурьмяных рудных тела с балансовыми запасами сурьмы и золота составляющими по сумме категорий C_1 и C_2 : 295,2 тыс. тонн руды, в которой содержится 30006 тонн сурьмы и 444,2 кг золота, со средним содержанием сурьмы 10 % и золота 1,3 г/т.

Оценочными работами 2008 и 2010 гг было уточнено геологическое строение Центрального участка месторождения, проведено более детальное опробование рудных тел и вмещающих пород, что позволило несколько иначе пересмотреть представление о его геологическом строении. Установлено, что практически все золотое и золото-сурьмяное оруденение приурочено к пачке

компетентных пород, представленных сульфидизированными слабо-графитизированными алевро-пелитовыми сланцами кварц-карбонат-серицитового состава. Оба типа оруденения имеют субсогласное залегание как со слоистой вмещающей толщей, так и между собой. В целом, оруденение имеет грубозональное строение. Центральную часть собственно золоторудных тел занимают золото-сурьмяные тела, которые являются как бы стержневыми в этом тандеме и заполняют более поздние трещины скола (преимущественно мономинеральные антимонитовые жилы), трещины отрыва (кварц-антимонитовые жилы), межслоевые срывы в локальных антиклинальных перегибах в золоторудных телах.

1.2.2. Особенности рудоносности Центрального участка

В пределах Центрального участка развиты карбонатно-глинистые и алевро-глинистые сланцы удерейской свиты собранные в антиклинальную складку с погружением шарнира в юго-западном направлении под углом 25-35°. Складка имеет ассиметричное строение - пологое восточное крыло и относительно крутое западное. Внутренняя структура складки осложнена широким развитием спектра пликативных и дизъюнктивных структур разных порядков.

Основные зоны рассланцевания и смятия на Центральном участке и за его пределами ориентированы в северо-восточном направлении. В пределах этих зон отмечается мелкая линейная изоклиная складчатость, оси которой, ориентированы, главным образом, в северо-восточном направлении. Иными словами, вдоль тектонических швов северо-восточного простирания происходили пластичные деформации с образованием пликативных структур. Вдоль крупных разломов северо-западного направления и юго-западного падения, наоборот развиты хрупкие деформации типа зон дробления, брекчирования вмещающих и оруденелых пород, а также пологие надвиги и сбросы.

Собственно золотые руды приурочены к стратиформной окварцованной и сульфидизированной зоне, тяготеющей к ядерной части и крыльям ассиметричной антиклинали в сланцах удерейской свиты. Общее тонко-прожилковое окварцевание, характерное для широкой вытянутой Z-образной зоны, повторяет складчатую структуру месторождения. В пределах этой зоны выделяются участки интенсивного кварцевого прожилкования. Именно к ним приурочена прожилково-вкрапленная и послойная сульфидизация, несущая основное золотое оруденение. На участках с рассеянно-вкрапленным характером сульфидизации, уровень золотоносности, как правило, не высокий. Кроме, того золотоносность участка связана с мелкими, маломощными линзовидными жилами кварца с убогой сульфидной минерализацией (главным образом с пиритом, арсенопиритом и незначительным количеством антимонита).

Золото-сурьмяная минерализация морфологически представлена

преимущественно жилами и жилообразными зонами кварц-антимонитового состава с оруденелыми сланцами в зальбандах и, нередко, штуфным антимонитом в центральной части. Контролируются зоны золото-сурьмяной минерализации тектоническими зонами расщепления, смятия и разрыва северо-восточного и субмеридионального простирания и обрывается на севере пологозалегающими ($30-50^\circ$) тектоническими нарушениями северо-западной ориентировки. В южной части месторождения золото-сурьмяные тела контролируются крупным дизъюнктивом северо-западного простирания и постепенно вдоль этого нарушения выклиниваются на глубину в юго-западном направлении.

По особенностям геологического строения в пределах участка выделяется три рудные зоны: Западная, Главная и Пойменная. Западная рудная зона представлена пологозалегающими стратиформными золото-кварц-сульфидными телами, вмещающими в себя послойные маломощные золото-сурьмяные тела. В Главной зоне преобладает золото-сурьмяная минерализация. В Пойменной рудной зоне основная роль принадлежит собственно золоторудным образованиям. Золото-сурьмяное оруденение в этой зоне развито слабо и, главным образом, на восточном фланге.

Западная рудная зона.

Расположена в северо-западной части участка имеет изометричную форму. В ее пределах локализовано 2 золоторудных и 4 золотосурьмяных рудных тела. Золоторудные тела повторяют конфигурацию образованной на данном участке брахиформной антиклинали, являются стратиформными и сложены преимущественно послойными прожилками, линзами, шширами пирита, арсенопирита и кварца. Максимальная мощность рудных тел составляет 15-16 м. Зона полого погружается на юго-запад, где требуется ее доизучение.

Главная рудная зона.

Расположена в центральной части участка, имеет протяженность 330 м при ширине 50-90 м. В пределах зоны выделено девять золоторудных тел и четыре золото-сурьмяных тела. Следует отметить, что три золото-сурьмяных рудных тела – являются ведущими золото-сурьмяными телами Центрального участка и содержат три четверти запасов сурьмы всего месторождения.

Золото-сурьмяные рудные тела представлены серией сближенных золото-кварц-антимонитовых жил и оруденелых окварцованных сланцев. Простирание золото-сурьмяных рудных тел северное, северо-восточное. Падение северо-западное под углами $50-60^\circ$. Длина их по простиранию редко превышает первые сотни метров. Морфология тел сложная, характерны резкие раздувы, пережимы, разветвления.

Пойменная рудная зона.

Пойменная рудная зона расположена в пойме руч. Безымянного, была выделена при разведке Удерейского месторождения на сурьму, как обособленная в связи с удаленностью выявленных в ее пределах рудных тел кварц-антимонитового состава от оруденения Главной зоны. При проведении дальнейших работ по оценке золотого оруденения (Власов, 1985г)[2.2] выделение этого участка в отдельный объект получило дополнительное обоснование. Было установлено, что ориентировка рудовмещающих золотое оруденение структур, на этом участке месторождения, значительно отличается от ориентировки структур Главной зоны.

В геологическом отношении зона сложена интенсивно дислоцированной толщей алевро-пелитовых сланцев кварц-серицитового состава. Общее падение толщи юго-юго-западное в секторе от 220 до 240° при углах падения от 60 до 15°. При этом фиксируются многочисленные мелкие складки, вплоть до плейчатости. Рассланцевание пород не совпадает с ориентировкой слоистости. Общее направление рассланцевания имеет северо-восточное простирание с падением на северо-запад под углами 50-80°. В пределах участка широко развиты элементы тектоники – зеркала скольжения, зоны трещиноватости, кливажа, рассланцевания и дробления.

Собственно золотое оруденение в пределах Пойменной зоны приурочено к участкам тонко-кварцевого прожилкования и сульфидизации, залегающих субсогласно слоистости вмещающих пород. Мощность таких участков на поверхности (видимая) составляет от 1 до 44 м. В целом, участки сульфидизации формируют единую зону мощностью до 100 м, с постепенным уменьшением мощности и выклиниванием к востоку и разворотом на меридиональное простирание.

Рудная минерализация представлена пиритом, арсенопиритом, реже антимонитом. Эти минералы образуют, вкрапленность в сланцах удерейской свиты. Пирит и арсенопирит, порой формируют густо вкрапленные агрегаты и послойные прожилки. Кварц зачастую пересекает сульфидные агрегаты, формируя при этом густую сеть прожилков и маломощных жил небольшой протяженности. И прожилки и жилы имеют извилистую линзовидную форму, залегая, в целом субсогласно слоистости пород, образуя в сводах складок раздувы, мощностью до 2-3 м. Отмечается будинаж и растаскивание кварцевых жил в местах развития мелкой складчатости в случае их согласного залегания. В кварце присутствуют пирит, арсенопирит в виде средне кристаллических агрегатов и вкрапленности. Антимонит характерен больше для более поздних кварцево-жильных образований. Общий уровень содержания сульфидов от 3 до 60%. Отличительной особенностью зон сульфидизации является наличие мелкой складчатости (гофрировки) с амплитудой от десятков сантиметров до 2-5 м. Контуры рудных тел выделяются исключительно по данным опробования и зависят от выбранного бортового содержания.

Золото-сурьмяные рудные тела в пределах Пойменной рудной зоны локализованы в структурах, тяготеющих к направлению сланцеватости и представлены короткими линзовидными кварцевыми жилами и зонами интенсивного окварцевания с прожилково-вкрапленными агрегатами антимонита. Зачастую подобные образования содержат реликты сульфидизированных сланцев. Простираение рудных тел северо-восточное, падение – юго-западное, под углами 30-40°.

Таким образом, по бортовому содержанию 0,5, 0,8, 1,2, 1,5 г/т в пределах Центрального участка выделено пятнадцать сближенных золоторудных тела, расположенных субпараллельно основным внешним границам Главной и Пойменной зон сульфидизации и окварцевания. При этих бортовых содержаниях количество и форма рудных тел значительных изменений не претерпевает. Но при увеличении бортового содержания до 1,5 г/т большинство рудных тел теряют сплошность контуров, распадаются на отдельные блоки. При бортовом содержании 0,5 г/т в плане отмечается практическое слияние рудных тел 13, 14 и 15 в месте сочленения Главной и Пойменной зон.

Форма рудных тел в плане ленточная, линейно-вытянутая, линзовидная, по падению – трапециевидная, до плащеобразной. Мощность рудных тел относительно небольшая и выдержанная. Залегание тел пологое, слабоволнистое, субсогласное со слоистостью вмещающих пород. При оконтуривании минимальная мощность рудного тела принималась в 3 м, максимальная величина безрудного прослоя, включаемого в подсчет - 3 м.

2. Фактический материал и методы исследования

В главе приведено описание первичной коллекции минералов и руд Удере́йского месторождения; аналитических методов исследования и методик обработки полученных данных.

2.1. Характеристика коллекции пород и руд для лабораторных исследований

Фактическим материалом работы является коллекция пород и руд золото-сурьмяного Удере́йского месторождения, насчитывающая 32 образца, 53 шлифа и 30 аншлифов. Благодарю за предоставленный материал для составления коллекции сотрудников ООО «Производственно-Буровой Компании» Плеханова В.А., Антипьева И.В., Гулякову А.А., Вайнерову Т.Н. и др.

Образцы для изучения сульфидной минерализации отбирались с тем учетом, чтобы показать основные рудные минералы месторождения (арсенопирит, пирит, антимонит).

2.2. Методы исследования

Исследования образцов проходило в несколько этапов. В первую очередь это визуальный макро- и микроскопический анализ, который отражается в третьей главе, где использовался микроскоп CarlZeiss Axioskop 40Apol. Затем не менее важные были проведены 5 анализов: микрорентгеноспектральный, ICP, мессбауэровский, микротермометрический, химический состав газовой фазы включений.

Микрорентгеноспектральным анализом изучен химический состав четырех образцов арсенопирита. Анализ проведен в ИГМ СО РАН, г. Новосибирск на электронном микроскопе Jeol JXA-8100 (аналитик В.Н. Королюк). Элементы-примесей в арсенопирите, пирите и антимоните (всего девять образцов) определены методом ICP-MS на приборе Agilent 7500cx, производства AgilentTechnologies в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем», г. Томск (аналитики Е.В. Рабцевич и Е.И. Никитина). Мессбауэровское изучение микроструктуры арсенопирита выполнено на спектрометре MS-1104Ем при комнатной температуре с источником $Co^{57}(Cr)$ на порошках с плотностью 5-10 мг/см² по естественному содержанию железа. Анализ выполнен в ИФ СО РАН, г. Красноярск (аналитики О.А. Баюков, Ю.В. Князев). Термобарогеохимические исследования жильных минералов проведены в лаборатории термобарогеохимии ИНМ СО РАН, г. Новосибирск. Микротермометрические опыты проведены на термо-криокамере «Linkam» THMSG-600 (аналитик С.А. Сильянов). Химический состав газовой фазы включений определен методом Рамановской спектроскопии на спектрометре комбинационного рассеяния света Ramanor U-1000 фирмы «JobinYvon» (аналитик С.А. Сильянов).

3. Петрография и минералогия пород и руд месторождения.

В разделе «Петрография» представлено описание шлифов, которые являются самыми информативными из имеющихся 53 шлифов. Описание образцов и шлифов проходила по трем пунктам:

1. структурно-текстурное положение минерала в породе;
2. оптические свойства минерала;
3. продукты замещения и их расположение в минерале.

Для написания раздела «Минералогия» было изучено макроскопически и микроскопически в отраженном свете около 30 аншлифов. После чего составлялось описание морфологии и разных генераций каждого наблюдаемого минерала.

3.1. Петрография

Вследствие петрографических и минералогических исследований можно выделить 3 группы пород:

- неизменные сланцы;
- пород минерализованной зоны;
- рудные метасоматиты.

Сланцы первой группы являются метаморфические породы зеленосланцевой фации, образовавшиеся при метаморфизме аргиллитов и алевролитов. Имеют серый или темно-серый цвет. Текстуру определяется как не ярко выраженная бластическая сланцеватость. В сланце наблюдаются трещинки кливажа разных направлений, пунктирные, вдоль них концентрируется углеродистое вещество, выполнены гидроокислами железа. Порода имеет микрозернистую структуру, равномерное распределение зерен. В основную ткань вмещающих сланцев входят тонкочешуйчатый мусковит (серицит), кварц, карбонат в соответствии с приложением Г рисунком 1. Процентное содержание каждого минерала колеблется в пределах 30-35 %. Микроструктура лепидогранобластовая.

Породы минерализованной зоны являются частично метасоматически измененными породами и имеют серый цвет с тонкой слоистостью. Механическая сланцеватость проявлена в большинстве образцов и образует линзочки, которые сложены серицитом. Матрица сложена в основном тонкими чешуйками серицита и бледно-зелёного хлорита и равномерно рассеянным тонкодисперсным углеродистым веществом. Структура микрозернистая, равномерно-зернистая. Главными породообразующими минералами являются кварц, серицит, карбонат (доломит), хлорит. Зерна карбоната образуют изометричные, овальные, реже ромбовидные зональные выделения (микропорфиобласты) разных размеров. Микроструктура гранобластовая, лепидобластическая. Сульфидные минералы (пирит, арсенопирит) отмечаются в породе и не превышают 4 %.

Представителями *третьей группы* являются *сульфидизированные метасоматиты*, которые развиваются в углеродистых и карбонатсодержащих сланцах с образованием вкрапленности мелких кристаллов пирита и арсенопирита, антимонита. Порода претерпела значительные преобразования в связи гидротермальными процессами. Текстура полосчатая, которая представлена углеродистым веществом серого цвета и пиритом желто-зеленого цвета. Мощность полос от долей мм до см. Макроскопически можно увидеть метакристаллы арсенопирита, которые расположены хаотично и тонкую вкрапленность глобулярного пирита. Структура микрозернистая с ясно выраженной реликтовой слоистостью. Наблюдаются немногочисленные поперечные трещинки, неровные, угловатые, выполненные тонкодисперсным углеродистым веществом. В основную ткань породы входят мусковит, серицит, кварц, карбонат, хлорит. Процентное количество акцессорных минералов (рутил, апатит) не превышает 3%.

3.1.1. Петрография неизменных пород

Предположительно выделенные образцы для группы неизменных пород характеризуют переходные образования седиментогенного и метаморфогенно-метасоматического этапов образования Удерейского месторождения.

Углеродистые филлиты

Изучение неизменных пород производилось по 3 шлифам: 1501-34; 1332-19,5; 1332-109. Шлифы представлены параллельно сланцеватыми хлорит-серицитовыми сланцами с незначительными содержаниями хлорита и углеродистого вещества, единичными зернами кварца.

Вмещающие сланцы имеют серый или темно-серый цвет. Текстура не ярко выраженная бластическая сланцеватая, тонко параллельно сланцеватая, часто тонко полосчатая. Полосчатость выражается чередованием слоев мощностью 0,5-1 мм, существенно хлорит-серицитового, углеродисто-хлорит-серицитового состава, пелитоморфного строения. Порода имеет микрозернистую структуру, равномерное распределение зерен. В основную ткань вмещающих сланцев входят тонкочешуйчатый мусковит (серицит), кварц. Микроструктура лепидобластовая, гранолепидобластовая, лепидогранобластовая.

Серицит представлен мелко и микрочешуйчатым агрегатом, размер зерен 0,001-0,05 мм. Чешуйки минерала субпараллельно ориентированные и образуют лепидобластическую сланцеватость. В шлифе 1332-19,5 отмечаются линзочки ориентированные по трещинам (до 0,05-0,1 мм по длинной оси), сложенные более крупночешуйчатым серицитом, чем в основной массе в соответствии с приложением Г рисунком 1. Процентное содержание варьирует в больших пределах от 30 до 70 %. Минерал обладает высокими цветами интерференции.

В незначительном количестве присутствуют чешуйки бледно-зелёного *хлорита* размером 0,02-0,03 мм. Иногда наблюдаются единичные чешуйки хлорита размером до 0,05 мм, в них отмечается отчётливый плеохроизм от грязно-желтовато-зелёного по N_p до бледно-зелёного, почти бесцветного по N_g . Хлорит-серицитовые (светлые) слои в шлифах 1332-109 и 1501-34 сложены субпараллельно ориентированными вытянутыми чешуйками бледно-зелёного хлорита и серицита размером 0,02-0,03 мм. Общее содержание хлорита достигает 15 %.

Отмечается зернистый *кварц* в основной массе. Наблюдаются единичные зерна кварца с четкими очертаниями и серым цветом в скрещенных николях, размер которых составляет 0,001-0,005 мм.

Углеродистое вещество тонкодисперсное, равномерно рассеяно в пелитоморфной массе, которое концентрируется в слоях в различном

количестве, вследствие чего слои приобретают темно-серую окраску. Содержание его не превышает 1 %.

В сланце наблюдаются трещинки кливажа согласные сланцеватости – пунктирные, вдоль них концентрируется углеродистое вещество, выполнены гидроокислами железа; перпендикулярные и под большими углами к слоистости, которые образуют мелко гофрированную структуру. Вдоль трещин кливажа происходит разворот чешуек серицита, вследствие чего в породе формируется прерывистая, тонкая полосчатость, секущая под различными углами первичную слоистость.

В шлифе 1501-34 отмечен единичный слок, сложенный преимущественно карбонатом и серицитом. Карбонатный агрегат имеет тонкозернистое строение бурого цвета. Здесь же присутствует линза мелкозернистого серого кварца с волнистым погасанием, между зерен которого образовались микрозернистые нитивидные зерна серицита.

Рутил наблюдается в виде сердцевидных двойников и отдельных зерен. Находиться в основной хлорит-серицитовой массе. Процентное содержание достигает 2 %.

Вывод: таким образом, вмещающие сланцы имеют темно-серую и серую окраску с зеленоватым оттенком с тонкой слоистостью и без неё. Исходными породами являются пелитоморфные и алеврито-пелитовые осадочные образования. Главные породообразующие минералы кварц, тонкочешуйчатый серицит, хлорит, редко карбонат. Темную до черной окраску породе придает тонковкрапленный графит, содержание которого достигает 5%. Изменение концентраций породообразующих минералов, наличие и отсутствие слоистости характеризует разновидности сланцев и неоднородность вмещающих толщ.

3.1.2. Петрография пород минерализованной зоны

Изученные шлифы пород минерализованной зоны можно разделить 3 подгруппы:

- сланцы с микропорфиробластами карбонатов (шлифы 1335-102.3; 1331-133.8; 1336-75; 1330-102.9),
- сланцы с кварцевыми и кварц-карбонатными прожилками (шлифы 1237-197.4; 1336-111.9),
- карбонатизированные серицитовые сланцы (шлифы 1513-114.4; 1330-71.2).

Шлифы этой группы можно отнести к метаморфогенно-метасоматическому этапу.

Микропорфиробластовые сланцы

Главные минералы микропорфиробластовых сланцев это доломит, кальцит, серицит, хлорит, кварц, которые слагают основную массу. Встречается

сульфидный минерал, такой как пирит, его распространение не превышает 5%. В основном он находится в микропорфирах карбоната и имеет различные формы. Подробное описание шлифов этой подгруппы представлено ниже.

Шлиф 1335-102.3 – Комковатый карбонат-серицитовый измененный сланец. Цвет породы в тонком срезе шлифа темно-серый. Макроскопически наблюдается реликтовая слоистость в шлифе обусловленная насыщенностью одних слоев карбонатным, а других тонко распыленным углеродистым веществом. Минеральный состав включает в себя серицит (50-55 %), карбонат (25-27 %), хлорит (10-15 %), кварц (1-2 %), углеродистое вещество (3 %), пирит (2-3 %).

Макроскопически текстура массивная, в шлифе – комковатая. Размер «комочков» 0,2-0,4 мм, которые распределены в породе равномерно. Структура породы микропорфиробластовая со спутано-лепидобластовой основной массой. Порода слабо кливажирована, трещинки кливажа изогнутые, прерывистые, иногда ветвистые, пунктирные и выполнены тонкодисперсным углеродистым веществом.

Микропорфиробласты карбоната размером 0,2-0,4 мм слагают до 25 % объема породы. Зерна карбоната образуют изометричные, овальные, реже ромбовидные зональные выделения. В центральной части глобуль иногда отмечаются зерна пирита размером (до 0,03-0,04 мм), вокруг которых наблюдаются концентрические каемки карбона в зависимости от содержания гидрооксида железа. Прозрачные каемки представлены кальцитом, коричневые и светло-коричневые доломитом.

Матрица породы сложена разно ориентированными вытянутыми микрочешуйками серицита и хлорита буровато-зеленоватого оттенка при одном никеле, пылевидным графитом. Серицит в матрице имеет низкую интерференционную окраску, чем чешуйки серицита в обособленных агрегатах. Микропорфиробласты серицита имеют размер 0,1-0,3 мм. Образуют овальные или изометричные формы. Иногда в этих агрегатах отмечаются зерна рудного минерала (пирит).

Встречаются единичные неравномерно распределенные алевритового размера частицы кварца. Преобладающие размеры зерен серицита 0,01-0,001 мм, а размеры кварца, хлорита трудноразличимый при увеличении 20х.

В незначительном количестве присутствует тонкодисперсное углеродистое вещество равномерно рассеянное в породе в виде крапа. В основном сосредотачивается в трещинках, чем создают контраст микропорфиробластам карбоната.

Рудный минерал слагает зернистые агрегаты. Отдельные зерна не имеют кристаллографические очертания, представлены пиритом. Зернистые агрегаты пирита имеют размеры от 0,03 до 0,05 мм.

Шлиф 1331-133.8 – Карбонат-серицитовый сланец. Цвет породы в тонком срезе шлифа светло-серый. Структура породы микропорфириобластовая с лепидобластовой основной массой. Текстура тонко линзовидно-сланцеватая, неотчётливо полосчатая. Механическая сланцеватость подчёркивается чешуйками серицита ориентированными в одном направлении. Минеральный состав: серицита 65-70 %, карбоната 15-20%, хлорита до 3 %, кварца 2-7 %, углеродистого вещества 1-2 %, сульфидного минерала (пирит) до 2 %.

Порода слабо трещиноватая, трещинки ориентированы под углом 60-62° к сланцеватости и слабоизогнутые, реже ветвящиеся, с тонкодисперсным углеродистым веществом. Вдоль трещин кливажа наблюдается разворот чешуек серицита с формированием тонкой неотчётливой полосчатости, секущей сланцеватость. Трещины огибают глобулы карбоната, что свидетельствует о том, что карбонат образовался раньше, чем порода подверглась интенсивному стрессовому механическому рассланцеванию.

Микропорфириобласты карбоната овальной, изометричной, реже ромбовидной формы размером 0,05-0,3 мм. Микропорфириобласты зональные, центральные части сложены доломитом, реже пиритом, краевые – прозрачным кальцитом.

Матрица породы сложена вытянутыми чешуйками серицита размером 0,02-0,03 мм, между которыми распложены мелкие 0,3 мм изометричные и ромбовидные зерна доломита, и в незначительном количестве зерна кварца, хлорита. Тонкодисперсное углеродистое вещество равномерно распределено в матрице породы, концентрируясь по плоскостям механической сланцеватости.

Шлиф 1336-75.0 – Пятнисто-такситовый серицитовый сланец. Макроскопически в тонком срезе шлифа наблюдается параллельная слоистость, обусловленная чередованием слойков мощностью 0,5-1 мм, существенно хлорит-серицитового и углеродисто-хлорит-серицитового составов. Границы слойков нечёткие, «расплывчатые». Минеральный состав представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 -Минеральный состав

Основная ткань:	Содержание, %
Серицит	40-45
Карбонат	15-20
Хлорит	20-25
Кварц	10-15
Углеродистое вещество	до 5

Микротекстура породы пятнисто-такситовая, обусловленная наличием многочисленных серицитовых, хлорит-серицитовых и карбонат-серицитовых микропорфириобласт. Структура породы микропорфириобластовая с лепидобластовой, гранолепидобластовой основной тканью. Порода интенсивно кливажирована, трещинки кливажа идут по слоистости. Вдоль них отмечается

интенсивное обуглероживание, местами формируется тонкая волнистая сланцеватость.

Микропорфиروبласты серицита размером 0,1-0,2 мм овальной, изометричной формы слагают до 50 % породы. Некоторые агрегаты принимают ромбовидную форму. Они сложены крупночешуйчатым (до 0,05-0,07 мм) серицитовым агрегатом с более высокой интерференционной окраской, чем у серицита в основной массе. В центральных частях серицитовых «ромбов» иногда отмечается доломит или крупночешуйчатый хлорит темно-серого цвета при скрещенных николях.

Матрица породы сложена разно-ориентированными вытянутыми чешуйками бледно-зелёного хлорита и серицита размером 0,02-0,03 мм и еле различимыми зёрнами кварца. Углеродистое вещество равномерно рассеяно в основной массе, вследствие чего слои приобретают темно-серую окраску. Отмечаются единичные чешуйки хлорита размером 0,3 мм «глазковой» формы, ориентированные поперёк слоистости.

В обогащённых углеродистым веществом слоях отмечаются крупные (до 0,4 мм) единичные зёрна пирита, окружённого тонкой каймой тонкозернистого кварца.

Шлиф 1330-102.9 – микропорфиробластовая карбонат-серицитовый сланец. Цвет шлифа в тонком срезе светло-серого цвета. Минеральный состав: серицита 50-55 %, карбонаты 20-25%, хлорита 5-7 %, кварца 10-15 %, углеродистое вещество 3-5 %, пирита до 5 %.

Микроструктура породы микропорфиробластовая с лепидобластовой основной массой. Микротекстура тонко полого волнисто сланцеватая. Сланцеватость подчёркивается субпараллельной ориентировкой чешуек серицита, так же вдоль сланцеватости – концентрируется тонкодисперсный углерод.

Трещины прерывистые, изогнутые, ветвящиеся, ориентированные под углом 40-50° к сланцеватости, выполнены тонкодисперсным углеродистым веществом. Вдоль трещин наблюдаются изгибы слоёв.

Микропорфиروبласты карбоната овальной, изометричной формы размером 0,1-0,3 мм. Микропорфиروبласты имеют зональное строение как в приложении Г рисунок 2. Центральные части сложены мелко и среднезернистым кальцитом, реже мелкочешуйчатым серицитовым агрегатом, иногда наблюдаются включения пирита. Средние части – среднезернистым доломитом, окрашенным гидроокислами железа, краевые – мелкозернистым прозрачным доломитом. Наблюдаются сростки трех и более микропорфиробласт.

В породе встречаются единичные обособленные агрегаты хлорита синефиолетового цвета при скрещенных николях размером до 0,7 мм, наполненные включениями углеродистого вещества. Форма агрегатов овальная или неправильная.

Отмечаются не большое количество зерен пирита. Они образуют сростки кристаллов, которые имеют хорошо образованные квадратные сечения с прямолинейными границами размером до 0,3 мм, окружённые мелкозернистым кварцем и серицитом. Иногда вблизи пирита отмечаются треугольники растяжения, выполненные тонкозернистым кварцем.

Матрица породы сложена субпараллельно ориентированными чешуйками бледно-зелёного хлорита и серицита размером 0,02-0,03 мм по сланцеватости и разно-ориентированными зёрнами по отношению к сланцеватости. В незначительном количестве в матрице встречаются хорошо окатанные алевритовые частицы кварца размером 0,02-0,05 мм. Мелкодисперсный пылевидный углерод равномерно распределён в породе и концентрируется по плоскостям сланцеватости, в сериците и хлорите.

Сланцы с кварцевыми и кварц-карбонатными прожилками

Сланцы пронизаны маломощными прожилками мелко и среднезернистого кварца, который имеет неровные «зубчатые» границы зерен. Также отмечаются кварц-карбонатные прожилки мощностью до 0,2 мм, сложенные преимущественно крупнозернистым доломитом и мелкозернистым кварцем. В основную массу сланца входят серицит, хлорит, кварц, карбонат, углеродистое вещество. Содержание сульфидов не превышает 1 %. Описание шлифов данной подгруппы представлено ниже.

Шлиф 1336-111.9 – Сланец с кварц-карбонатным прожилком. В тонком срезе шлифа светло-серым цветом представлен кварц-карбонатный прожилок, а темно-серым углеродистый сланец. В таблице 3.2 представлен минеральный состав.

Таблица 3.2 - Минеральный состав

Основная ткань:	Содержание, %
Серицит	25-30
Карбонат	45-50
Хлорит	5-10
Кварц	10-15
Углеродистое вещество	1-2
Сульфиды:	
Пирит	Ед.з.

Структура породы порфиробластовая, гломеропорфирная с лепидобластовой основной массой. Текстура линзовидно-слоистая, тонко параллельно либо слабоволнисто сланцеватая. Слоистость обусловлена чередованием маломощных (до 5 мм) слоев углеродистых карбонатно-серицитовых и серицитовых сланцев. Сланцеватость подчёркивается субпараллельной ориентировкой чешуек серицита, так же вдоль сланцеватости – концентрируется тонкодисперсный углерод.

Порода кливажирована, трещинки кливажа волнистые, согласные сланцеватости, пунктирные, насыщены тонкодисперсным углеродистым веществом. Трещины образуют линзы, которые заполнены серицитом размером до 0,2-0,4 мм как в приложении Г рисунок 3. Между ними отмечаются линзы разнозернистого кварца, так же есть крупные кристаллы до 2 мм с волнистым погасанием и мелкозернистый гранобластовый кварцевый агрегат.

Доломит слагает хорошо образованные ромбовидные крупные кристаллы и ксеноморфные выделения, количество которых возрастает по направлению к прожилку. Они пронизаны прерывистыми прожилками мелкозернистого кварца, реже мелкочешуйчатого серицита. Иногда образуются полисинтетические двойники. Доломит представлен в приложении Г на рисунке 3.

Матрица породы сложена субпараллельно ориентированными чешуйками бледно-зелёного хлорита и серицита размером 0,02-0,03 мм. В незначительном количестве в матрице встречаются овальные алевритовые частицы кварца размером 0,02-0,04 мм. Мелкодисперсный пылевидный углерод равномерно распределён в породе и концентрируется по плоскостям сланцеватости серицита и хлорита.

В слюдяной массе отмечаются единичные ксеноморфные выделения сульфидов размером 0,2-0,3 мм, в сростках с доломитом. Наблюдаются гломеропорфиновые образования, обусловленные сростками 2-3 зёрен доломита и кальцита.

Шлиф 1237-197.4 – Брекчия кварца со сланцами. Цвет в тонко срезе от светло-серого до темно-серого. Текстура полосчатая, которая обусловлена чередованием пелитовых слоек мощностью 0,3-0,5 мм с различным количеством углеродистого вещества. Основная ткань состоит из серицита (40-45 %), доломита (5-12 %), хлорита (15-20 %), кварца (25-30 %), углеродистого вещества (3 %), пирита (1 %).

Микроструктура – гранобластовая, лепидогранобластовая, лепидобластовая. Порода брекчированная с тонко волнисто сланцеватой текстурой.

Матрица сложена тонкими (0,03-0,07 мм) чешуйками серицита и бледно-зелёного хлорита (0,4-0,9 мм). В чешуйчатой массе равномерно рассеяно тонкодисперсное углеродистое вещество. Наблюдаются отдельные полосы (0,3-0,5 мм) насыщенные углеродистым веществом.

В породе присутствует бледно-зелёный хлорит размером 0,05-0,1 мм. Хлорит концентрируется в краевых или центральных зонах прожилков. Иногда отмечаются линзы крупночешуйчатого (до 0,3 мм) хлорита размером до 1 мм. Иногда вблизи них отмечаются линзы крупночешуйчатого серицита.

Сланец пронизан маломощным прожилком серицита размером чешуек 0,02-0,05 мм, который имеет разно-ориентированное направление, и группируются в линзочках механической сланцеватости.

Кварц представлен гранобластовыми зёрнами с неровными зазубренными ограничениями размером 0,05-0,15 мм. Местами зерна кварца имеют планарные структуры (деформационные), образованные при высоком стрессовом давлении, что проявляется в тонко полосчатом погасании.

В кварцевой массе неравномерно рассеяны хорошо образованные ромбовидные зерна доломита размером до 0,7 мм и гнезда из нескольких зерен.

Карбонатизированные серицитовые сланцы

Главными породообразующими минералами этой подгруппы являются кварц, серицит, карбонат, хлорит. Отмечаются единичные зерна пирита и арсенопирита. Зерна арсенопирита свидетельствуют о том, что начинаются гидротермальные изменения, которые способствуют формированию золото-арсенопиритовой стадии.

Шлиф 1513-114.4 – Карбонатизированный сланец. Сланец имеет серый цвет с тонкой слоистостью. Механическая сланцеватость проявлена местами и в ней концентрируется углеродистое вещество. Линзочки располагаются хаотично, сложены они кварцем. Структура пелитоморфная, равномернoзернистая. Минеральный состав породы представлен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Минеральный состав

Основная ткань:	Содержание, %
Серицит	40-45
Карбонат	20-25
Хлорит	5-10
Кварц	20-25
Углеродистое вещество	1-2

Микроструктура гранобластовая, лепидобластическая.

Серицит представлен тонкочешуйчатым параллельно лепидобластическим агрегатом, который под воздействием подвижек образует механическую сланцеватость. Находится в контакте с кварцем, карбонатом. Размеры чешуек 0,005-0,02 мм. Хлорит отмечается в незначительном количестве, как правило, совместно с серицитом.

Кварц разнoзернистый, гранобластический. Размер зерен 0,02-0,5 мм. Серый цвет, волнистое погасание при скрещенных николях. Количество зерен 20-25 %. Располагается между зернами доломита беспорядочно.

Карбонат представлен доломитом и образует срастания с кварцем. Морфология ромбовидная либо овальная. Разнoзернистость минерала наблюдается по всему образцу.

Шлиф 1330-71.2 – Кварц-карбонатный сланец. Шлиф имеет светло-серый цвет в тонком срезе. Макроскопически наблюдаются нитивидные трещинки черного цвета, серо-желтое зерно пирита размером 1,5 мм и 4 зерна

арсенопирита размером меньше 0,5 мм. Минеральный состав: серицит (5-12 %), карбонат (45-50 %), хлорит (2-5 %), кварц (30-35 %), углеродистое вещество (до 3%), единичные зерна пирита и арсенопирита.

Порода интенсивно (до 50%) карбонатизирована с формированием пятнисто- и линзовидно-полосчатых текстур. Карбонаты (кальцит и доломит) слагают зерна размером 0,05-0,5 мм изометричной, ромбовидной формы, часто наблюдаются сростки и гнезда карбоната, приуроченные к трещинам. Местами полосчатость прерывает механическая сланцеватость. Трещины изогнутые, выдержанные по простиранию, ветвящиеся. Мелкие трещины выполнены углеродистым веществом.

Отмечаются слойки, сложены субпараллельно ориентированными по механической сланцеватости, вытянутыми чешуйками бледно-зелёного хлорита и серицита размером 0,02-0,03 мм и зернами карбоната. Содержание серицита превышает содержание хлорита примерно в 4 раза. Железистый карбонат (доломит) образует удлиненные иногда ромбовидные кристаллы размером 0,02-0,05 мм. Количество карбоната в слойках достигает 15-17%. Тонкодисперсное углеродистое вещество равномерно рассеяно в породе и концентрируется преимущественно вдоль чешуек серицита и хлорита.

В породе присутствуют скопления чешуйчатого хлорита, крупнее, чем в основной массе. Его цвет при скрещенных николях сине-фиолетовый. Агрегаты имеют неправильную форму и находятся в контакте со всеми минералами основной массы.

В основной массе отмечается зерно пирита с квадратными сечениями, окружённые тонкой оторочкой мелкозернистого кварца либо серицита. Размер зерна 0,4 мм как на рисунке 3.1а.

Также присутствуют зерна арсенопирита, которые имеют ромбовидную форму срезов и изометричную форму. Вокруг зерен образуются дворики растяжения кварца в соответствии с рисунком 3.1б. Арсенопирит образовался до воздействия стрессового давления, потому что целые кристаллы трещиноватые, а трещины заполнены кварцем. Размер зерен до 0,1 мм.

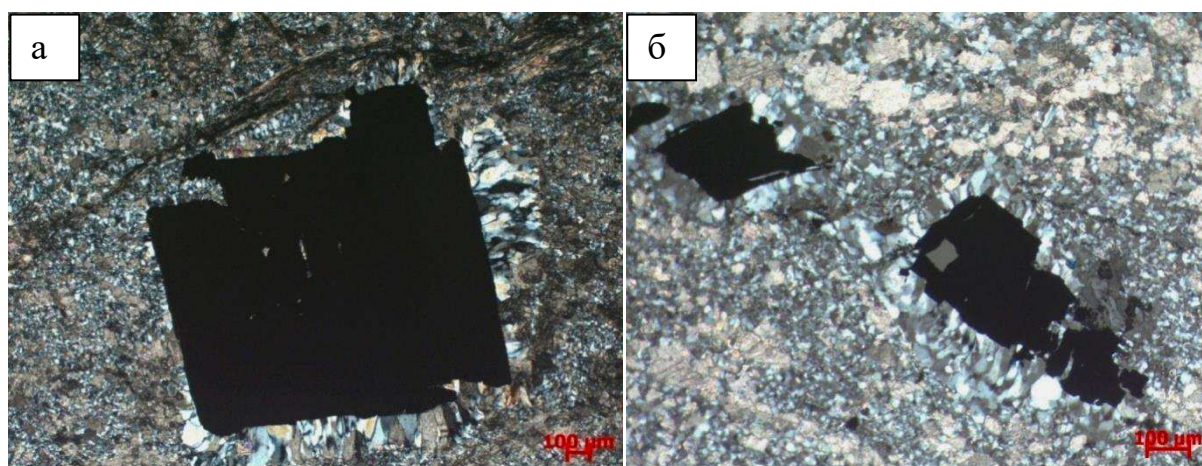


Рисунок 3.1 - Шлиф 1330-71.2; николи скрещены. а) Зерно пирита с квадратными сечениями в кварц-карбонатной массе, б) Дворики растяжения кварца вокруг зерен арсенопирита.

Вывод: из выше сделанных описаний можно сказать, что преимущественным распространением в разрезе минерализованной зоны пользуются карбонат-серицитовые графитсодержащие сланцы. Под микроскопом отмечается равномерное распределение породообразующих минералов. Обычно эти породы не слоистые с механической сланцеватостью. Микротекстура пятнисто-такситовая. Карбонаты представлены доломитом. Их морфология ромбовидная либо овальная. Карбонаты имеют более крупные размеры, чем чешуйки слюды и изометричные зерна кварца, что придает породе микропорфиробластовую структуру под микроскопом и зернистый облик макроскопически. В основном микроструктура гранобластовая, лепидогранобластовая, лепидобластовая. Сульфидные минералы имеют распространение от единичных зерен до 5 %, представителями которых являются пирит и арсенопирит. Породы кливажирована, трещины изогнутые, выдержанные по простиранию, ветвящиеся. Мелкие трещины выполнены углеродистым веществом.

1.1.3. Петрография рудных метасоматитов

При исследовании шлифов рудной зоны было выделено три подгруппы:

- пиритизированные метасоматиты (шлифы 1335-121.8; 1237-108.8);
- пирит-арсенопиритовые метасоматиты (шлифы 1516-158; 1520-60);
- пирит-антимонитовые метасоматиты (шлифы 1505-123.9; 1519-39.5).

Пиритизированные метасоматиты

Основную ткань пиритизированного сланца составляют кварц, серицит, карбонаты (доломит, кальцит), хлорит и углеродистое вещество. Содержание пирита варьирует от единичных зерен до 5 % от общей массы. Пирит имеет четко выраженные кристаллографические очертания, которые создают не правильную форму зерен. Иного отмечаются многочисленные маломощные карбонатные и кварц-карбонатные прожилки разных направлений.

Шлиф 1335-121.8 – Окварцованный сланец. Порода в тонком срезе шлифа серая, представлена чередованием светло-серыми и темно-серыми слойками. Минеральный состав: кварца 40-45 %, хлорита 2-10 %, серицита 15-20 %, карбоната 20-25 %, углеродистое вещество до 3 %, пирита до 5 %.

Метасоматит – тонко и параллельно, волнисто сланцеватый, с трещинами кливажа. Текстура – механическая сланцеватая. Структура совогранобластическая, лепидобластовая. Наблюдаются немногочисленные поперечные трещинки, неровные, угловатые, выполненные тонкодисперсным

углеродистым веществом. Сеть трещинок кливажа создаёт псевдобрекчиевую текстуру сланцев.

Наблюдаются «растворенные» ксенолиты окварцованных сланцев – изометричные участки с нечёткими ограничениями, обогащённые мелкозернистым серицитом и хлоритом. Среди мелкозернистой (0,05-0,1 мм) гранобластовой кварцевой массы неравномерно распределены участки, сложенные крупнозернистым (до 0,7 мм) ксеноморфным кварцем. Мелкие зерна слагают сотово-гранобластическую структуру и имеют облачное погасание. Местами зерна кварца имеют параллельно планарные структуры, образованные при действии высокого стрессового давления, что обуславливает полосчатое погасание.

Хлорит в породе микрочешуйчатый и трудно различим, но придает слабый зеленоватый оттенок породе и шлифу при одном никеле. Хлорит образует параллельные сростки с серицитом.

Сланец пронизан тонкими прожилком чешуйчатого серицита размером 0,02-0,05 мм, который имеет разноориентированное направление и образует линзочки механической сланцеватости. Прожилок ориентирован согласно сланцеватости. На контакте прожилка и основной массы чешуйки серицита имеют более высокую интерференционную окраску и размер зерен, чем в межзерновом пространстве.

Отмечаются единичные раздробленные зерна пирита, размером 0,001-0,05 мм. Процентное содержание его не более 5 %.

Основная масса углеродистого вещества находится в прожилке серицита. В кварцевой массе – неравномерно распределены зерна доломита и кальцита с перламутровой интерференционной окраской размером до 1 мм. У кальцита наблюдаются редкие двойники скольжения по спайности. Доломит имеет мутно-бурую окраску и крупнозернистое строение. Карбонат цементирует зерна кварца. Также границы зерен выражены за счет нитивидных коротких трещинок содержащих графит.

Шлиф 1237-108.8 – Метасоматит с зернами пирита. Цвет шлифа в тонком срезе темно-серый. Сланец секут прозрачные маломощные трещинки предположительно кварца. Минеральный состав: кварца 10-15 %, серицита 5-12 %, карбоната 70-80 %, углеродистого вещества 3 %, единичные зерна пирита.

Микротекстура массивная, тонкозернистого сложения, насыщена тонкодисперсным углеродистым веществом. Участки прожилкового более крупнозернистого сложения – осветлены. Микроструктура гранобластовая.

Матрица породы сложена гранобластовыми зёрнами доломита и кварца размер 0,003-0,005 мм, редко до 0,007 мм. Присутствуют сростки серицита и хлорита.

Порода пронизана многочисленными маломощными карбонатными и кварц-карбонатными прожилками как на рисунке 3.2. Прожилки разноориентированы и создают сетчатую текстуру породы. Общее количество прожилков – 15-17 %

Прожилки сложенные тонкозернистым доломитом, маломощные от «волосовидных» (0,02-0,03 мм) до 0,05-0,07 мм. Прожилки прямолинейные, с ровными ограничениями.

Прожилки второй разновидности – кварц-карбонатные, прямолинейные, реже с раздувами и пережимами. Имеют мощность до 0,1-0,3 мм. Секут ранние доломитовые прожилки. Прожилки зональные, краевые части сложены доломитом, слагающим хорошо образованные ромбовидные кристаллы (до 0,1 мм), ориентированные поперёк прожилков. Центральные части сложены зёрнами кварца с волнистым погасанием размером до 0,1 мм.

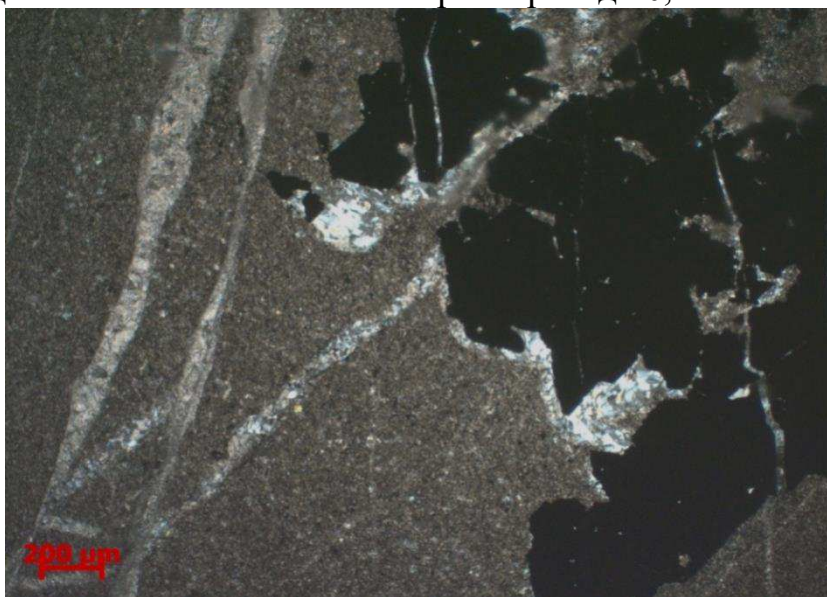


Рисунок 3.2 - Шлиф 1237-108.8; скрещенные николи. Карбонатные и кварц-карбонатные прожилки секут основную массу и скопление пирита.

Пирит-арсенопиритовые метасоматиты

В породе отмечаются единичное скопление зерен пирита размером до 1-1,5 мм, которые представлены на рисунке 3. Пирит слагает хорошо образованные кристаллы неправильной формы, окружённые оторочкой мелкозернистого кварца с примесью серицита. Зерна сульфидов трещиноваты, трещинки выполнены тонкозернистым кварцем. Углеродистое вещество распределено равномерно в виде пылевидной вкрапленности.

Сульфидизированные (пирит-арсенопиритовые) метасоматиты имеют полосчатую текстуру. Пирит и арсенопирит образуют как обособленные зерна, так и прожилки сложенные совместным их сростанием. Основная ткань сложена кварцем, серицитом, мусковитом. Развивается в сфероидах пирита кордиерит. Количество аксессуарных минералов не превышает 5%, представителями которых являются рутил, апатит.

Пирит-арсенопиритовые метасоматиты

Сульфидизированные метасоматиты этой подгруппы имеют микрозернистую структуру с ярко выраженной слоистостью. Пирит имеет сфероидальные зональные формы, где в центре отмечается мусковит и

кордиерит. Макроскопически можно увидеть метакристаллы арсенопирита, которые расположены хаотично и тонкую вкрапленность глобулярного пирита. В основную ткань породы входят серицит, кварц, мусковит, хлорит, кордиерит. Процентное количество аксессуарных минералов (рутил, апатит) не превышает 3 %.

Шлиф 1516-158 – Пирит-арсенопиритовый метасоматит. Цвет образца темно-серый. Полосчатая текстура характеризуется чередованием сланца с кварцевыми прожилками, мощностью от долей мм до 3 мм. Структура микрозернистая, участками тонкозернистый агрегат кварц-серицитового состава. Основную ткань образца слагают кварц (30-35 %), кордиерит (5-9 %), серицит (10-15 %), мусковит (15-20 %); сульфидные минералы – пирит (10-15 %) и арсенопирит (10-15 %); аксессуарный минерал – рутил (до 5 %).

Микроструктура гранобластовая, зерна обладают относительно одинаковым размером и имеют округлые или зазубренные контуры. Минеральный состав сланцев мусковит, серицит, кварц, пирит и арсенопирит. В незначительных количествах отмечаются рутил, кордиерит и карбонат.

Пирит выделяется в нескольких генерациях. Пирит-I представлен крупными агрегатами, сфероидально-колломорфной морфологии (глобулярные). Иногда встречаются глобулы с прямыми линейными ограничениями, размер 0,06-0,24 мм при 5х. В центральной части сфероидов пирита отмечается кордиерит, совместно с которым образуется крупно или мелкозернистый мусковит. Размер зерен варьирует от 0,05-0,4мм при 5х. Пирит-II имеет зональное строение как в приложении Г на рисунке 4, футляровидную структуру. Все остальные характеристики сопоставимы с пиритом-I. Пирит-III форма его кубическая, пентагон-додекаэдрическая, октаэдрическая. Размеры зерен варьируют 0,02-0,64 при 5х.

Кристаллы арсенопирита ориентированы по направлению сланцеватости. Вокруг зерен образуются дворники растяжения кварца. Арсенопирит образовался до действия на породу одностороннего давления, потому что кристаллы трещиноваты, а трещины заполнены кварцем. Для арсенопирита характерным является то, что он повсеместно имеет игольчатую форму при толщине иголочек от 0,05 до 0,5 мм и длине до 3 мм. Такая форма кристаллов арсенопирита и отсутствие упорядоченности в их ориентировке, как известно, свойственны для метасоматического его образования.

Чешуйчато-листоватые агрегаты мусковита (крупные и мелкие), ориентированы поперек сланцеватости в основной ткани. Находится также в центре глобуль пирита. Иногда минерал контактирует с кордиеритом.

Кварц серого цвета и для него характерна зубчатая гранобластовая структура. Разнозернистый, размеры зерен 0,02-0,2мм. Вокруг арсенопирита образует дворники растяжения. Также заполняет пустоты между зернами арсенопирита после воздействия давления на породу и кристаллизацию арсенопирита. Кварц образует срастания с мелкочешуйчатым серицитом.

Серицит представлен тонко и микрозернистым агрегатом, который образует сланцеватость. Является главным минералом основной ткани. Под воздействием подвижек механическая сланцеватость принимает волнистую структуру. Более мелкий агрегат серицита прорастает более крупными чешуйками минерала.

Кордиерит образует двойники срастания в пирите и реже типичные для минерала тройники. Имеет бесцветную окраску при одном николе. Находится в ядре пирита: либо один, либо в комбинации с мусковитом. Окраска от серого до светло-оранжевого при скрещенных николях. Размеры зерен 0,1-0,3 мм с содержанием 5-8 %. Кордиерит характерен для участков пород с избытком алюминия и малым количеством щелочей и кальция. Образуется за счет метаморфизма глин соответствующего ему состава. Кордиерит представлен в приложении Г на рисунке 4.

Карбонат имеет бесцветную окраску при одном николе и образует тонкозернистый агрегат. Сдвойникованный карбонат образуют гнезда между зернами кварца.

Рутил широко распространен в породе, имеет четкие границы. Приурочены к плоскостям сланцеватости, концентрируются между зернами серицита. Образуют сердцевидные срастания друг с другом.

Шлиф 1520-60 – Арсенопиритсодержащий метасоматит с глобулярным пиритом. Окраска серая или темно-серая, текстура полосатая, которая представлена углеродистым веществом серого цвета и пиритом желто-зеленого цвета. Мощность полос от долей мм до см. Макроскопически можно увидеть метакристаллы арсенопирита, которые расположены хаотично и тонкую вкрапленность глобулярного пирита. Структура микрозернистая с ярко выраженной слоистостью. В основную ткань породы входят серицит (15-20 %), кварц (10-15 %), мусковит (5-12 %), хлорит (5-7 %). Рудные минералы представлены пиритом (30-35 %) и арсенопиритом (15-20 %). Процентное количество акцессорных минералов (рутил, апатит) не превышает 3 %. Микроструктура гранобластовая.

Пирит образует прожилки мощностью от 0,1 до 0,7 мм. Имеет форму глобуль, в некоторых зернах ядро разъедается мусковитом. Образует срастания друг с другом различных форм. Зерна пирита включены в основную хлорит-серицитовую массу. Размеры зерен колеблются в пределах от 0,005 до 0,2 мм.

Ориентировка вытянутых, игольчатых кристаллов арсенопирита беспорядочная. Концентрация арсенопиритовой вкрапленности пятнисто-неоднородная. Минерал имеет более позднее образование, чем глобулярный пирит, о чем свидетельствует коррозия пирита в местах контактов этих минералов. Размеры зерен от 0,06 до 0,3 мм. В результате воздействия давления некоторые зерна арсенопирита трещиноваты, а трещины выполнены микрозернистым кварцем. Кварц имеет срастания с чешуйками мусковита.

Мусковит представлен листовато-чешуйчатым агрегатом, который заполняет ядра сфероидов пирита. Бесцветный при одном николе, при

скрещенных – высокие цвета интерференции. Находится в контакте с линзочками кварца.

Серицит имеет 0,005-0,01 мм размеры чешуек. Имеет два направления распределения: по трещинам кливажа и под углом к этим трещинам. Зерна серицита находится в контакте с пиритом и арсенопиритом.

Хлорит имеет размер зерен меньше 0,005, различить их можно только при увеличении 50х. При скрещенных николях чешуйки серого цвета, можно спутать с серицитом.

Мелкозернистый кварц образует линзочки в прослое углеродистого вещества, увидеть можно при 20х увеличении. Кварц с мусковитом образуют зернистые агрегаты. Линзочки образовались в кварц-хлорит-серицитовый массе.

Рутил имеет очень мелкие зерна, которые можно увидеть при 50х. Рельеф высокий, но наблюдается только при больших увеличениях. В рудном метасоматите присутствует апатит, также как и рутил определяется только при увеличениях выше 50х.

Пирит-антимонитовые метасоматиты

Метасоматиты этой подгруппы имеют полосчатую текстуру. Породообразующими являются кварц, серицит, карбонаты, мусковит. К аксессуарным относятся гидроокислы железа, сфен, апатит, циркон, турмалин. Содержание сульфидов не выше 30 %. При пирит-антимонитовой сульфидизации зерна пирита имеют овальные или кубические формы с четкими кристаллографическими очертаниями, арсенопирита – столбчатые, игловидные формы беспорядочного направления. Антимонит представлен ветвящимися зернами, которые заполняют трещины зерен карбоната и кварца.

Шлиф 1505-123.9 – Метасоматит с пиритом и антимонитом. Цвет светло-серый с тонкой слоистостью. Порода обладает механической сланцеватостью. Отмечается полосчатость, которая образуется за счет чередования углеродистого вещества, кварца, антимонита. Наблюдаются метакристаллы пирита, которые находятся в цементе антимонита. Структура микрозернистая. Антимонитовая минерализация связана с кварцевыми жилами и прожилками различной длины и мощности. Метасоматит сложен серицитом(15-20 %), кварцем(15-20 %), доломитом (10-15 %), кальцитом (10-15 %), антимонитом(20-25 %). В незначительных количествах отмечаются пирит(5-10 %), гидроокислы железа, сфен, апатит, циркон (сумма количества аксессуарных минералов достигает 5-8 %).

Микроструктура гранобластовая с подчиненным развитием аллотриоморфно-гипидиоморфнозернистых и игольчатых агрегатов.

Пирит имеет овальные и кубические формы. Размер агрегатов достигает 0,4-0,7 см. Пирит находится в контакте, как с антимонитом, так и с кварцем. Макроскопически в шлифе наблюдаем 5 зерен пирита разных размеров. Скорее

всего, в данном образце мы наблюдаем пирит третьей генерации, потому что это правильные хорошо ограненные кристаллы кубической формы, которые встречаются в кварц-антимонитовых жилах.

Антимонит образует амебовидные формы, заполняющие трещины между карбонатом и кварцем, который представлен в приложении Г на рисунке 8. Размер зерен от 0,35 до 0,7 мм, реже 2,4 мм, в длину и от 0,1 до 0,4 мм в толщину. Карбонат как бы ограняет зерна антимонита. Крайне неравномерном распределении антимонита в основной массе. Макроскопически можно увидеть слабоветвистые прожилки мощностью от 0,16 до 1,6 мм.

Кварц серого цвета при скрещенных николях, разнозернистый. Находится в контакте с карбонатами и серицитом. Размеры варьируют от 0,005 до 0,4 мм, с удалением от зерен антимонита уменьшается размер.

Серицит образует очень тонкозернистый листовато-чешуйчатые агрегат в образце, который образует механическую сланцеватость. Очертания зерен можно увидеть при 50х увеличении и больше. Двупреломление зерен достигает 0,025-0,027.

Циркон имеет серый цвет при скрещенных николях, высокий рельеф. В шлифе насчитываются единичные зерна мелких размеров, увидеть можно только при увеличении 50х. Сфен находится в контакте с антимонитом. Размер зерен 0,04-0,08 мм при увеличении 5х. Имеет высокий рельеф, перламутровую интерференционную окраску. Апатит имеет призматические формы белого цвета. Размеры 0,0001-0,0002 мм, можно увидеть только при 60х увеличении.

Шлиф 1519-39.5 – Милонитизированный метасоматит. Данный сланец имеет серый цвет с различными оттенками яркости. Текстура милонитизированная, линзовидная, наблюдается чередования линзочек кварца, карбоната пирита. Структура микрозернистая с отчетливой слоистостью. В таблице 3.5 представлен минеральный состав породы.

Таблица 3.5 - Минеральный состав

Основная ткань:	Содержание, %
Кварц	15-20
Серицит	5-10
Мусковит	20-25
Карбонат	5-10
Сульфиды:	
Пирит	10-15
Арсенопирит	10-15
Антимонит	До 5
Акцессорные минералы:	
Рутил, турмалин	до 3

Микроструктура гранобластовая.

Пирит распределяется вдоль поверхности сланцеватости. Форма кристаллов его кубическая, пентагон-додекаэдрическая, октаэдрическая.

Размеры зерен варьируют от долей мм до 0,4 мм. Образует сростания с арсенопиритом.

Минеральные обособления арсенопирита образуют беспорядочно ориентированные столбчатые и игольчатые с ромбовидным поперечным сечением зерна и агрегаты, в соответствии с приложением Г рисунок 9. Размер зерен от 0,35 до 0,7 мм, реже 2,4 мм, в длину и от 0,1 до 0,4 мм в толщину. Вокруг зерен наблюдаются дворники растяжений кварца. Как правило, чем мельче кристаллы арсенопирита, тем выше в них содержания золота.

Антимонит образует длиннопризматические агрегаты. Находится в контакте с карбонатом. Антимонит разъедает карбонат с краев зерен и по спайности, сечет его тонкими жилками.

Мусковит слагает основную ткань породы. Находится в контакте с кварцем, серицитом, пиритом и арсенопиритом. Размеры чешуек достигает 0,1-0,5 мм и они имеют оранжевый, красно-оранжевый, оранжевый с розовым оттенком цвета при скрещенных николях. Образует сростания друг с другом различных форм.

Зерна карбоната трещиноватые и сконцентрированы вокруг зерен антимонита. Размеры 0,05-0,2 мм. Контактируют с кварцем.

Серицит разномзернистый. Он кристаллизуется в виде мелкочешуйчатых агрегатов на стыках зерен кварца и образует оторочки кварцевых прожилков во вмещающих породах. Мелкие чешуйки прорастают зерна кварца, размер 0,005-0,01 мм, имеют разно ориентированное направление, располагаются около антимонита. Более крупные зерна имеют размер 0,1-0,3 мм находятся вокруг зерен пирита и арсенопирита.

Кварц образует небольшие дворники растяжения около арсенопирита. Размер зерен 0,01-0,3 мм в сланцеватости при увеличении 5х. Рядом с зернами антимонита размеры кварца значительно увеличиваются до 1-1,5 мм.

Рутил очень мелкий. Сыпь его мельчайших кристаллов располагается в сериците по сланцеватости. Образуется в результате преобразования породы. Турмалин можно увидеть только при 60х увеличении светло-зеленого цвета. Располагается в сериците.

Вывод: в результате исследований сульфидизированные сланцы с повышенной, часто промышленной золотоносностью характеризуется тонкой слоистостью, развитием секущего слоистость кливажа. Сочетание кливажа осевой плоскости к первичной слоистости формирует будинаж-структуру сланца. Наиболее яркой особенностью пород является тонкая вкрапленность глобулярного пирита, по количественному распределению которого регистрируется первичная слоистость. Во внутренних участках сфероидных обособлений пирита отмечается законсервированный глиноземисто-кремнистый субстрат первичного осадка, раскристаллизованный при диагенезе и метаморфизме до кварца, мусковита и кордиерита. Антимонитовая минерализация связана с кварцевыми жилами и прожилками различной длины и мощности. Основную ткань породы слагают мусковит, серицит, кварц,

карбонат. Процентное количество аксессуарных минералов (рутил, апатит, сфен, циркон, турмалин) не превышает 8 %.

3.2. Минералогия руд

Рудам Удерейского месторождения свойственны массивная, брекчиевая, прожилковая и прожилково-вкрапленная текстуры. Массивная текстура наиболее типична для основной массы кварц-антимонитовых и кварц-антимонит-бертьеритовых руд.

Главными минералами месторождения являются антимонит, содержание которого по простиранию и падению рудных тел часто колеблется в чрезвычайно широких пределах (от долей до десятков объемных процентов) и бертьерит, имеющий подчиненное значение, а среди жильных минералов – кварц. Довольно часто в рудах присутствует арсенопирит, пирит, серицит и карбонаты. Редкими минералами являются сфалерит, халькопирит, блеклая руда, весьма редкими – самородное золото, самородная сурьма. Присутствие золота в сурьмяных рудах связано с процессом его заимствованием из вмещающих золотосодержащих пород и последующем переотложении на собственно золото-арсенопиритовой стадии рудообразования.

3.2.1. Нерудные минералы

Нерудные минералы Удерейского месторождения это кварц, карбонаты, серицит, мусковит, хлорит, кордиерит.

Кварц распространен широко и имеет разномасштабное строение. В зависимости от этапа образования выделяют шесть генераций.

Кварц-I является одним из минералов основной массы сланцев. В основном это неразлично зернистые агрегаты, но иногда наблюдаются единичные зерна кварца с четкими очертаниями и серым цветом в скрещенных николях, размер которых составляет 0,001-0,005 мм. *Кварц-II* макроскопически молочно-белый, крупнозернистый с многочисленными гнездами карбоната. С кварцем этой генерации ассоциирует серицит и хлорит на контактах со сланцами, пирит-II. Золото в нем, как правило, отсутствует. *Кварц-III* серый, светло-серый средне- и крупнозернистый. Сероватый цвет и оттенок кварцу придают многочисленные мельчайшие включения сланцев, зачастую сульфидизированных. С этим кварцем, образующим в основном тонкие прожилки, связаны сульфиды – пирит-III и арсенопирит-I. Кварц образует зубчато-гранобластовую структуру и дворники растяжения вокруг зерен арсенопирита. *Кварц-IV* слагает маломощные кварц-карбонатные или кварцевые прожилки, прямолинейные, реже с раздувами и пережимами. Имеют мощность до 0,1-0,3 мм. Секут ранние доломитовые прожилки. Прожилки зональные, краевые части сложены доломитом, слагающим хорошо образованные ромбовидные кристаллы (до 0,1 мм). Центральные части

сложены зёрнами кварца с волнистым погасанием размером до 0,1 мм. *Кварц-V* связан с формированием сурьмяных руд и образует прожилки, гнезда или отдельные полупрозрачные кристаллы в сплошной антимонитовой массе. В целом этот кварц безрудный и отличается от золотоносного кварца более светлой окраской, повышенным (до 40-50% и более) содержанием карбоната. Макроскопически *кварц-VI* практически не виден, при микроскопическом наблюдении видны раздробленные зерна перекристаллизованного кварца-V в сплошной антимонитовой массе.

Карбонат образует микропорфириобласты. Микропорфириобласты имеют размер 0,2-0,4 мм и слагают до 25 % объёма породы. Форма карбонатных зональных выделений изометричная, овальная, реже ромбовидная. В центральной части глобуль иногда отмечаются зерна пирита-II размером (до 0,03-0,04 мм), вокруг которых наблюдаются концентрические каемки, которые представлены в приложении Г на рисунках 3-5. Прозрачные каемки представлены кальцитом, коричневые и светло-коричневые доломитом. Иногда в центральных частях микропорфириобласт наблюдаются включения мелкозернистого кварца и серицита. Отмечаются сростки 3-х и более микропорфириобласт. **Доломит** слагает хорошо образованные ромбовидные крупные кристаллы и ксеноморфные выделения. Иногда крупные зерна пронизаны прерывистыми прожилками мелкозернистого кварца, реже мелкочешуйчатого серицита. Доломит имеет бурую окраску и в основном находится около зерен антимонита. У **Кальцита** наблюдается структура, которая обусловлена динамическим воздействием. Две системы двойниковых пластинок, которые в какой-то мере смещают друг друга. Отмечаются редкие двойники скольжения по спайности. Кальцит развивается как самостоятельный минерал, редко в прожилках с доломитом, чаще между зёрнами кварца. Двуотражение и анизотропия как у доломита. **Сидерит** чаще всего встречается с кальцитом, иногда с кварцем и пиритом, реже образует самостоятельные прожилки мощностью не больше одного миллиметра. Сидерит обладает более высокой отражательной способностью, чем кальцит и доломит. Двойники редки по сравнению с кальцитом.

Серицит постоянно присутствует во вмещающих породах Удере́йского месторождения, где образует основную ткань, и в кварцевых жилах, где он отмечается на контактах и в тесной ассоциации с карбонатом. В основной массе серицит образует тонко и микрочешуйчатые параллельно лепидобластические агрегаты. Чешуйки имеют два направления: по трещинам кливажа и под углом к этим трещинам. Также слюдистый минерал образует маломощные прожилки размером 0,02-0,05 мм, которые имеют разноориентированное направление, и образует линзочки механической сланцеватости. Прожилки ориентированы согласно сланцеватости. На контакте прожилка и основной массы чешуйки серицита имеют более высокую интерференционную окраску и размер зерен, чем в межзерновом пространстве. В приложении Г на рисунке 7 представлена плейчатая, волнистая структура, которая образовалась под воздействием подвижек механической сланцеватости. Во время метаморфогенно-

метасоматического этапа серицит образует микропорфиробласты, которые имеют размер 0,1-0,3 мм. Образуют овальные или изометричные формы. Очень редко в этих агрегатах отмечаются зерна рудного минерала (пирит-II).

Мусковит размеры чешуйчато-листоватых, пластинчатых агрегатов крупные и мелкие, ориентированы поперек сланцеватости в основной ткани. На рисунке 3 представлен мусковит, который находится в центре глобуль пирита-III совместно с кордиеритом. Минерал бесцветный при одном николе, при скрещенных николях имеет голубой, светло-розовый, бирюзовый цвет.

Хлорит чаще всего представлен разно-ориентированными вытянутыми чешуйками бледно-зелёного цвета в основной массе сланца совместно с серицитом. Иногда наблюдаются единичные обособленные агрегаты сине-фиолетового цвета при скрещенных николях хлорита размером до 0,7 мм, наполненные включениями углеродистого вещества. Форма агрегатов овальная или неправильная. Наличие серицит-хлоритовой оторочки у кварцевых жил на контакте со сланцами свидетельствует об отсутствии в них золота.

Кордиерит имеет прямое погасание (в шлифе), короткостолбчатые кристаллы, пойкилобласты. Минерал образует двойники срастания в пирите-II и реже типичные для минерала тройники как на рисунке 3.3. Имеет бесцветную окраску при одном николе, при скрещенных николях светло-оранжевую, оранжево-желтую. Находится в ядре пирита: либо один, либо в комбинации с мусковитом, который его замещает. Размеры зерен 0,1-0,3 мм с содержанием 5-8 %.

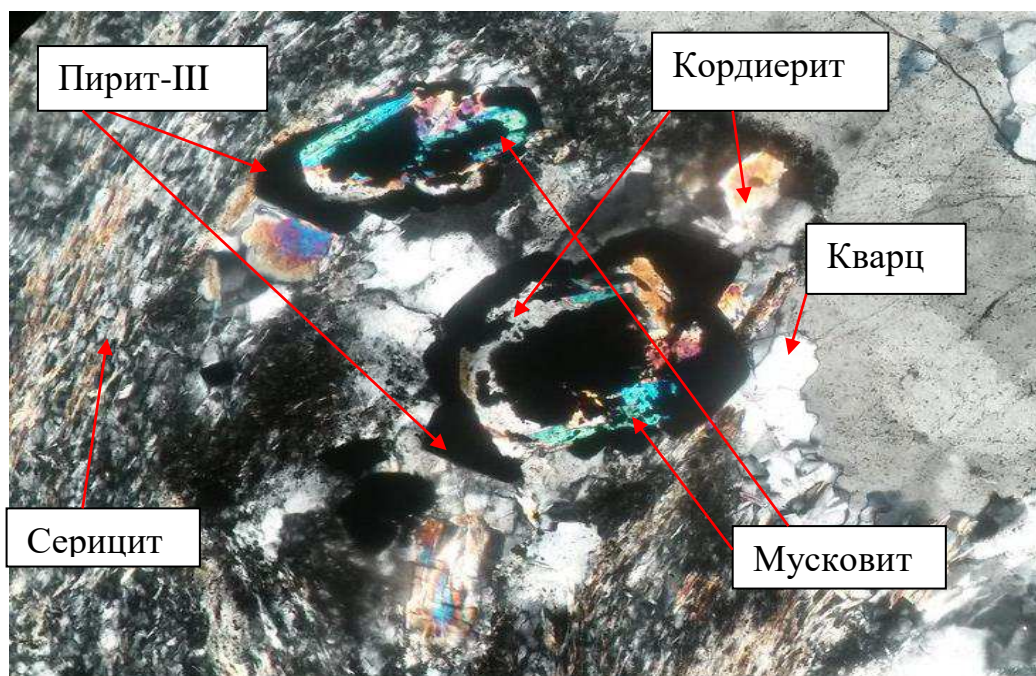


Рисунок 3.3 – Шлиф 1505-123.5; скрещенные николи. Двойники срастания кордиерита в зональном пирите-II.

Альбит представлен в виде неправильных, таблитчатых, реже изометричных форм. Без анализатора минерал бесцветный. Отмечаются

полисинтетические двойники, размер зерен 0,01-0,03 мм. От кордиерита отличается тем, что у альбита не прослеживается прямое погасание

3.2.2. Рудные минералы

Минералами сульфидной минерализации являются пирит, арсенопирит, антимонит, бертьерит, пирротин, халькопирит, сфалерит, блеклая руда, рутил, анатаз, самородное золото и самородная сурьма.

Пирит является наиболее распространенным рудообразующим минералом. Он образует рассеянную мелкозернистую вкрапленность, послойные и эллипсоидальные образования, шпирообразные скопления. При всем своем многообразии форм проявления достаточно надежно выделяется пять генераций пирита.

Пирит-I предположительно представлен пылевидной рассеянной вкрапленностью в глинистой массе, которая отлагалась в бассейне осадконакопления и перекристаллизации в литофицированной породе в процессе диагенеза метаморфизма и метасоматоза. Не измененных реликтов не обнаружено.

Пирит-II является перекристаллизованным осадочным пиритом первой генерации. Чаще всего пирит-II локализуется в центре глобуль карбоната, который представлен в приложении Г на рисунке 2, но также отмечаются единичные случаи нахождения его около овальных образований группы карбонатов или на контакте глобуль с основной массой. Размер минерала изменяется в зависимости от его положения относительно микропорфириобласт карбоната. По периферии микропорфириобласт пирит-II отмечается в виде мельчайших пылевидных частиц, а с приближением к центру приобретает кристаллографические очертания и укрупняется в размерах.

Пирит-III представлен крупными агрегатами, сфероидально-колломорфными образованиями (глобули), внутренняя структура которых выявляется только при травлении, также отмечается зерна зонального строения с футляровидной структурой. Центральная часть сфероидов, как правило, разъедается кордиеритом, совместно с которым образуется крупно или мелкозернистый мусковит в соответствии с рисунком 3.3. По трещинам он замещается арсенопиритом или кварцем, а по периферии образуется каемка переотложенного пирита-IV или гребенчатого кварца с примесью серицита. В зональном пирите в центральной части предположительно перекристаллизованный осадочный пирит-I, вокруг которого образовывается пирит второй генерации с прямыми гранями. В породе пирит-III находится как обособленные зерна, так и срастания различных форм, зернистые агрегаты. Пирит-III находится в ассоциации с арсенопиритом-I, пирротинном и с самородным золотом второй генерации, что можно наблюдать в приложении Г на рисунке 4.

Пирит-IV развивается вдоль поверхности сланцеватости. Макроскопически можно наблюдать приближенные к кубической,

октаэдрической формам скоплений пирита, размер их от 0,01 мм до 0,7 см, но при микроскопическом исследовании этих агрегатов, наблюдается плотное срастание пирита-IV со всеми рудными минералами. В приложении Г на рисунке 6 представлена основная ассоциация – это пирит-IV – сфалерит – арсенопирит-II. Вид цельного зерна создают пирит-IV и арсенопирит-II, так как четких границ не наблюдается, а отличить можно только по внутренним рефлексам. Внутренние рефлексии у арсенопирита насыщенные, ярко синего, бордового цвета. Очень редко по цвету без анализатора можно различить кристаллы пирита и арсенопирита, которые подвергались давлению, вследствие чего трещины замещались кварцем. Содержание в породе – от единичной вкрапленности до сплошных массивных образований.

Пирит-V встречается только в кварцевых, кварц-карбонатных и антимонитовых жилах. Макроскопически это правильные, хорошо ограненные с ярким блеском граней кристаллы, размером 0,2-0,7 см, соломенно-желтого цвета. В основном его содержание не превышает 3 % от основной массы. Микроскопически форма зерен имеет четкие кристаллографические очертания кубической формы. В породе имеет неравномерное распространение. Находится в ассоциации с арсенопиритом-III, антимонитом и бертьеритом первой генерации, перекристаллизованным золотом-III.

Арсенопирит второй по значению рудный минерал и в пределах месторождения в основном распространен в виде сыпи идиоморфных зерен в сланцах; можно наблюдать арсенопирит в зальбандах кварцевых жил, непосредственно в кварце встречается очень редко. Макроскопически уверенно выделяется три его генерации.

Арсенопирит-I часто наблюдается в трещинах пирита или замещает его до образования полных псевдоморфоз. Цвет кристаллов под микроскопом светло-желтый со слабыми внутренними рефлексиями синего, бордового цвета. Минеральные обособления арсенопирита образуют столбчатые и игольчатые с ромбовидным поперечным сечением зерна и агрегаты. Размер зерен от 0,35 до 0,7 мм, реже 2,4 мм, в длину и от 0,1 до 0,4 мм в толщину. Относительный рельеф минерала выше пирротина, но ниже пирита. Кристаллы трещиноваты, иногда отмечаются двойники. Иногда зерна арсенопирита-I с ромбовидным сечением имеют четко выраженное зональное строение. Нередко в сланцах можно наблюдать прожилково-вкрапленные выделения, которым тяготеют относительно крупные чешуйки мусковита и дворники растяжения кварца. Общее содержание арсенопирита – от единичных вкрапленников до 40-50% в сплошных арсенопирит-пиритовых скоплениях. В основном кристаллы арсенопирита ориентированы по направлению сланцеватости породы. Отдельные зерна арсенопирита несут тонкую вкрапленность сфалерита.

Арсенопирит-II наблюдается в ассоциации с пиритом-III и сфалеритом. Эта группа минералов образует плотные срастания друг с другом, создавая вид одного зерна, так как четких границ не наблюдается, а отличить можно только по внутренним рефлексам и если приглядеться к цвету минералов. Внутренние рефлексии насыщенные, ярко синего, бордового цвета. Арсенопирит без

анализатора имеет белый окрас с желто-розовым оттенком. Предположительно арсенопирит-II является реликтовым минералом и перекристаллизации арсенопирита-I. Форма выделений такого минерала не отличаются от выше описанного арсенопирита-I.

Арсенопирит-III образует сыпь игольчатых кристаллов в сланцах вблизи тонких кварцевых прожилков. Арсенопирит имеет короткостолбчатые, игловидные кристаллы, которые имеют разноориентированное направление. Цвет и внутренние рефлексы, относительный рельеф такие же, как и у арсенопирита-I. Иногда зерна арсенопирита-III находятся в кварцевых прожилках, которые секут ксенолиты сланцев и выходят в антимонитовую массу. Вследствие чего можно предположить, что арсенопирит-III является перекристаллизованным арсенопиритом первой генерации.

Антимонит и бертьерит являются главными минералами сурьмяных руд. Образует они либо прожилки собственно бертьерит-антимонитового состава, либо встречается в кварцевых, чаще в кварц-карбонатных прожилках. В зависимости от типа руд содержание антимонита и бертьерита изменяется от 10 – 15 % во вкрапленных рудах, до 90 – 95 % в массивных, а размер зерен от сотых долей до нескольких миллиметров. В массивных рудах преобладает размер зерен 0,2 – 0,5 мм, в прожилково-вкрапленных – чаще 0,5 – 1 см. При исследовании породы можно выделить две генерации минералов.

Антимонит-I и бертьерит-I имеют вид длинно табличных агрегатов или среднезернистых скоплений до 2,0-2,5 см. Минералы имеют серый цвет, сильное двуотражение и образуют лапчатые формы как в приложении Г на рисунке 10. Наблюдаются обособленные игольчатые кристаллы в кварцевой массе. Отдельные зерна минералов полисинтетически сдвойникованные, которые имеют волнистое погасание и фигуры смятия. Пластинки двойников имеют различную ширину. Эпизодически, выделения антимонита и бертьерита находятся в сростках со сфалеритом, в единичных случаях с пиритом-V, причем антимонит является более поздним минералом, обрастая и пирит и сфалерит. В аншлифах редко наблюдается срастание антимонита с самородной сурьмой, что отражено в приложении Г на рисунке 11. Отмечается контакт с рутилом.

Антимонит-II и бертьерит-II являются милонитизированными разновидностями этих минералов первой генерации. Образование милонитизированной антимонитовой руды происходило за счет тектонических подвижек, которые нарушали целостность структур бертьерит-антимонит-кварцевых жил, в результате чего образовывались рудные брекчии бертьерит-антимонит-кварцевого состава, как представлено в приложении Г на рисунке 12. Сурьмяные минералы этой стадии характеризуются гранобластовым внутренним строением зерен, развитием многочисленных двойников давления.

Халькопирит являются мало распространенным минералом. Имеет светло-желтый цвет и слабое двуотражение. Относительный рельеф меньше, чем у сфалерита и пирротина. В основном халькопирит образует аллотриоморфные агрегаты малых размеров (не превышают 0,06 мм), которые

выполняют промежутки между другими рудными минералами. Тесные сростания обусловлены механически воздействием. Эффект анизотропии в скрещенных николях слабый. В зависимости от его сочетания с другими минералами выделяются две генерации.

Халькопирит-I находится в ассоциации с пиритом-IV или в виде мельчайших скоплений в сфалерите, как продукт распада твердых растворов. Обособленные зерна имеют размер до 0,05 мм.

Халькопирит-II обнаружен в полированных шлифах под микроскопом в бертьерит-антимонитовых рудах. Совместно блеклой рудой-II и антимонитом-I он образует редкие сростания, приуроченные, как правило, к кварцевым прожилкам.

Пирротин имеет под микроскопом бежевый цвет с серым оттенком. Так как минерал отмечается в ничтожных количествах, и установить какие-либо его особенности очень сложно, но все же, в редких случаях можно заметить внутренние рефлексии желтовато-серого цвета. Относительный рельеф выше сфалерита и халькопирита, но меньше пирита. Находится в виде вкрапленников в пирите-III и пирите-IV, как показано в приложении Г на рисунке 5.

Блеклая руда относится к редким минералам, и ее размеры сильно меняются, но не превышают 0,2 мм. Цвет в полированных шлифах серовато-белый с легким коричневатым оттенком. Внутренние рефлексии заметны только при очень внимательном наблюдении.

Блеклая руда-I замещает раздробленный пирит-IV, имеет неправильные «кляксообразные», пластинчатые формы.

Блеклая руда-II образует единичные самостоятельные скопления в кварце в виде капелек, часто цементирует пирит-арсенопиритовый агрегат. Блеклая руда замещает антимонит-I, однако это наблюдается очень редко.

Сфалерит имеет распространение, не превышающее 10 %. Цвет зерен светло-серый с синеватым оттенком. Развита, в основном, в кварц-карбонатных прожилках в виде почковидных зерен размером 0,3-0,5 мм, реже скоплений до 1,0-1,5 см, либо отмечается в ассоциации с пиритом-IV и арсенопиритом-II (в виде включений). Для сфалерита характерны двойники роста и структуры распада твердого раствора сфалерит-халькопирит. Форма образований аллотриоморфнозернистая, пластинчатая, неправильная вытянутая.

Анатаз, рутил встречаются достаточно часто, в не больших количествах. Кристаллы имеют неправильные, овальные, длинностолбчатые формы, вытянуты вдоль теневой сланцеватости (в шлифе), реже волосовидные (в аншлифе). Цвет серый в аншлифах как на рисунке 3.4, а в шлифах имеет бурую окраску с едва заметным плеохроизмом. Также отмечаются корродированные зерна. Рутил имеет размер от «пылинок» до 0,2 мм. Двойники различных форм отмечаются только в шлифах. Относительный рельеф несколько меньше, чем у пирита. Исследованные образцы с рутилом являются боковыми породами рудных жил. По сравнению с рутилом анатаз отчетливо темнее, не обладает заметным двуотражением и белый или с синеватым оттенком, а не желтовато-коричневый (в проходящем свете).

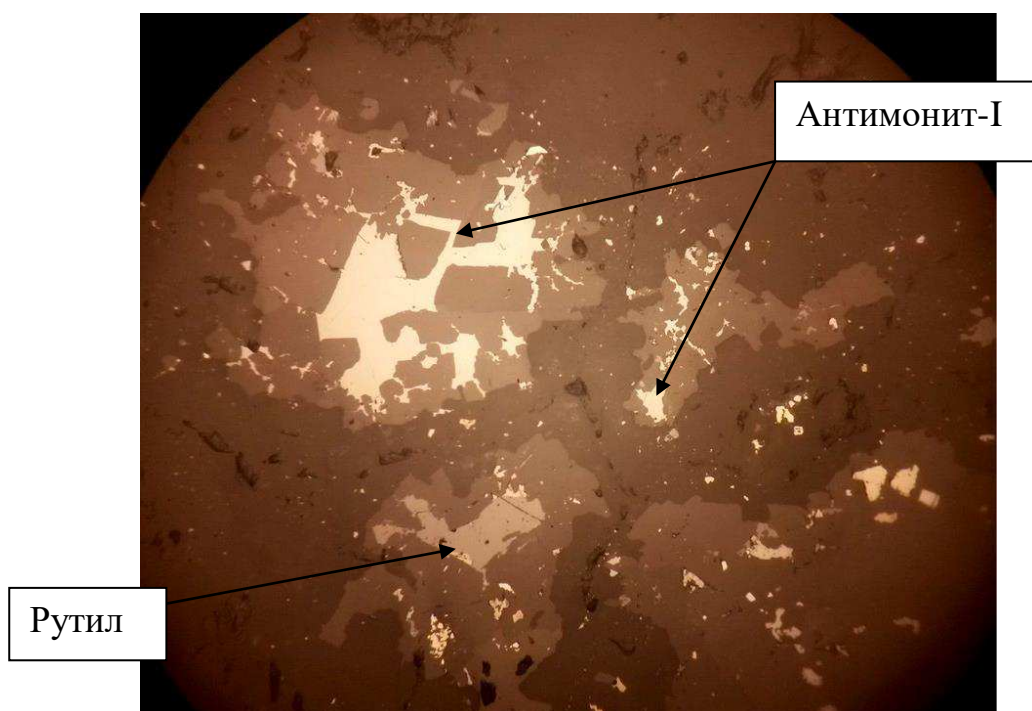


Рисунок 3.4 - Аншлиф 1230-97.2. Зерна антимонита-I и рутила в карбонатной массе

Самородная сурьма единичные зерна встречаются в образце 1435/85.2. Имеет ярко-белый цвет, отражательная способность высокая. В природе встречается в виде очень мелкозернистых агрегатов с зазубренными очертаниями зерен и наростных масс как в приложении Г на рисунке 11. Основная часть сурьмы образуется из антимонита гипергенным путем. Самородная сурьма связана с гидротермальными образованиями, особенно жилами.

Самородное золото наблюдалось в образце 1433-99.9 в виде мелкой вкрапленности аллотриоморфнозернистых агрегатов. Окраска в полированном шлифе золотисто-желтая, отражательная способность высокая. Относительный рельеф ниже блеклой руды, приблизительно как у халькопирита. При скрещенных николях, даже при гладкой поверхности выявляются царапины.

Самородное золото-I предположительно образовалось в сульфидизированных осадочных породах седиментогенного этапа.

Самородное золото-II находится в ассоциации с пирит-III – арсенопирит-I – пирротин – кварц-III. Содержание золота-II в пиритизированном сланце находится в прямолинейной зависимости от содержания пирита.

Самородное золото-III является перекристаллизованным золотом второй генерации и находится в бертьерит-антимонит-кварцевых прожилках гидротермального этапа.

3.2.3 Прецизионные исследования минералов руд

В разделе приведены результаты аналитических работ по изучению типоморфных особенностей главных минералов руд, которые представлены в

таблице 3.6. Аналитические работы включали в себя точечное определение химического состава сульфидов методом микрорентгеноспектрального анализа; определение элементов-примесей в сульфидах с использованием ICP-MS; рентгеноструктурное и Мёссбауэровское исследование кристаллохимии арсенопирита; термобарогеохимические опыты по изучению флюидных включений в жильном кварце месторождения.

Таблица 3.6 – Реестр изученных минералов

№ пп	№ лаб	Минерал, морфология	Ассоциация
1	1515/80,9	Арсенопирит, удлиненный игольчатый	Углеродистый сланец с тонкой пирит-арсенопиритовой вкрапленностью
2	1512/96,8	Арсенопирит, удлиненный игольчатый	Сливной кварц с прожилковой, мелкозернистой пирит-арсенопиритовой минерализацией
3	1520/38,8	Арсенопирит, удлиненный игольчатый	Углеродистый сланец с рассеянной вкрапленностью арсенопирита и мощным слоем мелкозернистого пирита
4	РУ-19	Арсенопирит, удлиненный игольчатый	Углеродистый сланец с мощным кварц-пирит-арсенопиритовый прожилком, арсенопирит как в сланце, так и в прожилке
5	1520/38,8	Пирит, кубические кристаллы	Углеродистый сланец с рассеянной вкрапленностью арсенопирита и мощным слоем мелкозернистого пирита
6	1435/101,2	Пирит, пентагондодекаэдр	Углеродистый сланец с тонкой пирит-арсенопиритовой вкрапленностью
7	1436/154,6	Пирит, кубические кристаллы	Углеродистый сланец
8	1505/123,9	Пирит, кубические кристаллы	Углеродистый сланец с многочисленными кварцевыми жилками, пирит-антимонитовая минерализация ассоциирована с кварцем, в сланце - арсенопирит
9	1505/123,9	Антимонит, обломки	Углеродистый сланец с многочисленными кварцевыми жилками, пирит-антимонитовая минерализация ассоциирована с кварцем, в сланце - арсенопирит
10	1520/54	Антимонит, обломки	Массивный антимонит с включениями кварца
11	1506/12,9	Кварц	Молочно-белый сливной кварц с жилкой пирита и арсенопирита
12	1521/96,8	Кварц	Молочно-белый сливной кварц с жилкой пирита и арсенопирита
13	РУ-2	Кварц	Крупнозернистый молочный кварц с гнездами антимонита и единичными кристаллами пирита
14	РУ-12	Кварц	Жила крупнозернистого молочного кварца в углеродистом сланце. В центре кварцевой жилы антимонит. В сланце – пирит и арсенопирит

Кварц

Методами термобарогеохимии изучено четыре образца жильного кварца, которые представлены в таблице 3.6. Параметры образования жильного кварца месторождения определены по 74 флюидным включениям. Форма вакуолей включений часто изометричная или удлинённая, отмечаются амебообразные формы. Для кварца месторождения выделены два типа включений: I – двух- и однофазные с углекислотой в соответствии с рисунком 3.6а; II – двухфазные существенно водные как на рисунке 3.6б. Включения всех типов сосуществуют совместно, что может указывать на их образование из одного флюида, при его расслоении на две несмешивающиеся жидкости.

Температуры полной гомогенизации включений варьируют в пределах 250-309°C для включений первого типа и 124-315°C – второго. Все результаты микротермометрических исследований представлены в таблице 3.7. На рисунке 3.5 (гистограмма распределения температур гомогенизации) отмечается два пика, соответствующие 140-160 и 290-310°C. В интервале температур 180-280°C намечается появление «размазанного» максимума в области 200-240°C. Для изученных включений характерна гомогенизация в жидкость.

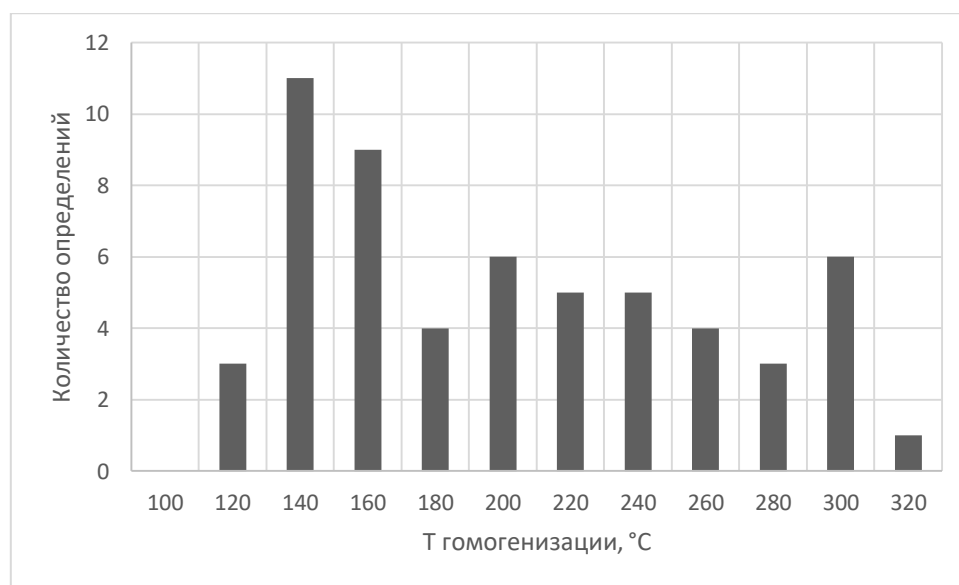


Рисунок 3.5 - Гистограмма температур гомогенизации флюидных включений

Соленость водного раствора изменяется в широких пределах от 2 до 13 мас. % NaCl_{экв.}, в среднем составляя 7-8 мас.%. исходя из полученных температур эвтектики водно-солевого раствора, можно предполагать присутствие в нем хлорида натрия.

Таблица 3.7 – Результаты микротермометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце месторождения Удерей

Тип	T _{гом} , °C	Водная фаза		Соленость NaCl _{кв.} , мас. %	Газовая фаза	
		T _{эвт} , °C.	T _{плав} , °C		T _{плав} , °C	T _{гом} , °C
I	250-309				-56,2...-57,6	13,3...28,5
II	124-315	-21,0...-22,0	-9,3...1,5	2,4...12,9		

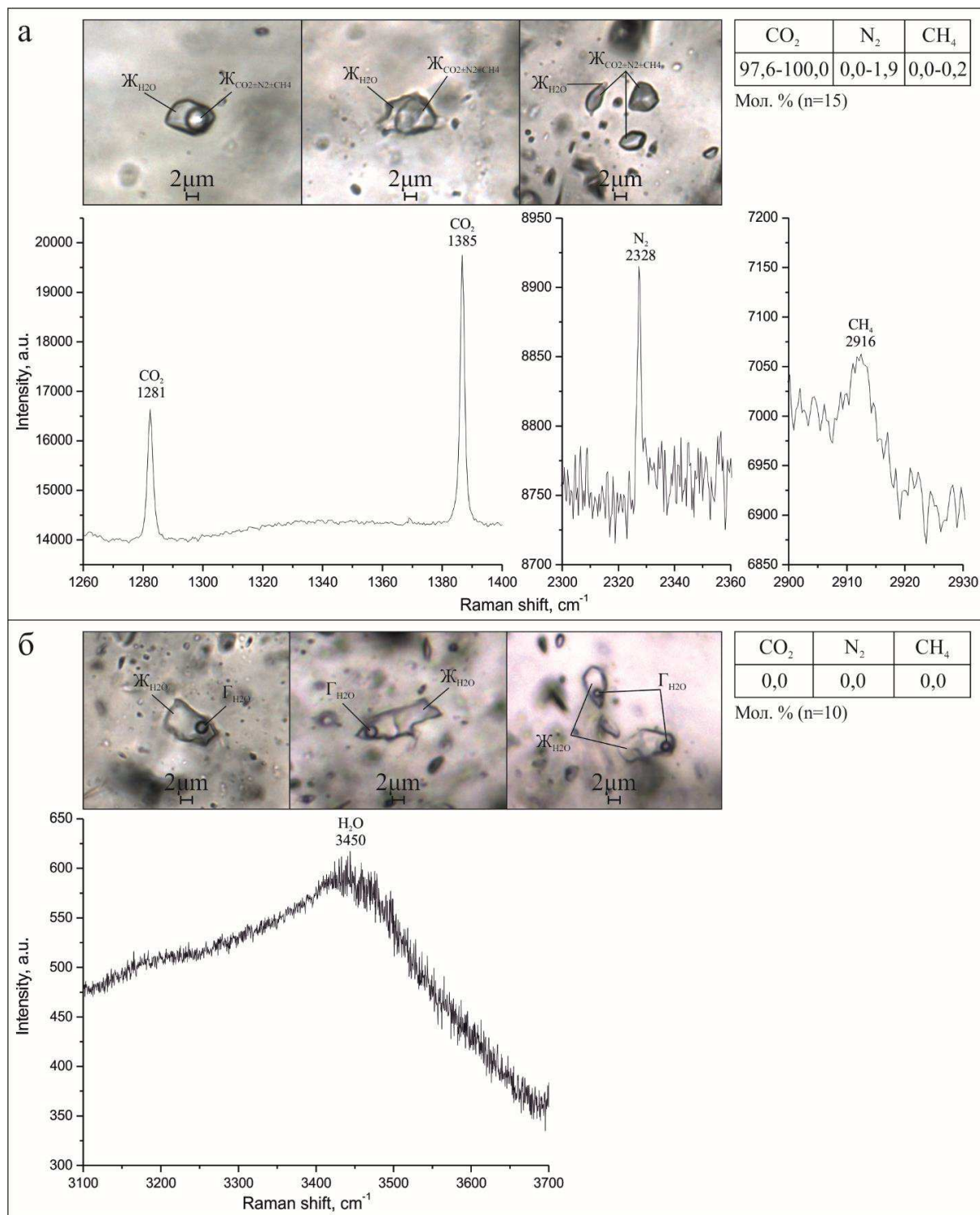


Рисунок 3.6 - Типы флюидных включений и Рамановские спектры газовой фазы

По данным Рамановской спектроскопии индивидуальных флюидных включений обнаружено присутствие углекислоты, азота и метана. Преобладающим газом включений является CO_2 , азот и метан обнаружены в одном из 15 исследованных включений, которые представлены на рисунках 3.5 и 3.7. Содержание их не превышает 2 мол.% для азота и 0,2 для метана, соответственно. Преобладание углекислоты указывает на окислительный характер рудообразующего флюида. Рассчитанное (по единственному включению, содержащему метан) значение отношения CO_2/CH_4 составило 625,6. Доминирование CO_2 во включениях указывает на слабокислый или близнеутральный характер флюида.

Температуры плавления твердой углекислоты варьируют от $-56,2$ до $-57,6^\circ\text{C}$ (близкие к эталонному значению плавления газгидрата подтверждают преобладание во включениях углекислоты), частичная гомогенизация газгидрата происходит в интервале $13,3-28,5^\circ\text{C}$, что позволяет оценить плотность флюида в $0,64-0,83 \text{ г/см}^3$. При температуре полной гомогенизации углекислотных и сингенетичных им существенно водных включений $250-309^\circ\text{C}$, рудообразующий флюид мог существовать при давлении $0,7-1,5 \text{ кбар}$.

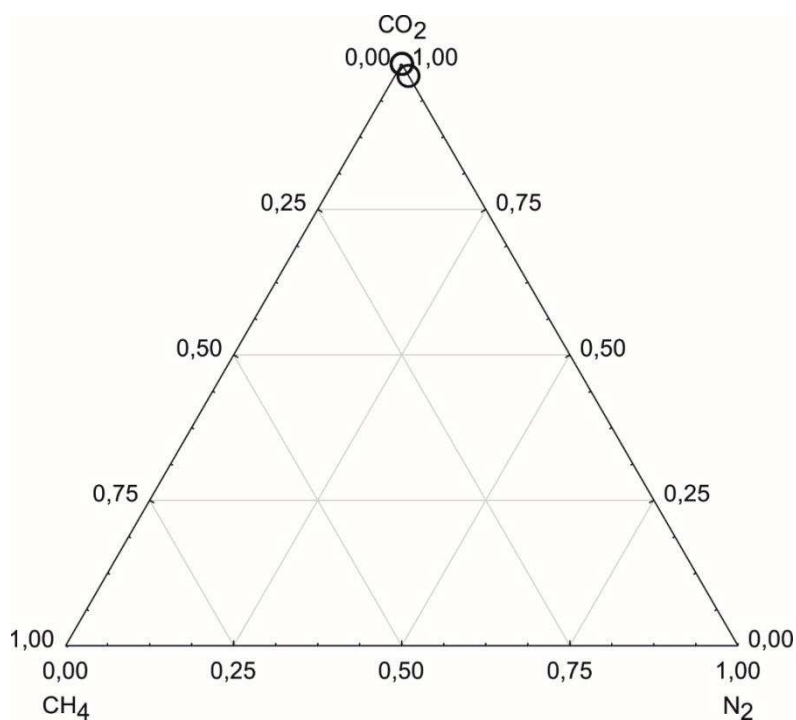


Рисунок 3.7 - Состав газовой фазы индивидуальных включений

Ранее Э.Г. Дистанов с соавторами изучая дорудный и рудный, сопровождающий сурьмяную минерализацию, кварц выделили три типа флюидных включений в нем (Дистанов и др.) [2.6]. Первичные газово-жидкие включения, содержащие жидкую углекислоту и газ имеют изометричную форму, часто встречаются формы отрицательных кристаллов. Для них характерно высокое содержание CO_2 до 60 вес.%, и низкая соленость (температура плавления $\sim 0^\circ\text{C}$). Гомогенизация таких включений проходит в интервале $200-350^\circ\text{C}$, при чем более высокая температура характерна для

включений с повышенной концентрацией углекислоты. Давление консервации включений авторами оценено в 0,3-1,1 кбар.

Второй тип представлен вторичными углекислота-водными включениями, расположенными вдоль трещин. Содержание CO_2 в них достигает 20 вес.%. На ряду с первичными, вторичные включения характеризуются низкой соленостью. Температура консервации этих включений составляет 180-230°C. Включения третьего типа содержат кристаллик соли (NaCl), раствор, газ и реже жидкую CO_2 . Эти включения характеризуются более низкой температурой гомогенизации (120-180°C) и высокой (29,5-31,0 мас. % NaCl экв.) соленостью.

На основании полученных результатов автор пришел к выводу, что ранние кварцевые жилы формировались в интервале 200-350°C, и давлении 0,3-1,1 кбар, из флюидов содержащих углекислоту. Образования этого кварца автор связывает с проявлением метаморфизма зеленосланцевой фации (метаморфогенно-мобилизационный генезис флюида). Отложение рудного кварца происходило при температурах 120-180°C из высококонцентрированных ювенильных сернисто-хлоридных растворов.

Арсенопирит

Из штуфов руд месторождения Удерей отобраны четыре монофракции арсенопирита, представлены в таблице 3.6. После дальнейшей пробоподготовки, арсенопириты были повергнуты комплексному анализу морфологии зерен, химического состава и кристаллической структуры.

Морфология выделений арсенопирита в рудах месторождения довольно однообразна. Как правило это удлиненные игольчатые зерна размером от долей миллиметра до 3-5 мм в соответствии с рисунком 3.8. Реже отмечаются сплошные зернистые массы минерала, без кристаллографической огранки слагающих агрегаты зерен. Очень часто наблюдается тесная ассоциация игольчатого арсенопирита и раннего, пентагон-додекаэдрического облика, пирита, что говорит о сингенетичном их отложении.

По данным электронно-микроскопического изучения срезов зерен арсенопирита определены следующие микровключения: золото, пирит, тетраэдрит, бертьерит, антимонит, сфалерит, джемсонит, ильменит, рутил, хлорит, кварц. На основании диагностики микровключений можно выделить стадии образования минерала. Так, образцы арсенопиритов 1515-80.9 и 1512-96.8 содержат включения пирита и тетраэдрита, что позволяет отнести их к полиметаллической стадии. В арсенопиритах №№ 15120-38.8 и РУ-19 определены включения сурьмяных минералов (антимонит, бертьерит), что позволяет отнести их к антимонит-бертьеритовой стадии.

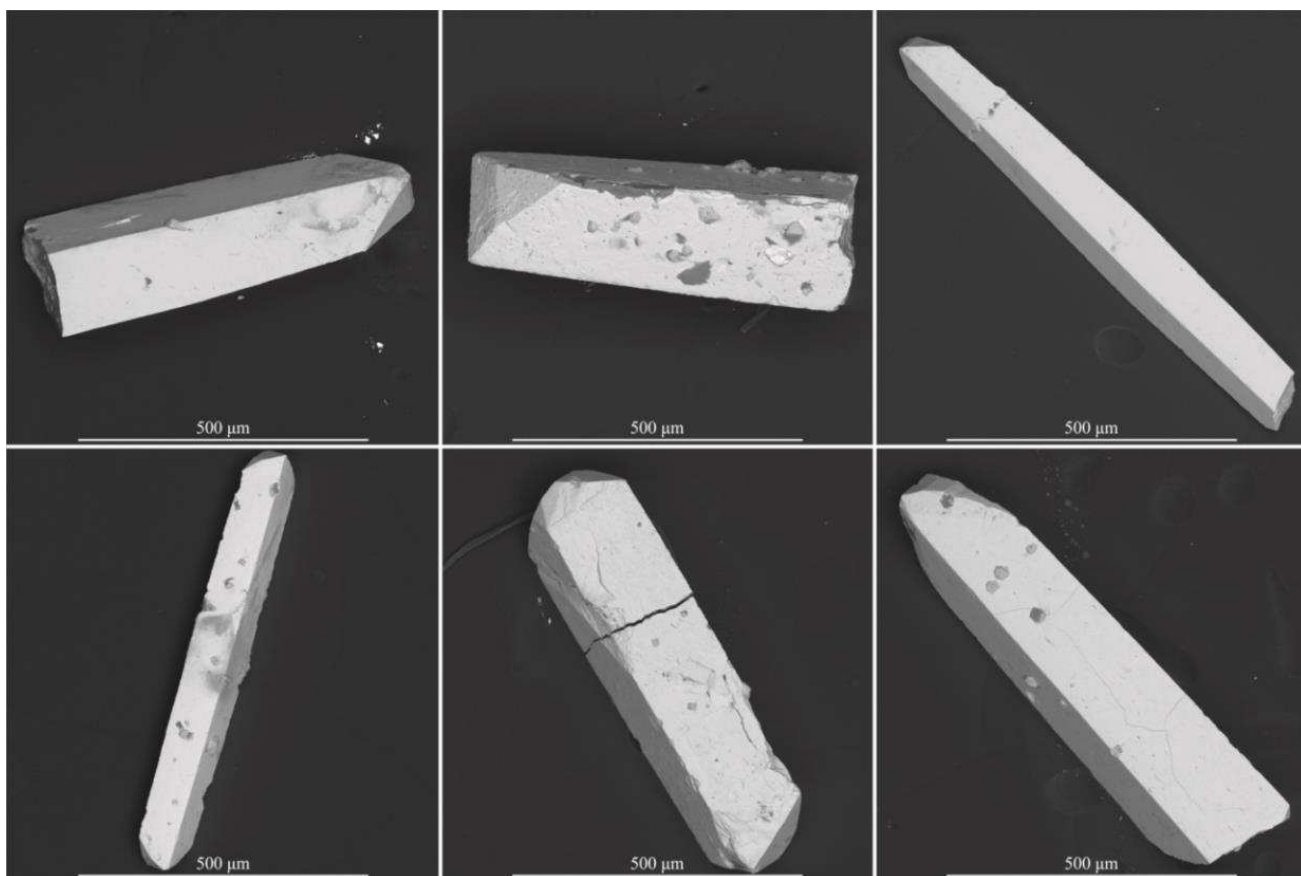


Рисунок 3.8 - BSE-микрофотографии кристаллов арсенопирита (верхний ряд – образец 1515-80.9, нижний – PY-19)

Химический состав в изученных зёрнах минерала варьирует, мас. %: Fe 34,19-34,37, S 20,41-20,68, As 44,93-45,36, Co 0-0,04, Ni 0,01-0,06. Отношения S/As и (S+As)/Fe изменяются от 1,051 до 1,076 и от 2,023 до 2,029 соответственно. Данные представлены в таблице 3.8. В целом, все образцы арсенопирита не сильно разнятся по содержанию основных элементов (Fe, As, S), как по средним, так и по частным значениям. Стехиометрию минерала можно оценить по диаграмме в координатах (S+As)/Fe-S/As (Сазонов и др., 2016). На рисунке 3.9 (диаграмма точек), отвечающих частным анализам локализован выше линии (S+As)/Fe=2 и правее линии S/As=1. Такое положение фигуративных точек говорит об отклонении стехиометрии минерала в сторону обогащения серой и обеднения железом и мышьяком.

Таблица 3.8 – Химический состав изученных арсенопиритов

№ лаб		1515/80,9	1512/96,8	1520/38,8	ПУ-19
мас.% ¹	Fe	34,29	34,37	34,19	34,29
	S	20,50	20,65	20,41	20,68
	As	45,17	44,97	45,36	44,93
	Co	0,01	0,00	0,02	0,04
	Ni	0,03	0,01	0,03	0,06
г/г ²	Au	36,18	87,41	10,48	34,11
	Ag	18,54	378,71	33,72	21,61
	Pt	0,02	0,02	0,01	0,02
	Pd	0,26	0,09	0,17	0,27
	Co	108,53	15,84	42,96	456,88
	Ni	409,42	52,15	113,79	496,83
S/As		1,061	1,074	1,051	1,076
(S+As)/Fe		2,023	2,022	2,029	2,027
Формула		(Fe _{0,988} , Co _{0,0003} , Ni _{0,0007}) As _{0,971} S _{1,029}	(Fe _{0,989} , Co _{0,0001} , Ni _{0,0001}) As _{0,965} S _{1,035}	(Fe _{0,986} , Co _{0,0004} , Ni _{0,0008}) As _{0,975} S _{1,025}	(Fe _{0,987} , Co _{0,0010} , Ni _{0,0018}) As _{0,964} S _{1,036}

Примечание: ¹ – по данным микрорентгеноспектрального анализа; ² – по данным ICP-MS; формула рассчитана на два аниона.

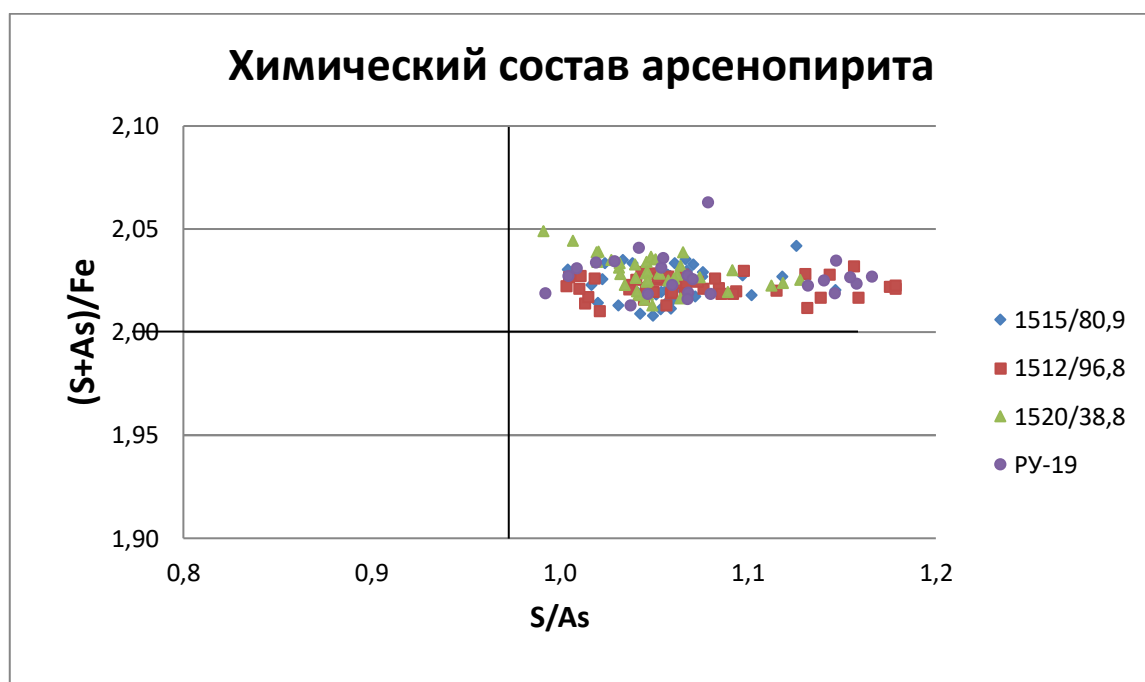


Рисунок 3.9 - Химический состав арсенопирита в координатах S/As и (S+As)/Fe. Пересечение линий S/As = 1 и (S+As)/Fe = 2 соответствует химической стехиометрии минерала

Как было показано У. Кретчмаром (Kretschmar et al., 1976)[2.22], в структуре арсенопирита возможно замещения атомов железа на атомы кобальта и никеля. По полученным данным, отмечается присутствие этих элементов в изученных арсенопиритах в количествах не превышающих 0,06 мас.%. При этом наблюдается хорошая сходимость данных точечного определения их концентраций (микронзондовый анализ) и валового (ICP-MS). Исходя из данных

Кретчмара присутствие никеля и кобальта должно компенсировать недостаток железа в арсенопирите, однако, по нашим данным, даже с учетом изоморфного вхождения этих атомов в структуру минерала, наблюдается дефицит катионов относительно анионов.

Содержания благородных металлов в арсенопиритах не превышают (г/т): Au-87, Ag – 34 (при одном ураганном значении 379 г/т образец №1512-96.8), Pt– 0,02, Pd 0,27. Как было показано ранее А.М. Сазоновым с соавторами, устанавливается зависимость между понижением структурной и химической стехиометрии минерала и повышением доли благородных металлов. Для изученных образцов, обнаружен тренд увеличения содержания золота по мере увеличения отношения S/As. Для других благородных металлов такие тренды не выражены, что можно объяснить малым объемом выборки.

В арсенопиритах были определены концентрации редкоземельных элементов, анализ распределения которых может указать на природу рудогенерирующего флюида. Содержания РЗЭ в изученных арсенопиритах изменяются от 8,98 г/т (образец № 1520-38.8) до 58,33 г/т (образец № РУ-19). Все арсенопириты концентрируют РЗЭ в количествах ниже чем в сланце, но выше чем в хондрите. Анализ спектров распределения лантанидов позволяет выделить три типа кривых, которые представлены на рисунке 3.10.

Первый тип спектра включает арсенопирит из углеродистого сланца (образец № 1515-80.9). Спектр носит характер преобладания легких РЗЭ относительно тяжелых, при нормировании на С1. При нормировании на РААС кривая вырождается в прямую, с незначительным преобладанием тяжелых лантаноидов. Явная отрицательная аномалия европия выражена при нормировании на С1. Для спектра также характерна отрицательная аномалия церия при нормировании на С1 и сланец.

Второй тип объединяет арсенопириты из углеродистого сланца (образец № 1512-96.8) и кварца (образец № РУ-19). Кривые распределения РЗЭ в целом сходны с первым типом спектров. Однако для них характерна явная положительная аномалия церия при нормировании на С1 и РААС.

Третий тип спектров представлен арсенопиритом из углеродистого сланца (образец № 1520-38.8). Для кривой характерно равноплечие в распределении, нормированных на С1 значений. При этом легкие лантаниды незначительно преобладают на тяжелыми. Нормированные на сланец содержания РЗЭ отражают значительное преобладание HREE над LREE, спектр приобретает отрицательный наклон. Для арсенопирита характерны положительная Се-, и отрицательная Eu-аномалии, разной степени выразительности, при нормировании на С1 и сланец. Также в спектре намечается положительная тулиевая аномалия.

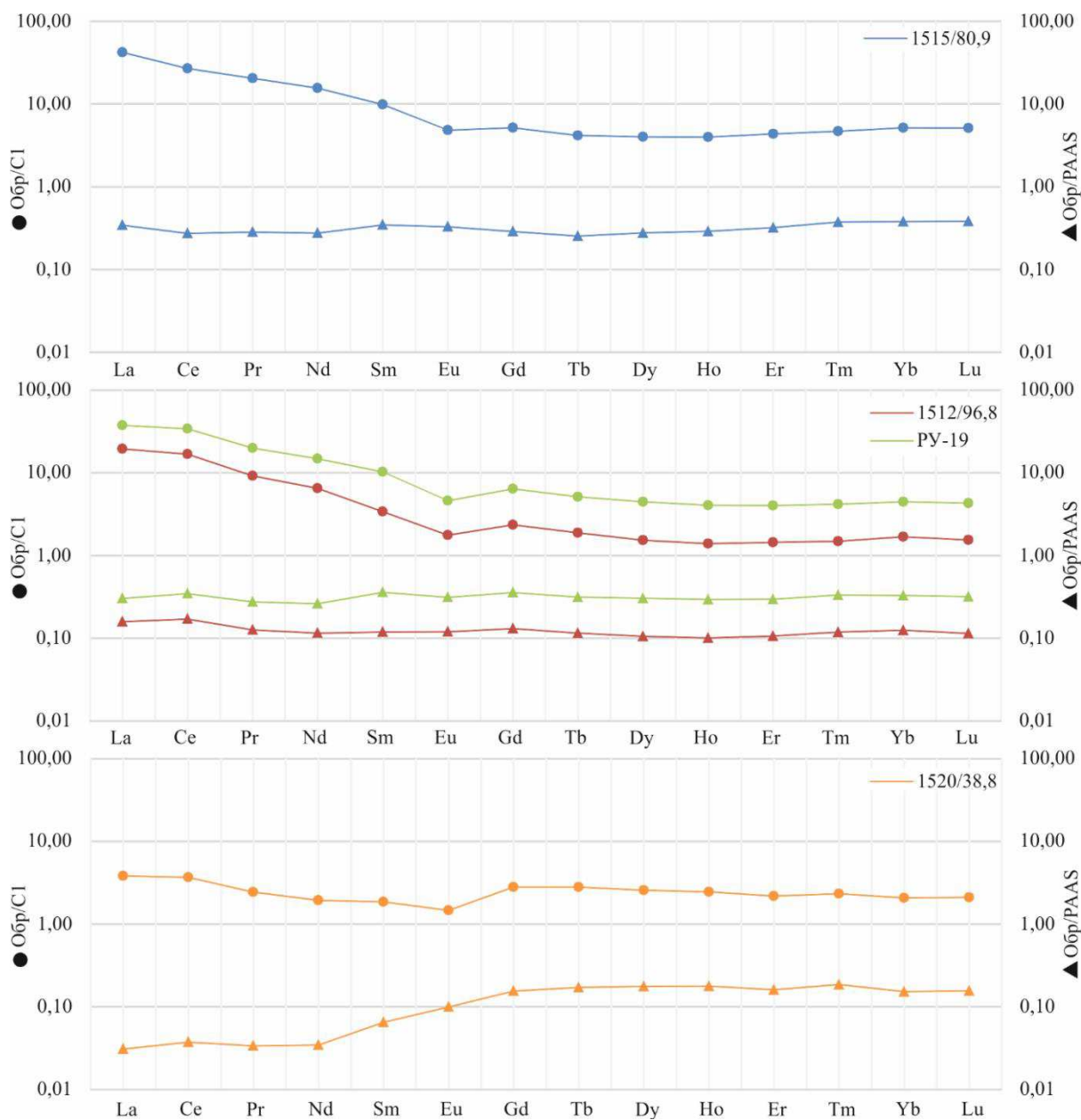


Рисунок 3.10 - Диаграммы распределения РЗЭ в арсенопиритах Удерейского месторождения

Таким образом, все изученные арсенопириты концентрируют лантаниды в количествах меньших, чем в постархейском австралийском сланце, но в большем, чем в хондрите. Отмечено появление цериевого максимума, при нормировании на С1 и сланец. Отрицательная аномалия европия также диагностируется при нормировании на С1 и РААС. Наличие Eu и Ce аномалий в спектрах связано с высокой подвижностью этих элементов в геологических процессах. По результатам исследования А.В. Дубинина (Дубинин, 2004г), М.Н. Римской-Корсаковой (Римская-Корсакова, 2005г) и других исследователей, можно констатировать, что ведущая роль в формировании сульфидной минерализации принадлежит растворам коровой природы. Повышенная глубина Eu-минимума может свидетельствовать о повышенной степени дифференциации и возрастающей роли корового вещества в

гидротермальном флюиде, формирующем сульфидную минерализацию. Повышенная глубина Eu-минимума также указывает о повышенной кислотности флюида.

Как было показано в работе (Сазонов и др., 2016г) структурной единицей кристаллической решетки арсенопирита является октаэдр $[\text{Fe}_1\text{As}_3\text{S}_3]$. Катион – атом железа – расположен в центре этого октаэдра, в идеальном варианте анионы – сера и мышьяк – занимают противоположные треугольные грани октаэдра. В этом октаэдре атом железа сдвинут к сульфидному треугольнику. Каждый атом серы связан с тремя атомами железа – является вершиной трех октаэдров. Укладка октаэдров в структуре минерала обнаруживает образование лент вдоль $[101]$. В этих лентах октаэдры связаны по ребрам, при этом образуется более длинные расстояния Fe-Fe, когда ребро состоит из двух атомов мышьяка и короткие – когда ребро образуют два атома серы. Нарушение чередования ребер As-As и S-S, может являться причиной ошибок в трансляции, которые приводят к двойникованию в направлении $[101]$. Ленты на одном уровне по оси b не связаны между собой, связь лент осуществляется за счет ниже и вышележащих.

Структуру арсенопирита можно описать как искаженную плотную упаковку из атомов серы и мышьяка. Слои этой упаковки параллельны плоскостям (101) . Половина октаэдрических пустот занята атомами железа, тетраэдрические пустоты, также могут заполняться атомами железа, однако величина выхода железа в эти пустоты не постоянна. Наличие смещения атомов S и As, придает пустотам симметричное строение.

Нарушение процесса кристаллизации ведет к появлению изоморфизма серы и мышьяка. Из-за значительной разницы в размерах атомов серы и мышьяка, при замещении S на As и наоборот, атомы не могут встать в точную позицию друг друга, что ведет к «размытию» координационной сферы. Разупорядочение в соотношении анионов ведет к тому, что в реальности в структуре арсенопирита существуют атомы железа с различным окружением $[\text{Fe}_1\text{As}_3\text{S}_3]$, $[\text{Fe}_1\text{As}_2\text{S}_4]$, $[\text{Fe}_1\text{As}_1\text{S}_5]$, $[\text{Fe}_1\text{As}_4\text{S}_2]$ $[\text{Fe}_1\text{As}_5\text{S}_1]$ и тд.

Мёссбауэровские исследования арсенопиритов (Nickel, 1698г; Murzinetal., 2003г; Сазонов и др., 2016г) [2.20-21] показывают наличие нескольких неэквивалентных позиций для атома железа в арсенопирите, с Мёссбауэровскими параметрами близкими к таковым в пирите, арсенопирите и леллингите. Как показано в работе (Сильянов и др., 2016г) [2.17] в образцах арсенопирита возможен изоморфизм между анионами Si As, с образованием элементарных октаэдров состава: $\{6\text{S}\}$, $\{5\text{S}_1\text{As}\}$, $\{4\text{S}_2\text{As}\}$, $\{3\text{S}_3\text{As}\}$, $\{2\text{S}_4\text{As}\}$, $\{1\text{S}_5\text{As}\}$, $\{6\text{As}\}$.

Рентгеноструктурный анализ проведен для двух образцов арсенопирита, параметры решетки которых представлены в таблице 3.9. Полученные данные констант кристаллической решетки минерала, близки к опубликованным ранее (Сазонов и др., 2016г) [2.15] данным по арсенопиритам из месторождений Олимпиада и Благодатное. Хорошая сходимость данных подтверждает

предположение авторов об устойчивости кристаллической структуры минерала в широком интервале состава.

Таблица 3.9 – Параметры кристаллической решетки изученных арсенопиритов

№лаб	Параметры решетки арсенопирита				
	a, Å	b, Å	c, Å	V, Å ³	β, °
46	5.7416	5.6715	5.7672	174.888	111.703
49	5.7420	5.6723	5.7681	174.572	111.686

Проведенные Мёссбауэровские исследования представлены в таблице 3.10. Они показывают наличие в арсенопиритах Удере́йского месторождения только конфигураций {6S}, {4S2As}, {3S3As}, {2S4As}, {1S5As} и {6As} (табл. 3.10). Доля собственно арсенопиритового окружения {3S3As} изменяется от 22 до 36 %. Полученные данные подтверждают крайнюю структурную нестехиометрию минерала, с сохранением минерального вида. Такой факт говорит о устойчивости структуры минерала в широком диапазоне составов и термодинамических обстановок.

Таблица 3.10 – Мёссбауэровские параметры изученных образцов арсенопирита

Номер образца, содержание золота	IS, мм/с (±0,005)	QS, мм/с (±0,02)	W, мм/с (±0,02)	A, % (±0,03)	Конфигурация лигандов
1515/80,9 (Au 36,18)	0,29	0,57	0,31	0,19	{6S}
	0,25	0,98	0,31	0,36	{4S2As}
	0,26	1,20	0,26	0,30	{3S3As}
	0,26	1,52	0,30	0,15	{1S5As}
1512/96,8 (Au 87,41)	0,29	0,53	0,27	0,11	{6S}
	0,26	0,92	0,35	0,33	{4S2As}
	0,25	1,16	0,29	0,26	{3S3As}
	0,27	1,31	0,36	0,28	{2S4As}
	0,25	1,69	0,17	0,02	{6As}
PY-19 (Au 34,11)	0,29	0,59	0,32	0,22	{6S}
	0,24	0,93	0,31	0,26	{4S2As}
	0,25	1,13	0,23	0,22	{3S3As}
	0,26	1,33	0,29	0,26	{2S4As}
	0,26	1,66	0,24	0,05	{6As}

Таким образом, арсенопирит Удерейского месторождения характеризуется сернистым составом и недостатком железа. Структура минерала остается стабильной в этом интервале составов и допускает присутствие до 78% элементарных октаэдров с окружением, отличающимся от идеального, свойственного арсенопириту – $\{3S3As\}$. Отмечен тренд увеличения доли золота в арсенопирите по мере снижения его химической стехиометрии. Минерал образовывался из преимущественно коровых растворов при изменчивых РХ-параметрах – $T\ 300-460^\circ$, $\log S_2\ -5,0\dots-7,2$.

Пирит

Методами электронной микроскопии, микрорентгеноспектрального анализа и масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой изучено четыре образца пирита из руд месторождения Удерей из таблицы 3.6.

Морфологически выделяются несколько типов пирита. Первый, наиболее ранний характеризуется развитием граней пентагон-додекаэдра как на рисунке 3.11. Очень часто такой пирит обнаруживает тесную связь с арсенопиритом. Такие кристаллы пирита являются кристаллообластами. Внутреннее их строение обнаруживает присутствие блеклых руд, кордиерита совместно с мелкочешуйчатым мусковитом. Более поздний пирит характеризуется развитием граней куба. Не редко отмечаются и зернистые агрегаты зерен, без кристаллографических очертаний.

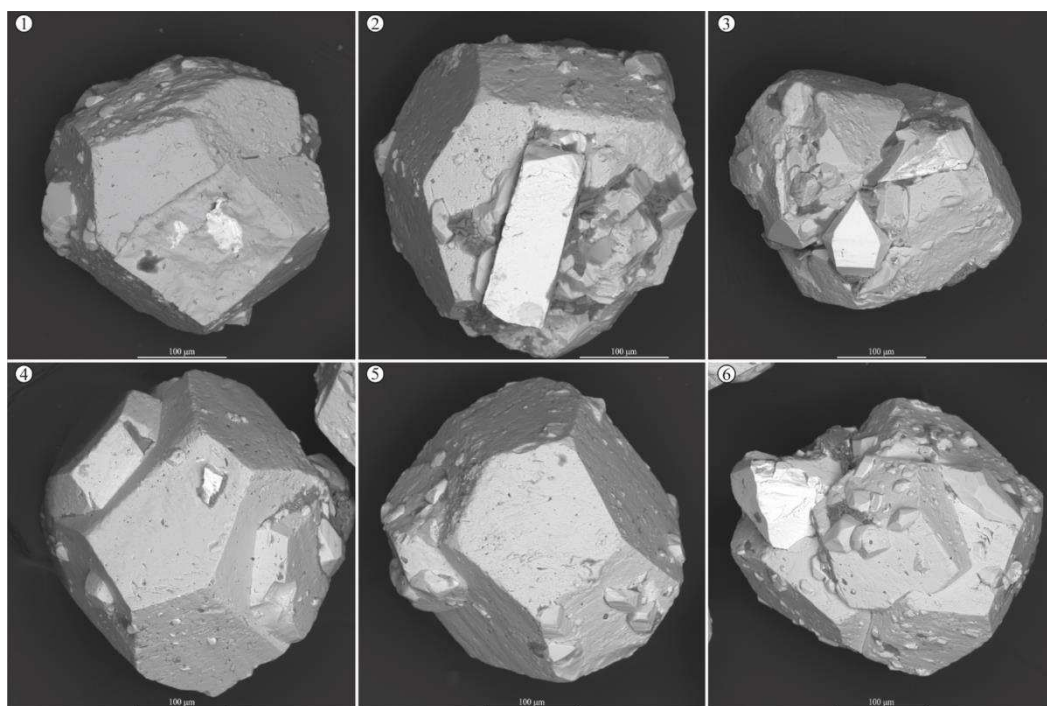


Рисунок 3.11 - Морфология раннего пирита пентагон-додекаэдрического габитуса (обр.). 1 – фузляровидный кристалл, внутри тетраэдрит (светлое); 2-6 – агрегаты пентагон-додекаэдрических кристаллов пирита в сростках с арсенопиритом (светлое).

Химический состав изученных пиритов изменяется в пределах (мас.%): Fe 44,81-47,41, S 50,66-55,19, а отношение S/Fe от 1,927 до 2,146. В качестве примеси часто отмечается мышьяк, в концентрациях до 3,55 мас.%. По средним значениям все пириты характеризуются недостатком серы, это можно увидеть в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Химический состав изученных пиритов

№ лаб		1520/38,8	1435/101,2	1436/154,6	1505/123,9
мас.% ¹	Fe	46,72	46,54	46,90	46,56
	S	53,15	52,48	53,10	52,69
	As	0,13	0,98	0,00	0,76
г/т ²	Au	23,01	7,49	5,18	5,57
	Ag	41,16	40,57	12,04	24,77
	Pt	0,03	0,03	0,01	0,01
	Pd	0,24	0,45	0,20	0,08
S/Fe		1,983	1,964	1,973	1,971
Формула		Fe _{1,008} (S _{1,998} As _{0,002}) _{2,000}	Fe _{1,010} (S _{1,984} As _{0,016}) _{2,000}	Fe _{1,014} S _{2,000}	Fe _{1,008} (S _{1,988} As _{0,012}) _{2,000}
Примечание: ¹ – по данным микрорентгеноспектрального анализа; ² – по данным ICP-MS; формула рассчитана на два аниона.					

На гистограмме распределения значений отношения S/Fe (частные анализы) устанавливается два максимума в интервалах 1,92-2,00 и 2,10-2,16. В первый интервал попадает подавляющее большинство анализов. При этом область между максимумами характеризуется отсутствием анализов. Тем самым устанавливается дискретность химического состава пиритов месторождения, которая требует дополнительного изучения на большей выборке.

Концентрации благородных металлов в пиритах месторождения в целом ниже, чем в арсенипиритах и не превышают (г/т): Au – 23, Ag – 41, Pt – 0,03, Pd – 0,45. Отличительной особенностью пиритов Удерея является преобладание серебра над золотом, при общей их, слабой положительной связи. Изучение связи химического состава от степени обогащения благородными металлами не выявило никакой зависимости, что может объясняться малым объемом аналитической выборки.

Общее содержание REE в пиритах месторождения изменяется от 7,05 (образец №1505-123.9) до 110,98 (образец №1435-101.2). Спектры образцов уверенно разделяются на две группы по поведению нормированных на PAAS значений в соответствии с рисунком 3.12.

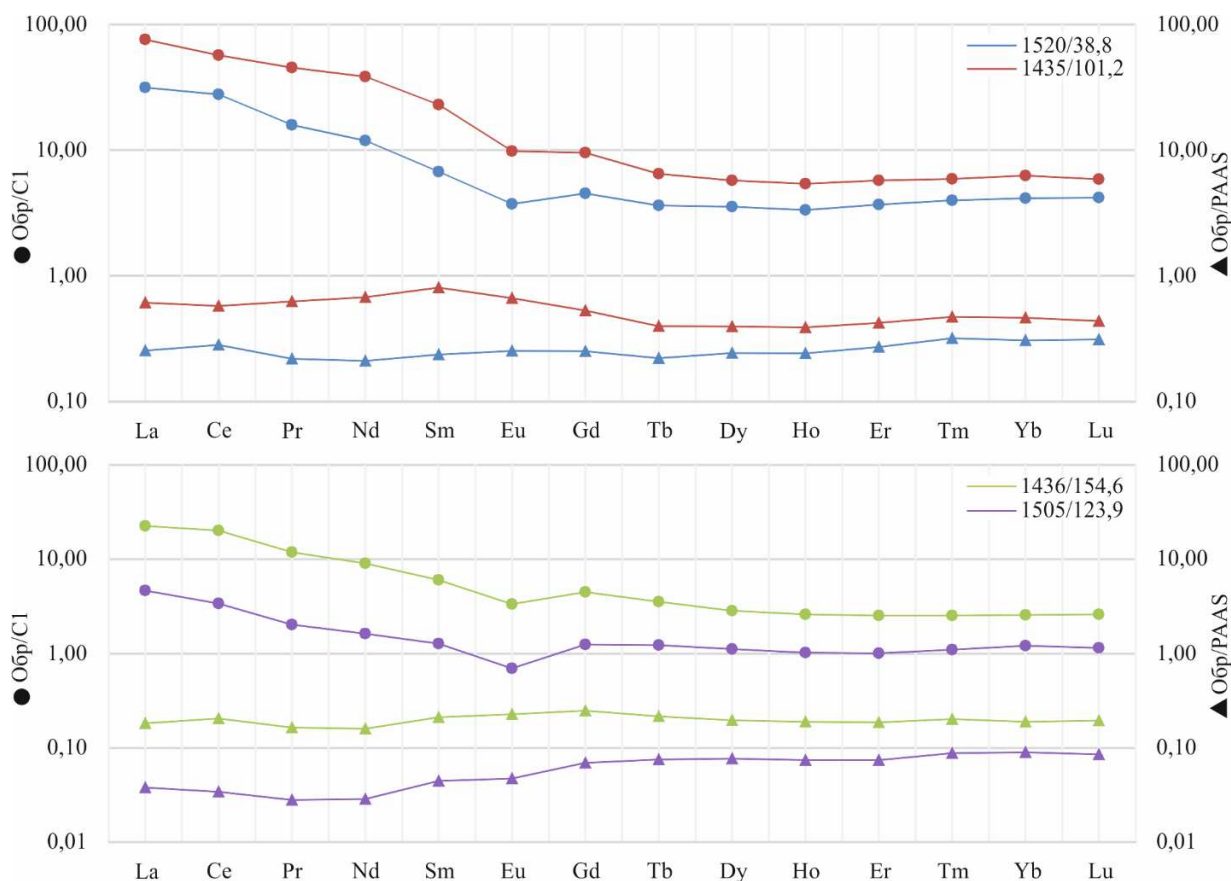


Рисунок 3.12 - Диаграммы распределения РЗЭ в пиритах месторождения Удерейское

В первую группу отнесены пириты из углеродистого сланца (образцы №1520-38.8, 1435-101.2). Форма спектра при нормировании на С1 отражает существенное обогащение LREE над HREE. Европиевый минимум имеет большую глубину, цериевый максимум диагностируется только для образца №1520/38.8. Поведение спектров, нормированных на PAAS значений, различно для обоих образцов. Спектр образца №50 характеризуется повышенными концентрациями элементов от La до Ce, от Sm до Gd и от Tm до Lu, при слабом тренде к обогащению HREE. Для этого образца отмечен цериевый максимум и намечающийся тербиевый минимум. Аномалия европия не выражена. Для кривой распределения образца №1435/101.2 характерно повышение содержаний Nd, Sm, Eu, что выражается в слабой омегаобразной форме спектра. Аномалия церия здесь принимает отрицательное значение, минимум европия не выражен.

Вторая группа включает пириты, отобранные из углеродистых сланцев (№1436-154.6, 1505-123.9). Форма спектров, нормированных на С1 значений аналогична первой группе, с той лишь разницей, что здесь более отчетливо проявлен цериевый максимум. При нормировании на сланец устанавливается отчетливое обогащение HREE. Европиевый минимум практически исчезает, как и цериевая аномалия.

Поведение РЗЭ в пиритах в целом схоже с таковым в арсенопиритах, что позволяет говорить о едином, преимущественно коровом источнике флюида, из которого они образовались.

Антимонит

Антимонит, как и другие сурьмяные минералы, является наиболее поздним на месторождении. Морфология его выделений часто лапчатая, неправильная, агрегаты антимонита выполняют трещины в кварце, зачастую выступают цементом рудной брекчии. Химический состав антимонита месторождений был изучен по двум образцам, которые представлены в таблице 3.6. Как правило химический состав его достаточно стабилен и варьирует в незначительных пределах, в среднем составляя Sb 74,60, S 26,40 мас. %. Во включениях зачастую отмечается кварц, бертьерит, халькопирит, сфалерит, пирит, арсенопирит, джемсонит и буланжерит.

Общее содержание РЗЭ мало изменчиво и в среднем составляет 36,58 г/т. Спектры распределения отличны от спектров распределения РЗЭ в пирите и арсенопирите. Для всех кривых устанавливается омегаобразная форма, с повышенным содержанием MREE, и преобладанием легких лантанидов над тяжелыми в соответствии с рисунком 3.13. Цериевая аномалия не выражена. европиевый минимум диагностируется с трудом.

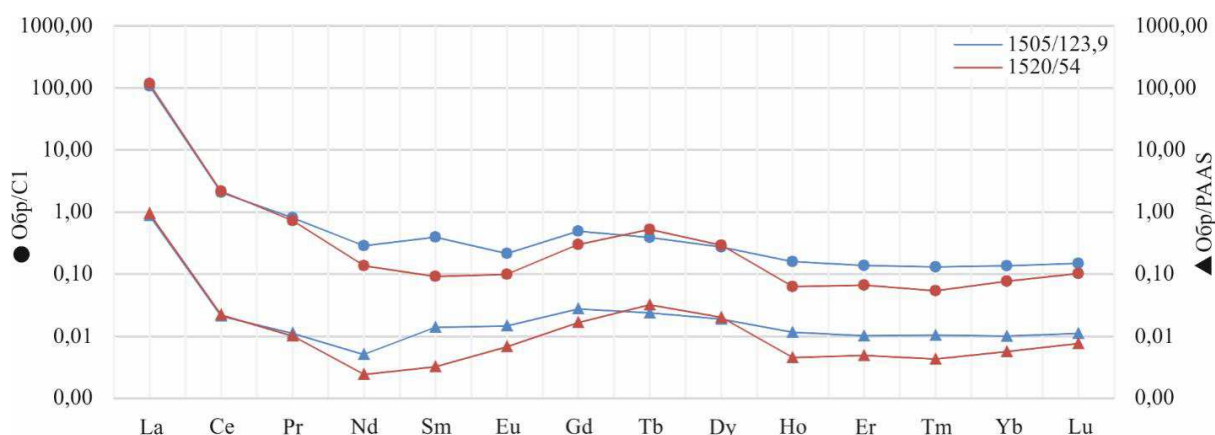


Рисунок 3.13 - Диаграммы распределения РЗЭ в антимонитах месторождения Удерейское

В целом о можно говорить о коровом источнике вещества для изученных антимонитов, однако полученные спектры неоднозначны в интерпретации, и нельзя исключать участия мантийного вещества при формировании минералов этой стадии.

4. Стадийность минералообразования

Последовательность выделения минералов в рудах выявляется при изучении структур и текстур. Анализ последних позволяет установить их одновременное или последовательное выделение в минеральном агрегате.

На схеме последовательности отложения минералов вертикальные линии характеризуют тектонические перерывы, которые участвовали в образовании минералов установленные при текстурно-структурном анализе, а в столбцах между вертикальными линиями минеральные ассоциации в соответствии с таблицей 4.1.

Седиментогенный этап в первую очередь характеризуется образованием осадочной толщи, которая состоит преимущественно из глинистых минералов. Породы имеют равномерно пелитоморфную структуру и слоистую текстуру, с чередованием слоев силикатного и колчеданно-карбонатного состава в соответствии с приложением Г рисунком 1. Структура микрозернистая с равномерным распределением зерен. Минералами основной массы являются доломит, сидерит, кальцит, кварц, хлорит, которые преобразовались при метаморфизме осадочного материала, после отлагаются в бассейне осадконакопления и литификации в процессе диагенеза. Карбонатный материал (доломит, сидерит и кальцит) и пирит поступает в первичный осадок в результате эксгаляции флюидов углекислого и сернистого состава в бассейне осадконакопления. Пирит первой генерации, вероятно, представляет собой пылевидный агрегат, распространенный во всей массе осадочной породы. Предположительно, на данном этапе сульфидизированные осадочные породы содержали повышенное количество золота, относительно кларка.

Таблица 4.1 - Схема последовательности минералообразования руд Удерейского месторождения

Этапы Стадии Минералы	Седиментогенный	Метаморфогенно-метасоматический	Гидротермальный				
			Золото-арсенопиритовая	Полиметаллически-сульфидная	Кварцево-жильная	Бертьерит-антимонитовая	Милонитизация антимонитовых руд
Глинистые	=====						
Доломит	=====	=====				-----	
Кальцит	=====	=====	=====		=====	-----	
Серицит		=====				-----	
Мусковит			=====		=====	---	
Кварц	I =====	II =====	III =====		IV =====	V =====	VI X =====
Хлорит	=====	=====					
Кордиерит		=====					
Анализ, рутил		=====					
Турмалин		=====					
Сфен						=====	
Пирит	I =====	X II =====	X III =====	IV =====		V =====	
Арсенопирит			I =====	X II =====		III X =====	
Бертьерит						I =====	X II =====
Антимонит						I =====	X II =====
Самородное золото	I ?-----		II =====			III X =====	
Самородная сурьма						=====	
Сфалерит				=====			
Блекла руда				I =====		II -----	--
Пирротин			=====	=====			
Альбит					=====		
Халькопирит				I -----		II ?-----	

Метаморфогенно-метасоматический этап характеризуется развитием перекристаллизованного осадочного пирита-I с образованием пирита-II, размеры выделений которых достигают 0,03-0,04 мм. Чаще всего пирит-II локализуется в центре глобуль карбоната, но также отмечаются единичные случаи нахождения его около овальных образований группы карбонатов или на контакте глобуль с основной массой как в приложении Г на рисунке 2. Размер минерала изменяется в зависимости от его положения относительно микропорфиробласт карбоната. По периферии микропорфиробласт пирит-II отмечается в виде мельчайших пылевидных частиц, а с приближением к центру приобретает кристаллографические очертания и укрупняется в размерах.

Порода этого этапа имеет микрозернистую и равномернoзернистую структуру с механической сланцеватостью, которая проявлена в большинстве образцов и образует линзочки, которые сложены серицитом. В сланце наблюдаются трещинки кливажа разных направлений, пунктирные, вдоль них концентрируется углеродистое вещество, выполнены гидроокислами железа. Микроструктура гранобластовая, лепидобластическая. Матрица сложена в основном тонкими чешуйками серицита и бледно-зелёного хлорита и равномерно рассеянным тонкодисперсным углеродистым веществом в соответствии с приложением Г рисунком 3. Микропорфиробласты карбоната (доломит, кальцит, сидерит) имеют равномерное распространение и иногда зональное строение. С ними рядом отмечаются ромбовидные или овальные выделения сложенные чешуйками серицита. Без анализатора агрегаты серицита бесцветные, но форму можно увидеть за счет углеродистого вещества, который скапливается по периферии микропорфиробласт серицита и карбоната. В редких случаях чешуйки серицита отмечаются в овальных обособлениях карбоната. Наблюдаются единичные зерна и обособления рутила и анатаза.

Гидротермальный этап образует 5 стадий минералообразования: золото-арсенопиритовая, полиметаллически-сульфидная, кварцево-жильная, бертьерит-антимонитовая, милонитизации антимонитовых руд

Представителями *золото-арсенопиритовой стадии* являются перекристаллизованный пирит-II (пирит-III) и арсенопирит-I. Пирит-III пользуется незначительным распространением и имеет футляровидное строение. Сфероиды имеют зональное строение от двух до четырех зон, очень редко можно наблюдать пять. Центральная часть сфероидов, как правило, разъедается кордиеритом, совместно с которым образуется крупно или мелкозернистый мусковит как в приложении Г на рисунке 4. Также в центре глобуль можно наблюдать пирит-III, который перекристаллизовался в результате метаморфизма. Арсенопирит-I часто наблюдается в трещинах пирита или замещает его до образования полных псевдоморфоз. Минеральные обособления арсенопирита образуют столбчатые и игольчатые с ромбовидным поперечным сечением зерна и агрегаты. В основном кристаллы арсенопирита ориентированы по направлению сланцеватости.

Сланец этой стадии имеет кварц-кальцит-мусковитовый состав. Текстура полосчатая, которая представлена чередованием сланца с кварцевыми.

прожилками, мощностью от долей мм до 3 мм. Структура микрозернистая, участками тонкозернистая. Чешуйчато-листоватые агрегаты мусковита ориентированы поперек сланцеватости в основной ткани. Кварц образует зубчато-гранобластовую структуру и дворики растяжения вокруг зерен арсенопирита. У кальцита наблюдаются редкие двойники скольжения по спайности. Сдвойникованный карбонат образуют гнезда между зернами кварца. Выделения самородного золота второй генерации и пирротина в не больших количествах при исследовании аншлифов свидетельствует о том, что формирование этих минералов началось в конце стадии Выделение золота и пирротина представлены в приложении Г на рисунке 5..

Полиметаллически-сульфидная стадия характеризуется развитием пирита-IV, арсенопирита-II, сфалерита, блеклой руды-I, пирротина, халькопирита-I и цинкенина. Пирит-IV развивается вдоль поверхности сланцеватости. Макроскопически можно наблюдать кубические, пентагон-додекаэдрические, октаэдрические формы скоплений пирита, размер их от 0,01 мм до 0,7 см, но при микроскопическом исследовании этих агрегатов, наблюдается плотное срастание пирита-IV со всеми рудными минералами. В основном это ассоциация пирит-IV – сфалерит – арсенопирит-II. Вид цельного зерна создают пирит-IV и арсенопирит-II, так как четких границ не наблюдается, а отличить можно только по внутренним рефлексам. Внутренние рефлекс у арсенопирита насыщенные, ярко синего, бордового цвета. Очень редко по цвету без анализатора можно различить кристаллы пирита и арсенопирита, которые подвергались давлению, вследствие чего трещины замещались кварцем. Зерна арсенопирита-II образуют игольчатые формы, часто наблюдаются ромбовидные поперечные сечения.

Структура сланцев микрозернистая с отчетливой слоистостью. Для сфалерита характерны двойники роста и структуры распада твердого раствора сфалерит-халькопирит. Халькопирит-I отмечается в виде мельчайших скоплений в сфалерите, как продукт распада твердых растворов, реже пирите. Обособленные зерна имеют размер до 0,05 мм. Пирротин отмечается в ничтожных количествах, и установить какие-либо его особенности очень сложно. Блеклая руда-I относится к редким минералам и образует единичные, мелкие (0,02-0,2 мм) скопления в карбонате, реже в кварце, иногда отмечается в срастаниях с пиритом.

В *кварцево-жильную стадию* образуются кварцевые жилы различной мощности с гнездами карбонатов, которые представлены в приложении Г на рисунке 7. Тонкие прожилки кварц-карбонатного состава разно-ориентированы и создают сетчатую текстуру породы. Общее количество прожилков – 15-17 %. Прожилки первой разновидности сложены тонкозернистым карбонатом (доломитом), маломощные от волосовидных (0,02-0,03 мм) до 0,05-0,07 мм. Прожилки прямолинейные, с ровными ограничениями. Содержание карбоната достигает 80 % от общей массы. Прожилки второй разновидности – кварц-карбонатные, прямолинейные, реже с раздувами и пережимами. Имеют мощность до 0,1-0,3 мм. Секут ранние доломитовые прожилки. Прожилки

зональные, краевые части сложены доломитом, слагающим хорошо образованные ромбовидные кристаллы (до 0,1 мм), ориентированные поперёк прожилков. Центральные части сложены зёрнами кварца с волнистым погасанием размером до 0,1 мм. Содержание кварца 10-15 %.

Сам сланец имеет микрозернистую, равномерно-зернистую структуру с механической сланцеватостью, которая проявлена местами. Основную ткань породы слагают мусковит, кальцит, кварц, альбит. Второстепенным, слабо проявленным минералом является серицит. Микроструктура гранобластовая, лепидобластическая.

Руды *бертьерит-антимонитовой стадии* пользуются ограниченным распространением и располагаются в краевых частях кварцевых жил, слагают апофизы и обособленные рудные линзы во вмещающих породах. Главными минералами стадии являются: антимонитом-I, бертьерит-I, пирит-V, арсенопирит-III, кварц-V, самородное золото-III и самородная сурьма. Представители второстепенных минералов это доломит, кальцит, серицит, блеклая руда-II. Бертьерит-I встречается в виде самостоятельных крупнокристаллических агрегатов и прожилковидных выделений, тесно ассоциирует с антимонитом-I, кварцем. Антимонит и бертьерит образуют амебовидные формы. Размер зерен от 0,35 до 0,7 мм, реже 2,4 мм, в длину и от 0,1 до 0,4 мм в толщину. Наблюдаются метакристаллы пирита четвертой генерации, которые находятся в цементе бертьерита. Пирит-V имеет овальные и кубические формы. Размер агрегатов достигает 0,4-0,7 см. В основном его содержание не превышает 3 % от основной массы. Предположительно пирит заканчивает свое развитие во втором этапе бертьерит-антимонитовой стадии. Арсенопирит-III и самородное золото распространены незначительно и перекристаллизованы. Отмечаются зерна арсенопирита-III в кварцевых прожилках, которые секут ксенолиты сланцев и выходят в антимонитовую массу. Отмечаются единичные зерна самородной сурьмы в ассоциации с антимонитом.

Бертьерит-антимонитовые руды характеризуется зернистым строением, среди которых по размеру отдельных индивидов кристаллов антимонита выделяются крупнозернистые (>5,0 мм), среднезернистые (1,0-5,0 мм) и тонкозернистые разновидности (<1,0 мм). Для руд характерна массивная и брекчиевидная текстуры. Присутствует полосчатая текстура, которая образуется за счет чередования углеродистого вещества, кварца, бертьерита. Чаще всего микроструктура гранобластовая с подчиненным развитием аллотриоморфно-гипидиоморфнозернистых агрегатов. Второстепенным минералом данной стадии являются карбонаты, мусковит, блеклая руда-II, которая цементирует пирит-арсенопиритовый агрегат. В качестве самостоятельных выделений блеклая руда встречается в виде вкрапленности в антимоните-I. Карбонат представлен двумя разновидностями - доломитом и кальцитом. Доломит имеет прямоугольные и ромбовидные грани, находится между зернами антимонита, а кальцит распространен между зернами кварца.

Мусковит находится в контакте с кварцем, пиритом, арсенопиритом и друг с другом различных форм. Размеры чешуек 0,1-0,5 мм.

Милонитизация антимонитовых руд проявлена спорадически. Главными минералами этой ассоциации являются перекристаллизованные антимонит-I (антимонит-II) и бертьерит-I (бертьерит-II). Образование милонитизированной антимонитовой руды происходило в результате тектонических подвижек, которые нарушали целостность структур бертьерит-антимонит-кварцевых жил в соответствии с рисунком 4.1. В результате образовывались рудные брекчии бертьерит-антимонит-кварцевого состава. Сурьмяные минералы этой стадии характеризуются тонкозернистым гранобластовым внутренним строением зерен, развитием многочисленных двойников давления.



- Антимонит-кварцевые жилы
- - - Зона золото-сульфидной минерализации (P3-3)
- Тектонические нарушения

Рисунок 4.1 - Схематическое расположение антимонит-кварцевых жил, зон золото-сульфидной минерализации, тектонических нарушений в карьере Удерейского месторождения.

5. Геохимическая характеристика руд

Для исследования геохимических особенностей золотых и сурьмяных руд Удере́йского месторождения были использованы данные по опробованию 9 скважин разведочных линий RL-15 и RL-16_5 в пределах северо-западного участка Удере́йского рудного поля. Аналитические данные предоставлены спектральным анализом керновых проб по 11 элементам Au, Sb, Ti, Cu, As, Rb, Sr, Zr, Pt, Pb, Fe.

Для выявления элементов спутников золотому и сурьмяному оруденению рассчитаны коэффициенты корреляции между указанными выше элементами и приведенными в таблице 5.1.

Как видно из таблицы между рубидием, титаном и цирконием наблюдается функциональная положительная связь. Сильная положительная связь у мышьяка и платины. Свинец имеет среднюю положительную корреляцию с мышьяком и медью. Золото имеет слабую корреляцию с мышьяком и платиной. Сурьма имеет среднюю положительную связь с медью.

На рисунке 5.1 (корреляционная дендрограмма), отображается корреляционная связь между элементами, и выделяются три группы элементов:

- 1) Zr-Rb-Ti-Fe, где ядром являются (Rb,Zr)-Ti, которые имеет значимую положительную корреляционную связь;
- 2) Sb-Cu, имеющие среднюю положительную связь;
- 3) As-Pt-Pb-Au, где у As-Pt наблюдается средняя положительная корреляция.

В связи с тем, что корреляционная связь между золотом и сурьмой отсутствует, и они располагаются в разных группах можно сделать вывод, что золотое и сурьмяное оруденение являются самостоятельными образованиями.

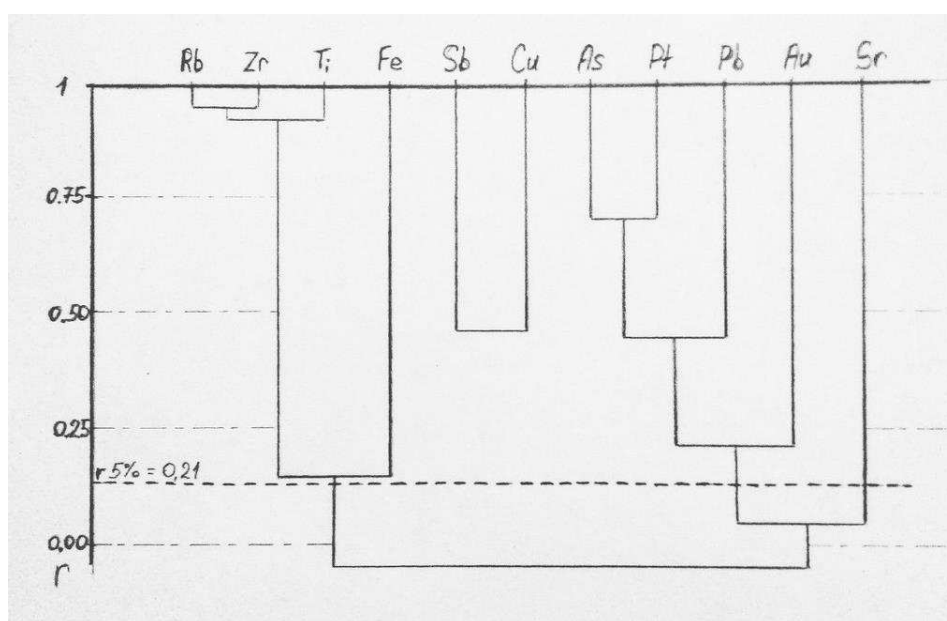


Рисунок 5.1 - Корреляционная дендрограмма.

Таблица 5.1 - Матрица коэффициентов корреляции

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Признак	Au	Sb	Ti	Cu	As	Rb	Sr	Zr	Pt	Pb	Fe
Au	1.00										
Sb	0.05	1.00									
Ti	-0.09	0.26	1.00								
Cu	0.21	0.51	0.37	1.00							
As	0.48	-0.13	0.01	0.28	1.00						
Rb	-0.07	0.21	0.93	0.39	0.01	1.00					
Sr	0.09	-0.19	-0.46	-0.15	0.19	-0.45	1.00				
Zr	-0.12	0.15	0.92	0.31	0.01	0.95	-0.41	1.00			
Pt	0.30	0.00	0.39	0.32	0.73	0.38	0.06	0.40	1.00		
Pb	0.18	0.06	-0.07	0.50	0.57	-0.10	0.33	-0.07	0.43	1.00	
Fe	-0.02	0.19	0.34	0.15	-0.05	0.11	0.02	0.10	0.10	0.14	1.00

	сильная положительная связь		слабая положительная связь
	средняя положительная связь		слабая отрицательная связь
	средняя отрицательная связь		функциональная связь

Критическое значение $r(5\%) = 0,21$

6. Генезис месторождения

В истории формирования месторождения автором было выделено три разделенных во времени этапа: седиментогенный, метаморфогенно-метасоматический, гидротермальный.

Автором предполагается что, формирование месторождения начинается еще на стадии седиментогенеза. Исходя из геологической ситуации можно сделать вывод о том, что рудовмещающая структура представляла собой неглубокий троговый бассейн осадконакопления. Простираение этой структуры (40°), вероятно, контролируется глубинным разломом, по которому еще на стадии литогенеза осуществлялся подток рудосодержащих флюидов. По видимому, малые порции такого флюида привели к образованию первой генерации пирита пылевидной размерности. Нельзя исключать и привноса золота на данном этапе становления месторождения. Либо тонкого, хемогенного с рудоносным флюидом, либо кластогенного из бассейна осадконакопления.

Дальнейшая складчатость под воздействием сжимающих горизонтально-ориентированных сил троговая структура приобрела морфологию брахиформной синклинальной складки. Такая структура характеризуется малой проницаемостью и закрытостью для вертикальной миграции флюидов, что могло привести к образованию повышенных концентраций рудных элементов.

Преобразования метаморфогенно-метасоматического этапа выразились в перекристаллизации, изменении вещественного состава и уничтожении текстурно-структурных особенностей исходных пород. Происходит формирование кварц-серицитовых метасоматитов линзовидно-полосчатых с сульфидной минерализацией. Ранний, пылевидный пирит седиментогенного этапа подвергается перекристаллизации и укрупняется в размерах. По данным Л.Б. Зозуленко и В.А. Злобина метаморфогенно-метасоматические флюиды на гипсометрическом уровне удерейской свиты могли существовать при температуре от 260 до 440°C (Зозуленко, Злобин, 1973).

Гидротермальный этап, приведший к образованию руд Удерейского месторождения автором разделен на пять стадий, из которой наиболее ранней является золото-арсенопиритовая, затем следуют промежуточные полиметаллически-сульфидная и кварцево-жильная стадии, затем выделяется промышленно значимая бертьерит-антимонитовая стадия. Завершает рудный процесс милонитизация антимонитовых руд. Для гидротермального этапа характерно постепенное снижение температуры от золото-арсенопиритовой до бертьерит-антимонитовой стадии.

В золото-арсенопиритовую стадию происходит формирование кварц-сульфидной ассоциации в сланцах удерейской свиты. Процесс проходил длительное время, о чем говорят несколько ассоциаций минералов и наличие внутри рудной тектоники. Согласно представлениям Э.Г. Дистанова

(Дистанов и др., 1975г) [2.6], формирование самых ранних кварц-пирит-арсенопиритовых образований на месторождении происходило при температуре 350-200°C и давлении 1100-300 атм из кислых углекислых растворов с содержанием CO₂ от 5 до 60%. Подобный состав растворов и термодинамические условия наиболее характерны для метаморфических процессов дозеленосланцевой ступени и фации зеленых сланцев. Исходя из полученных авторами данных, можно предположить, что золото-арсенопиритовая стадия является переходной, от метаморфогенно-метасоматического этапа к гидротермальному. В формировании минеральных ассоциаций стадии могли принимать участие метаморфогенные и собственно гидротермальные растворы. На фоне постепенного снижения температуры образуются минеральные ассоциации полиметаллически-сульфидной и кварцево-жильной стадий. Происходит формирование кварцевых жил и насыщение углистых сланцев рассеянной сульфидной минерализацией (пирит и игольчатый арсенопирит). Рудные образования стадий в последующем претерпевают интенсивное дробление, перекристаллизацию и наложение кварц-бертьерит-антимонитовой минерализации.

Сурьмяная минерализация оторвана во времени от ранних (золото-арсенопиритовая, полиметаллически-сульфидная) минеральных ассоциаций. Ее проявлению предшествует интенсивная тектоническая переработка ранее образованных руд, вплоть до образования рудных брекчий, где в качестве цемента выступает кварц-карбонат-антимонит-бертьеритовый агрегат. По данным П.А. Неволько, бертьерит-антимонитовая ассоциация формировалась при более низких температурах, растворами с умеренной соленостью (Неволько, 2009г)[1.4]. Автором также сделано предположение о участии глубинного вещества при формировании сурьмяных парагенезисов, связанных с базитовыми и щелочно-базитовыми дайковыми комплексами. По данным Э.Г. Дистанова с соавторами (1977г)[2.19] формирование сурьмяной минерализации происходило при температурах 120-180°C, из ювенильных сернисто-хлоридных растворов. Согласно данным, полученным автором при анализе распределения редкоземельных элементов в антимонитах месторождения, нельзя исключать участие мантийного вещества при их образовании. Все это говорит о том, что сурьмяная минерализация Удере́йского месторождения является самостоятельной, продуцированной порцией гидротермального состава, нежели ранние флюиды. Столь яркому проявлению сурьмяной минерализации по мнению автора способствовала геологическая обстановка формирования месторождения в полузакрытой малопроницаемой рудовмещающей структуре (брахиформной синклинали).

По данным изучения флюидных включений в кварце месторождения, описанных ранее в разделе 3.2.3, можно предполагать, что руды месторождения формировались в интервале температур 140-160 и 290-300°C, слабокислыми или близнеутральными хлоридно-натриевыми растворами

соленостью 7-8 мас.% NaCl экв. В газовой фазе флюида преобладает углекислота, концентрации азота и метана не превышают 2 и 0,2 мол.%, соответственно. Давление флюида оценивается в 0,7-1,5 кбар. Полученные данные в целом отражают существующую ситуацию. Наличие двух максимумов температур гомогенизации включений, по-видимому, соответствуют сурьмяной и арсенопиритовой стадиям минералообразования.

Заключительной стадией формирования месторождения является процесс милонитизации антимонитовой руд. Мощные выделения сурьмяных минералов повсеместно отмечают следы интенсивной тектонической переработки. Это заключается в развитии процесса гранобластеза, появлении полисинтетических двойников давления и импрегнации осколков более хрупких минералов в дислоцированный бертьерит-антимонитовый агрегат.

Анализ поведения лантанидов в сульфидах месторождения (арсенопирит, пирит, антимонит) указывает на преимущественно коровую природу рудогенерирующего флюида при образовании минералов золото-арсенопиритовой и полисульфидной ассоциаций. Относительно минералов сурьмяных парагенезисов, устанавливается возможность участия глубинного флюида. Такие данные согласуются с ранее предложенными доводами Э.Г. Дистанова и П.А. Неволько об участии мантийного вещества при образовании бертьерит-антимонитовой минерализации. Данные по возрасту оруденения весьма неоднозначны и довольно сильно разобщены в силу сложности его определения. Возраст формирования Удере́йского месторождения, определенный калий-аргоновым методом по гидрослюде из околожильных сланцев делился на два временных интервала: 1016-1106 млн.л. и 605-652 млн. л. (Саонов А.М., 1980г) [1.5]. В лаборатории ВСЕГЕИ этим же методом по двум пробам поздних калиевых слюд возраст установлен 673 ± 13 и 663 ± 22 млн. лет (Бергер, 1978г). Полученные датировки близки к определениям, сделанным в ИМГРЭ по гидротермально измененным сланцам Удере́йского месторождения (среднее из шести проб 664 ± 36 млн. лет (Овчинников и др., 1974г)). Определение по калиевой гидрослюде из того же месторождения в лаборатории ИГГ СО АН СССР дало 605 ± 30 млн. лет (Дистанов и др., 1975г). П.А. Неволько (2009г) было продатировано 4 пробы серицита Ar-Ar методом. Для серицита-I из рудных жил с пиритом и халькопиритом было получено возраст $711,6 \pm 3,4$ млн. лет. Полученный возраст характеризует время формирования ранней золото-полисульфидной ассоциации. Формирование сурьмяного оруденения отвечает возрасту $676,6 \pm 2,8$ и $659,1 \pm 5,7$ млн. лет. На рубеже $643,2 \pm 2,8$ млн. лет отмечается преобразование антимонит-кварцевой ассоциации, выразившееся в наложении высококонцентрированных растворов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты, полученные в ходе выполнения работы, позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. Удерейское золото-сурьмяное месторождение приурочено к Васильевской брахиформной синклинали, которая осложнена серией складок высшего порядка. На крыльях основной брахисинклинали проявлена дополнительная складчатость с образованием мелких складчатых форм, характеризующихся изгибающимися осями, раздваивающимися шарнирами. Эти складки вытягиваются как вдоль осевых линий более крупных складок, так и поперек них.

2. Площадь месторождения сложена отложениями удерейской свиты, представленными темно-серыми, серо-черными, серыми филлитовидными глинистыми и алевроито-глинистыми сланцами, среди которых по составу различаются хлорит-серицитовые, кварц-хлорит-серицитовые, кварц-карбонат-серицитовые. Процентное содержание каждого минерала колеблется в пределах 30-35%. Во вмещающих породах наблюдаются трещинки кливажа разных направлений, вдоль которых концентрируется углеродистое вещество. В минерализованной зоне сланцы такие же по составу, но матрица сложена в основном тонкими чешуйками серицита и бледно-зелёного хлорита и равномерно рассеянным тонкодисперсным углеродистым веществом. Не редко зерна карбоната образуют изометричные, овальные, реже ромбовидные зональные выделения (микропорфиробласты) разных размеров. Сульфидные минералы (пирит, арсенопирит) отмечаются в породе и не превышают 4 %. В рудной зоне охотно развиваются в углеродистых и карбонатсодержащих сланцах с образованием вкрапленности мелких кристаллов пирита и арсенопирита. В основном у метасоматитов отмечается полосчатая текстура, которая представлена углеродистым веществом серого цвета и пиритом желто-зеленого цвета. Мощность полос от долей мм до см. В основную ткань породы входят мусковит, серицит, кварц, карбонат, хлорит. Процентное количество акцессорных минералов (рутил, апатит) не превышает 3%.

Рудам Удерейского месторождения свойственны массивная, брекчиевая, прожилковая и прожилково-вкрапленная текстуры. Массивная текстура наиболее типична для основной массы кварц-антимонитовых и кварц-антимонит-бертьеритовых руд. При увеличении количества кварца руды массивной текстуры переходят в гнездовые и пятнистые. Главными рудообразующими минералами являются кварц, антимонит, бертьерит, количественные соотношения между которыми определяют распространение существенно кварцевых с антимонитом, антимонит-кварцевых и кварц-антимонит-бертьеритовых типов руд. Почти постоянно и в заметных количествах в них присутствуют второстепенные минералы: арсенопирит, пирит, карбонат, серицит и гидрослюда. Содержание пирита, арсенопирита и

антимонита в существенно золотых рудах варьирует от 3 до 60%. Редким минералами являются: рутил, пирротин, сфалерит, блеклая руда, весьма редкие – самородное золото, самородная сурьма. Для руд характерен значительный динамометаморфизм. Согласно Э.Г. Дистанову и др. (1977) [2.19] кварц-бертьерит-антимонитвые руды испытали наиболее интенсивные преобразования. В результате пластических деформаций руды перекристаллизованы в плотные тонкозернистые разности и приобрели сланцеватую текстуру. А более твердые минералы – пирит, арсенопирит, сфалерит, кварц – подверглись катаклазу, а трещины в них залечены антимонитом.

3. С помощью термобарогеохимических исследований было установлено, что ранние кварцевые жилы формировались в интервале 200-350°C, и давлении 0,3-1,1 кбар, из флюидов содержащий углекислоту. Образование этого кварца связывают с проявлением метаморфизма зеленосланцевой фации. Отложение рудного кварца происходило при температурах 120-180°C из высококонцентрированных ювенильных сернисто-хлоридных растворов. Для исследования арсенопирита и пирита было использовано несколько методов: мёссбауэровский, рентгеноструктурный, электронно-микроскопический, масс-спектрометрии. Благодаря этим методам исследования можно сделать выводы о том, что арсенопирит Удерейского месторождения характеризуется сернистым составом и недостатком железа. Структура минерала остается стабильной в этом интервале составов и допускает присутствие до 78% элементарных октаэдров с окружением, отличающимся от идеального, свойственного арсенопириту – {3S3As}. Отмечен тренд увеличения доли золота в арсенопирите по мере снижения его химической стехиометрии. Минерал образовывался преимущественно коровых растворов при изменчивых РХ-параметрах – Т 300-460°, logS₂ -5,0...-7,2. Поведение РЗЭ в пиритах и арсенопиритах схоже и позволяет говорить о едином, преимущественно коровом источнике флюида, из которого они образовались.

Химический состав антимонита месторождения достаточно стабилен и варьирует в незначительных пределах, в среднем составляя Sb 74,60, S 26,40 мас. %. Спектры распределения РЗЭ отличны от таковых в пирите и арсенопирите. В целом о можно говорить о коровом источнике вещества для изученных антимонитов, однако полученные спектры неоднозначны в интерпретации, и нельзя исключать участия мантийного вещества при формировании минералов этой стадии.

4. Предполагается, что Удерейское золото-сурьмяное месторождение является многоэтапным образованием. Выделены три этапа формирования оруденения: седиментогенный (1016-1106 млн лет), метаморфогенно-метасоматический (820-775 млн лет) и гидротермальный (720-643 млн лет). По мнению П.А. Неволько (2009г) [1.4] временные интервалы формирования золоторудной минерализации не совпадают с основными этапами развития гранитоидного магматизма и метаморфизма, а в большей мере

коррелируются с периодами проявления дайковых комплексов базитового и щелочно-базитового состава.

Проявление золота связаны с золото-арсенопиритовой и бертьерит-антимонитовой стадиями. Не исключена возможность накопления тонкого хемогенного и/или кластогенного золота в седиментогенный этап становления месторождения. Концентрации его связаны как с кварцевыми жилами, содержащими в качестве главных рудных минералов пирит и арсенопирит, так и с сульфидизированными вмещающими породами. Кварцевые жилы и зоны прожилкования с повышенным содержанием золота, сменяющие с глубиной кварц-антимонитовые жилы, на Центральном участке прослежены скважинами до глубины 250 м. Концентрации золота обычно невысокие, распределены крайне неравномерно. В слабо сульфидизированных разностях сланцев, в которых количество сульфидов достигает 15 %, редко более, содержание золота обычно не превышает 1 г/т, а в интенсивно сульфидизированных, окварцованных сланцах зальбандовых участков – 3 г/т. Золото концентрируется главным образом в игольчатом арсенопирите (до 600 г/т).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фондовая литература

1.1. Антипьев И.В. Отчет о геологоразведочных работах на Удере́йском золото-сурьмяном месторождении с оценкой запасов золота и сурьмы по состоянию на 01.01.2011 г. : отчет / И.В. Антипьев - Красноярск.

1.2. Верниковская А.Е. Миграция и локализация золота и парагенетических элементов в метаморфических толщах Енисейского кряжа: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук/ А.Е. Верниковская, ОИГГМ - Новосибирск. - 1992.

1.3. Дистанов Э.Г. Минеральный состав руд и особенности рудообразования Удере́йского золото-сурьмяного месторождения // Э.Г. Дистанов, А.А. Оболенский, К.В. Кочеткова, А.С. Борисенко, Новосибирск, 1973 г.

1.4. Неволько П.А. - Геологические и физико-химические условия формирования сурьмяной минерализации Енисейского кряжа: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук/ П.А. Неволько - Новосибирск. - 2009 г.

1.5. Сазонов А.М. Петрографические, минералогические, геохимические и структурные критерии золотого оруденения Урало-Васильевского рудного поля: заключительный отчет // А.М. Сазонов, А.А. Ананьев, В.А. Сараев, Т.П. Чернышова, А.К. Вальд, В.П. Меркулов Томск, 1980 г

2. Опубликованная литература

2.1. Бергер В.И. Сурьмяные месторождения. Недрa: книга / В.И. Бергер, 1978 – 295 с.

2.2. Власов В.С. Особенности формирования золоторудной минерализации Удере́йского месторождения: автореф. дис... канд. геол.-минерал. наук. / В.С. Власов, Томск, 1985 - 19с.

2.3. Власов В.С. Минералого-геохимическая характеристика золото-сурьмяного месторождения Енисейского кряжа // Литология и полезные ископаемые / В.С. Власов, М.С. Смирнов, В.А. Лисин, 1986, № 5.

2.4. Генкин А.Д. Золотоносный арсенопирит из золоторудных месторождений: внутреннее строение зерен, состав, механизм роста и состояние золота: геология рудных месторождений / А.Д. Генкин, 1988. – Т. 40. - №6. – с. 551-557.

2.5. Геолого-структурные условия размещения и соотношение золотого и сурьмяного оруденения в Южно-Енисейском районе (Енисейский кряж):

труды СНИИГИМС / Ли Л.В., Михеев В.Г., Дорофеев Н.П. и др. Красноярское отделение, 1971. – Вып. 114. – с. 60-66.

2.6. Дистанов Э.Г., Стеблева А.Т., Оболенский А.А., Кочеткова К.В., Борисенко А.С. Генезис Удере́йского золото-сурьмяного месторождения в Енисейском кряже // Геология и геофизика, № 8, 1975, с. 19-27.

2.7. Ермаков Н.П. Исследования минералообразующих растворов. Издательство Харьковского Государственного Университета им. А.М. Горького/ Н.П. Ермаков. – Харьков. – 1950. – 460 с.

2.8. Комов И.Л. Новый тип золотого оруденения в Енисейском Кряже: советская геология/ И.Л. Комов, 1968. - №4.

2.9. Леонтьев С.И. Геохимия: метод. указания к лабораторным работам для студентов очного и заочного обучения по направлению «Прикладная геология» / С.И. Леонтьев, М.В Вульф; ГОУВПО ГУЦМиЗ Красноярск, 2006. - 56 с.

2.10. Ли Л.В. Размещение и строение золотоносных полей и главные типы золота в Средней Сибири: полезные ископаемые средней Сибири./ Л.В. Ли, Г.П.Круглов, В.Г. Михеев - Красноярск, 1974. – с. 7-19.

2.11. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания: учебное пособие / П. Рамдор . Издательство иностранной литературы. Москва. – 1962. – с. 1132.

2.12. Сазонов А.М. Об условиях пространственного совмещения золоторудной и сурьмяной минерализации в сланцевых толщах одного из районов Сибири // Геологические и геохимические критерии золотого оруденения / А.М. Сазонов, А.А.Ананьев, В.С.Власов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. С.84-96.

2.13. Сазонов А.М. Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей / А.М. Сазонов, А.А. Ананьев, Т.В.Полева, А.Н.Хохлов, В.С.Власов, Е.А.Звягина, А.В.Федорова, П.А.Тишин, С.И.Леонтьев № 4, 2010.С. 371-395.

2.14. Сазонов А.М. Минералого-геохимические признаки метаморфогенного генезиса золотого оруденения Средней Сибири//Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений: наука / А.М. Сазонов , Новосибирск, 1985. – с. 47-53.

2.15. Сазонов А.М., Кирик С.Д., Сильянов С.А., Баюков О.А., Тишин П.А. Типоморфизм арсенопирита золоторудных месторождений Благодатное и Олимпиада (Енисейский кряж) // МИНЕРАЛОГИЯ № 3 2016, С. 53-70

2.16. Сильянов С.А., Некрасова Н.А. Термобарогеохимия флюидных включений жильного кварца золоторудного месторождения Советское (Енисейский кряж) // Тезисы докладов пятой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» Москва ИГЕМ РАН, 2015. 298 с.

2.17. Сильянов С.А., Князев Ю.В., Некрасова Н.А. Структура арсенопирита золоторудных месторождений Енисейского кряжа по данным Мессбауэровской спектроскопии // Взаимодействие учреждений Роснедра, Минобрнауки России и РАН при региональном геологическом изучении

территории Российской Федерации и ее континентального шельфа: Материалы V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского (28 февраля – 3 марта 2017 г., ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург) [Электронный ресурс] / Минприроды России, Роснедра, ВСЕГЕИ. – Электрон. данные. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2017

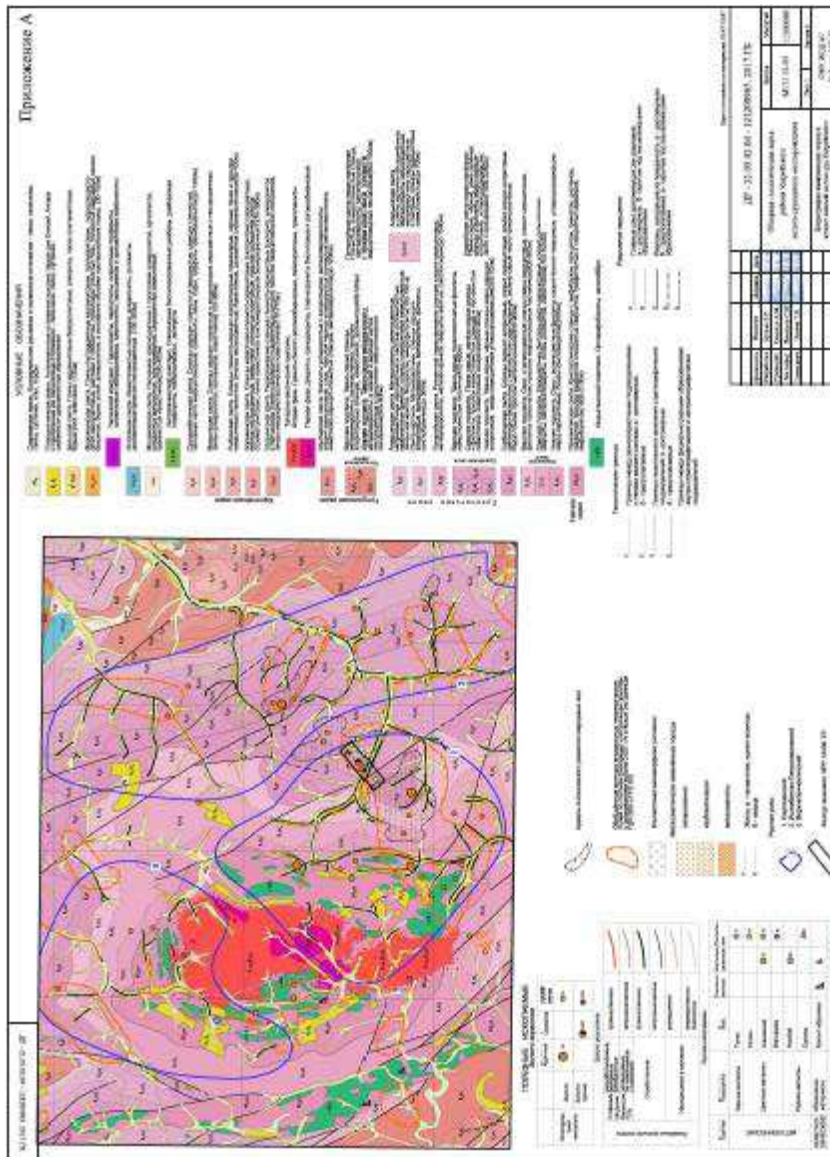
2.18.Стеблева А.Т. Удере́йское месторождение сурьмы // Рудоносность и геология Средней Сибири / А.Т. Стеблева, Красноярск, 1971. – с. 81-83.

2.19.Удере́йское сурьмяное месторождение в Енисейском кряже//Геология и генезис рудных месторождений юга Сибири/ Э.Г. Дистанов, А.А. Оболенский, К.В.Кочеткова, А.С. Борисенко – Новосибирск. - «Наука». – 1977. – с. 5-32.

2.20.Murzin V.V., Semenkin V.A., Sustavov S.G, Krinov D.I., Pikulev A.I., Milder O.B. Non-equivalent positions of Fe atoms in gold bearing arsenopyrite according to Mossbauer spectroscopy // Geokhimiya. 2003. 8. P. 893-901.


2.21.Nickel E.H. Structural stability of minerals with the pyrite, marcasite, arsenopyrite and lollingite structures // The Canadian Mineralogist, V. 9, №.3, P. 311-323 (1968).

2.22.Kretschmar, U., Scott, S.D. Phase relations involving arsenopyrite in the system Fe–As–S and their application // Can. Mineral. 1976. 14. 364-386 p.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела геологии и геотехнологии
институт
Геологии минералогии и петрографии
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 С.И. Леонтьев
подпись
« 22 » 06 2017г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.02 «Прикладная геология»
21.05.02.04 «Прикладная геохимия, петрология, минералогия»
Петрография вмещающих пород и вещественный состав руд Удерецкого
золото-сурьмяного месторождения

Научный
руководитель


подпись, дата

Профессор кафедры ГМиП,
д-р геол.-минерал. наук

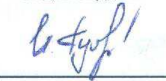
А.М. Сазонов

Выпускник


подпись, дата

Е.Р. Бутко

Рецензент


подпись, дата

Ведущий геолог ООО
«ПБК»

А.А. Гулякова

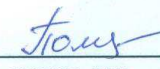
Консультант:

Геохимическая
характеристика руд
наименование раздела


подпись, дата

С.И. Леонтьев

Нормоконтролер


подпись, дата

Т.В. Полева

Красноярск 2017