

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов
институт
Геологии месторождений и методики разведки
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.А. Макаров
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2024 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.02. Прикладная геология
код и наименование специальности

21.05.02.01 Геологическая съёмка, поиски и разведка месторождений
полезных ископаемых
код и наименование специализации

Рудная минерализация интрузивных пород Кия-Шалтырского месторождения
тема

Пояснительная записка

Руководитель

подпись, дата

Г. И. Шведов
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

Л. Т. Кулему
инициалы, фамилия

Красноярск 2024

Продолжение титульного листа ДР по теме: «Рудная минерализация интрузивных пород Кия-Шалтырского месторождения»

Консультанты по
разделам:

Геологическая часть

наименование раздела

подпись, дата

А. М. Сазонов

инициалы, фамилия

Геоинформатика

наименование раздела

подпись, дата

А. Б. Бородушкин

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

М.Н. Киселева

инициалы, фамилия

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов
институт
Геологии месторождений и методики разведки
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.А. Макаров
подпись инициалы, фамилия
«_____» _____ 2024 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме дипломной работы

Студенту Кулему Лоран Тьебо

Группа: РМП 19-02 (ГГ 19-02) Направление: 121944044 «Геологическая съёмка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых»

Тема выпускной квалификационной работы: «Рудная минерализация интрузивных пород Кия-Шалтырского месторождения».

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР: доцент Г. И. Шведов, ГМиМР, ИЦМ-СФУ

Исходные данные для ВКР: В.Е. Барсегян, А.В. Голубев и др. Кия-Шалтырское месторождение нефелиновых руд: Отчет о доразведке в 2009-2012 гг. с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2011 г. Красноярск, 2012, технический проект по состоянию на 01.01.2011 г. Красноярск, 2012.

Перечень рассматриваемых вопросов: геологическая часть, минералогическая часть, геоинформационная часть.

Перечень графического материала: геологическая карта листа N-45-XI (Белогорск) масштабов 1:200 000 и 1:100 000, геологическая карта Кия-Шалтырского месторождения масштаба 1:5 000, разрезы геологоразведочных линий.

Автором были отобраны образцы в течение двухлетних академических производственных практик на горизонтах 570, 580, 590, 600м м по профилям – IV, -III, -II, -I с июня по июль 2022г, и на горизонтах 690 и 700м с июня по июль 2023г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения ВКР

| Наименование и содержание этапа (раздела) | Срок выполнения |
|---|-----------------------|
| Геологическая часть | 15.01.2024-15.06.2024 |
| Минералогическая часть | 15.01.2024-15.06.2024 |
| Геоинформационная часть | 15.04.2024-15.06.2024 |

« _____ » _____ 2024 г.

Руководитель ВКР

подпись

Г.И. Шведов

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

Л. Т. Кулему

инициалы, фамилия

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Рудная минерализация интрузивных пород Кия-Шалтырского массива» содержит 83 страницы текстового документа, 8 использованных источников, 8 листов графических приложений.

Объект работ: Кия-Шалтырское месторождение уртитов

Цель работы: изучение процесса образования рудной минерализации, а также закономерность распределения сульфидов в различных типах пород месторождения; установление корреляционной связи содержания серы, железа и Алюминий; оценка глубины распространения таких элементов как Co, Ni, Pt, Au.

В результате работ был изучен минеральный состав интрузивных пород, выяснилось, что часть рудных минералов образовалась в раннемагматическом этапе (титаномагнетит, ильменит, магнетит, гематит), а часть - в позднемагматическом этапе, а именно сульфиды (в которых развивались самородные элементы) и образовались они в разных фазах внедрения интрузивных пород.

Выяснялось, что присутствие рудных минералов с одной стороны снижают качества руд, но, с другой стороны ассоциируют сульфиды с такими ценными элементами, как золото, палладий, серебро, которые можно было попутно извлекать.

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Институт цветных металлов
Горно-геологический факультет
Кафедра ГМ и МР
Раздел плана: тематические работы
Полезное ископаемое: Алюминий
Наименование объекта: Кия-Шалтырское
месторождение
Местонахождение объекта: Кемеровская
обл., Тисульский район, п. Белогорск

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий кафедрой
_____ В. А. Макаров
« _____ » _____ 2024 г.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

На изучение минерального состава пород и руд Кия-Шалтырского месторождения.

Основание выдачи геологического задания: задание на выполнение выпускной квалификационной работы приказ № _____ от « ___ » _____ 2024г.

1. Целевое назначение работ: петрография, изучение сульфидных и оксидных рудных минералов и распределение химических элементов в рудном теле.

2. Геологические задачи и методы исследований.

2.1. Охарактеризовать петрографию Кия-Шалтырского массива

2.2. Спектральный анализ, рентгенно-флюоресцентный анализ порошков с целью получения содержаний их составляющих химических элементов.

2.3. Провести электронную микроскопию

2.4. Провести расчёт формул минералов по результатам электронной микроскопии.

3. Результаты

3.1. Петрографические заключения исследуемых пород

3.2. Доказать влияние сульфидов на качество руд, а также ценность на извлечение золота, серебра, палладия.

3.3. Генетические выводы о формировании интрузии.

Срок выполнения работы: 15.01.2024-25.05.2024 гг.

Руководитель проекта

подпись

Г. И. Шведов
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

Л. Т. Кулему
инициалы, фамилия

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| РЕФЕРАТ | 6 |
| СПИСОК ГРАФИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ | 9 |
| СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ..... | 10 |
| СПИСОК ТАБЛИЦ | 13 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 14 |
| 1. Общие сведения об объекте работ | 15 |
| 2. Геология месторождения..... | 18 |
| 2.1. Стратиграфия | 18 |
| 2.2. Интрузивные образования (магматизм)..... | 20 |
| 2.3. Тектоника..... | 26 |
| 3. Результаты исследований и интерпретация..... | 27 |
| 3.1. Результаты исследования предшественников | 27 |
| 3.2. Результаты исследований дипломной работы..... | 29 |
| 3.2.1. Отбор образцов..... | 29 |
| 3.2.2. Рудная Минералогия пород..... | 31 |
| 3.2.2.1. Габбро | 31 |
| 3.2.2.2. Ийолиты | 48 |
| 3.2.2.3. Уртиты..... | 56 |
| 3.2.2.4. Скарны..... | 69 |
| 3.2.3. Диаграммы распределения сульфоарсенидов, диарсендов и распространённость минералов в породах | 79 |
| 3.2.3.1. Сульфоарсениды: | 79 |
| 3.2.3.2. Диарсениды..... | 80 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 82 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР | 83 |

СПИСОК ГРАФИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

| Лист | Наименование приложения | Масштаб | Приложение | Количество листов |
|------|--|-----------|------------|-------------------|
| 1 | Геологическая карта района работ | 1:200 000 | А | 1 |
| 2 | Геологическая карта Горячегогорского и Кия-Шалтырского месторождений нефелиновых руд | 1:100 000 | Б | 1 |
| 3 | Геологическая карта Кия-Шалтырского месторождения | 1:5 000 | В | 1 |
| 4 | Атлас исследуемых пород | | Г | 1 |
| 5 | Атлас исследуемых минералов | | Д | 1 |
| 6 | Атлас фотографий обнажений по карьере | | Е | 1 |
| 7 | Диаграммы распределения сульфоарсенидов, диарсенидов Схема отбора проб | | Ж | 1 |
| 8 | Таблица распространённости рудных минералов в породах | | З | 1 |

Всего 8 графических приложений на 8 листах.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

| № п/п | Наименование рисунков | Стр. |
|-------|---|------|
| 1.1 | Обзорная карта района работ | 15 |
| 1.2 | Уртит. Образец За. Горизонт 600м | 17 |
| 2.1 | Схема распределения даек в рудном теле | 25 |
| 2.2 | Схема тектонического районирования | 26 |
| 3.1 | Точечная схема отбора проб на июль 2022г. Вид сверху | 29 |
| 3.2 | Схема отбора проб по профилям видом сзади. Блок-диаграммы | 30 |
| 3.3 | Пробы на профиле 4 | 30 |
| 3.4 | Габбро. Образец из коллекции предприятия. Горизонт неизвестен | 31 |
| 3.5 | Средний петрографический состав габбро | 32 |
| 3.6 | Габбро. 1- плагиоклаз, 2- оливин, 3- нефелин, 4-титан-авгит. Шлиф 18. Горизонт 620м | 32 |
| 3.7 | Структура распада титаномагнетита. Анш. 26-2. Горизонт 720м | 33 |
| 3.8 | Гематит совместно с пирротином заполняет промежутки между пластинками ильменита. Анш. 9. Горизонт 600м | 34 |
| 3.9 | Цементация щелочных нерудных минералов пирротином. Анш. 26. Горизонт 720 м | 34 |
| 3.10 | Зерно аргентопентландита в сростании с халькопиритом. А – отраженный свет. Б- Обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-1. Горизонт 720м | 35 |
| 3.11 | Аргентопентландит замещается пентландитом. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-1. Горизонт 720м | 35 |
| 3.12 | Первичный пирит. Анш. 26-1. Горизонт 720м | 36 |
| 3.13 | Вторичный пирит. Анш. 26-1. Горизонт 720м | 37 |
| 3.14 | Халькопирит и пирротин. Анш. 26-2-1. Горизонт 720м | 37 |
| 3.15 | Халькопирит в пирротине. Анш. 26-2. Горизонт 720м | 38 |
| 3.16 | Галенит и халькопирит в составе пирротина. Отраженный свет. Анш. 26-2-4. Горизонт 720м | 38 |
| 3.17 | Галенит и халькопирит в составе пирротина. Фото в обратно-рассеянных электронах. Анш. 26-2-4. Горизонт 720м | 39 |
| 3.18 | Зерно галенита в сростании с никелином в составе агрегата кобальтина. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м | 39 |
| 3.19 | Джерфишерит замещается халькопиритом. А - Отраженный свет | 40 |
| 3.20 | Кайма Джерфишерита вдоль включения нерудных минералов в пирротине. Отраженный свет. Анш. 26. Горизонт 720м | 40 |
| 3.21 | Кобальтин с включениями никелина и гессита. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м | 41 |
| 3.22 | Агрегаты глаукодота с включениями никелина, гессита и галенита. Анш. 26. Горизонт 720м | 42 |
| 3.23 | Зерна никелина внутри агрегата кобальтина. Отраженный свет. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м | 42 |
| 3.24 | Включение никелина в кобальтине. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м | 43 |
| 3.25 | Гессит на границе никелина и кобальтина. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м | 43 |
| 3.26 | Мелкие зерна цумоита по границе пирротина и кобальтина. Фото в обратно-рассеянных электронах. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м | 44 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.27 | Агрегат аллоклазита с микронными включениями минералов палладия и самородного золота. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-1. Горизонт 720м | 45 |
| 3.28 | Графит развивается по гематиту. Анш. 26-3. Горизонт 720м | 46 |
| 3.29 | Йиолит. Фото из коллекции предприятия. Горизонт не указан | 48 |
| 3.30 | Средний петрографический состав йиолитов | 49 |
| 3.31 | Йиолит. 1- нефелин, 2- титан-авгит, 3- апатит, 4- плагиоклаз. Шлиф 20. Горизонт 720м | 49 |
| 3.32 | Структура распада титаномагнетита. Анш. 17а. Горизонт 580м | 50 |
| 3.33 | Гематит (мартит) замещает магнетит. Анш. 13а-2. Горизонт 720м | 51 |
| 3.34 | Замещение пирротина гематитом и пентландитом. Анш. 13. Горизонт 720м | 51 |
| 3.35 | Скопление первичного пирита. Анш. 17. Горизонт 580м | 52 |
| 3.36 | Марказит в сростании с пиритом. Анш. 17а. Горизонт 580м | 52 |
| 3.37 | Замещение пирротина халькопиритом и сфалеритом. Анш. 13а-1. Горизонт 720м | 53 |
| 3.38 | Кристалл кобальтина в пирротине. Анш. 13а-1. Горизонт 720м | 53 |
| 3.39 | Графитовая структура. Анш. 8. Горизонт 590м | 54 |
| 3.40 | Уртит– текстура массивная, неоднородная, зернистая; трахитовая макроструктура. Образец 3а. Горизонт 630м | 56 |
| 3.41 | Средний петрографический состав уртитов | 56 |
| 3.42 | Уртит. Агпайтовая структура, идиоморфный нефелин (1) вокруг ксеноморфный титан-авгит (2). Шлиф №14. Увеличение 10х. Горизонт 580м. Профиль -Ша | 57 |
| 3.43 | Структура распада титаномагнетита. Анш. 10. Горизонт 590м | 58 |
| 3.44 | Полоски ильменита. Анш. 7а. Горизонт 580м | 59 |
| 3.45 | Гематит замещает магнетит. Анш. 4а. Уртит. Горизонт 600м | 59 |
| 3.46 | Пирротин. Анш. 3. Горизонт 600м | 60 |
| 3.47 | Клиновидные зерна пентландита в пирротине. А- отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 0. Горизонт неизвестен | 61 |
| 3.48 | Первичный пирит вместе с марказитом. Анш. 3. Горизонт 600м | 61 |
| 3.49 | Вторичный пирит. Анш. 3. Горизонт 600м | 62 |
| 3.50 | Халькопирит. Анш. 4а. Горизонт 600м | 62 |
| 3.51 | Агрегаты арсенопирита по краям пирротина. А- отраженный свет. Б- обратно-рассеянные электроны. Анш. 5. Горизонт 600м | 63 |
| 3.52 | Нарастание арсенопирита на пирротин. А-отраженный свет. Б-обратно-рассеянные электроны. Анш. 5. Горизонт 600м | 63 |
| 3.53 | Молибденит. Обратно-рассеянные электроны. Анш. №3. Горизонт 590м | 64 |
| 3.54 | Графит. Анш. 10. Уртит. Горизонт 590м | 65 |
| 3.55 | Включения леллингита в кобальтине (А) и в герсдорфите (Б). А – Анш. 5. Горизонт 600м Фото в обратно-рассеянных электронах. Анш. 0. Горизонт неизвестен | 65 |
| 3.56 | Гессит в составе герсдорфита. А - отраженный свет. Б – в обратно-рассеянных электронах. Анш. 0 | 66 |
| 3.57 | Корреляционная диаграмма содержания S, Fe, Al ₂ O ₃ | 67 |
| 3.58 | Скарн. Образец 4. Горизонт 700м | 69 |
| 3.59 | Структура распада титаномагнетита. Анш. 2. Горизонт 600м | 70 |
| 3.60 | Пентландит развивается по краям пирротина. Анш. 2. Горизонт 600м. | 71 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.61 | Мелкие выделения пентландита в пирротине. Отраженный свет. Анш. 2. Горизонт 600м | 71 |
| 3.62 | Включение пентландита в пирротине. Анш. 2. Горизонт 600м | 72 |
| 3.63 | Сфалерит по краю халькопирита. Анш. 2. Горизонт 600м | 72 |
| 3.64 | Микронное зерно галенита в сростании с пирротинном. Обратнорассеянные электроны. Анш. 2. Горизонт 600м | 73 |
| 3.65 | Мелкое зерно гессита в пирротине. Фото в обратнорассеянных электронах. Анш. 2. Горизонт 600м | 73 |
| 3.66 | Лёллингит. Обратнорассеянные электроны. Анш. 2. Горизонт 600м | 74 |
| 3.67 | Включение самородного золота в арсенидах и сульфоарсенидах кобальта и никеля. А – отраженный свет. Б – обратнорассеянные электроны. Анш. 2. Горизонт 600м | 75 |
| 3.68 | Графит развивается в пирротине. Анш. 2. Горизонт 600м | 76 |
| 3.69 | Зерно садбериита в сростании с галенитом в агрегате аллоклазита. А – отраженный свет. Б – обратнорассеянные электроны. Анш. 10-3. Горизонт 720м | 77 |
| 3.70 | Диаграмма распределения сульфоарсенидов в габбро, скарнах и уртитах | 79 |
| 3.71 | Диаграмма распределения диарсенидов в скарнах и уртитах | 80 |
| 3.72 | Распространённость минералов в типах пород | 81 |

СПИСОК ТАБЛИЦ

| № п/п | Наименование таблиц | Стр. |
|-------|--|------|
| 2.1 | Средний химический состав даек и шпир в рудном теле уртитов в контуре подсчета запасов | 24 |
| 3.1 | Химический состав пентландита и аргентопентландита | 36 |
| 3.2 | Химический состав галенита | 39 |
| 3.3 | Химический состав джерфишерита, анш. 26 | 41 |
| 3.4 | Химический состав никелина, анш. 26-2-3 | 43 |
| 3.5 | Химический состав гессита | 44 |
| 3.6 | Химический состав цумоита | 44 |
| 3.7 | Химический состав сплава золота и серебра | 45 |
| 3.8 | Схема минералообразования в габбро | 47 |
| 3.9 | Схема минералообразования в ийолитах | 55 |
| 3.10 | Химический состав арсенопирита, образец 5 | 64 |
| 3.11 | Химический состав молибденита | 64 |
| 3.12 | Химический состав леллингита | 66 |
| 3.13 | Данные спектрального анализа проб уртитов | 67 |
| 3.14 | Схема минералообразования в уртитах | 68 |
| 3.15 | Химический состав галенита | 73 |
| 3.16 | Химический состав гессита | 74 |
| 3.17 | Химический состав леллингита | 74 |
| 3.18 | Химический состав сплава золота и серебра в скарне | 75 |
| 3.19 | Химический состав садбериита | 77 |
| 3.20 | Схема минералообразования в скарнах | 78 |

ВВЕДЕНИЕ

Алюминий является одним из ценных металлов в развитии нашего общества из-за широкого применения. Он применяется в авиации, в космической технике, в электротехнике, в судостроении, в автотранспорте, в медицине и в быту.

В России в качестве алюминиевых руд используют чаще всего магматические горные породы, богатые окисью алюминия, такие как нефелиновые сиениты, уртиты и их разновидности.

Одним из представителей источников алюминиевых руд является Кия-Шалтырский массив, уртиты которого являются сырьем для Ачинского глиноземного комбината.

Материалы для выполнения дипломной работы были отобраны в течение двухлетних академических производственных практик на горизонтах 570, 580, 590, 600 м по профилям –IV, -III, -II, -I с июня по июль 2022г, и на горизонтах 690 и 700 м с июня по июль 2023г. Из отобранных материалов были изготовлены шлифы, аншлифы и порошки.

1. Общие сведения об объекте работ

Кия-Шалтырское месторождение нефелиновых руд (уртитов) расположено в северной части хребта Кузнецкий Алатау. Административно месторождение находится в Тисульском районе Кемеровской области, в 50 км от границы с Красноярским краем. Технологически Кия-Шалтырский нефелиновый рудник подчинён Ачинскому глинозёмному комбинату (АГК) Красноярского края.

Географические координаты месторождения: 88°27'40"в.д. и 55°00'20"с. ш, площадь горного отвода составляет 5,95км², земельного (с учетом отвалов и сооружений) 9,46 км² (рис.1).



Рис.1.1 – Обзорная карта района работ

Кия-Шалтырское месторождение уртитов открыто в 1957г геологом А.М. Прусевичем. В ноябре 1969 года выдана первая промышленная руда.

Бортовое содержание глинозёма не менее 24%, окиси калия и натрия в сумме не менее 10%, окислов железа не более 7% и кремнезёма не более 43%. Минимальное среднее содержание в подсчётном блоке глинозёма 26% при минимальном среднем содержании калия и натрия в сумме 11,5% и максимальном среднем содержании окиси железа 6% и кремнезёма 42%. Запасы нефелиновой руды на момент разведки составляли 236 млн. тонн при качестве по глинозему 27,78%.

В геологическом строении месторождения участвуют разнообразные осадочные, осадочно-вулканогенные и метаморфические породы возрастного интервала от позднего рифея до девона. Осадочно-метаморфический комплекс прорывается интрузивными породами, преимущественно, основного и щелочного состава.

Кия-Шалтырское месторождение нефелиновых руд, представленное уртитам, приурочено к одноименному массиву Горячегогорского щелочно-габброидного комплекса раннедевонского возраста, который контролируется крупным региональным Шалтырским разломом. Кия – Шалтырский массив расположен в левобережье реки Кийский Шалтырь, в его верхнем течении, являясь уникальным геологическим образованием. Массив окаймлен зоной метасоматических пород в виде роговиков и скарнов.

Кия – Шалтырское месторождение имеет форму штока удлиненной формы, которое вытянуто в меридиональном направлении и подковообразно загнуто на южном фланге месторождения, в глубину имеет форму клина. Параметры рудного тела: длина по поверхности - 2,3км; ширина от 20 до 220м; средняя мощность -120м; падение рудного тела юго-западное-западное, крутое, под углами 80-90°. Рудное тело полностью выклинивается на горизонте +320м.

Рудное тело в основном однородное, представленное одним петрографическим типом пород – уртитам. По своему внешнему виду, химическому и минеральному составу четко выделяется от вмещающих карбонатных и вулканогенных пород и прорывающих их габброидов.

Уртиты – светло-серого цвета, средне и крупнозернистые породы, сложенные идиоморфными зернами нефелина и ксеноморфными зернами титанистого авгита. Среднее содержание нефелина изменяется от 79,8% до 89,1%. Содержание Al_2O_3 колеблется от 21% до 32%. Вторичные минералы представлены: канкринитом, содалитом, мусковитом, хлоритом, альбитом и т. д. Коэффициент рудоносности - 0,92 - 0,97%.

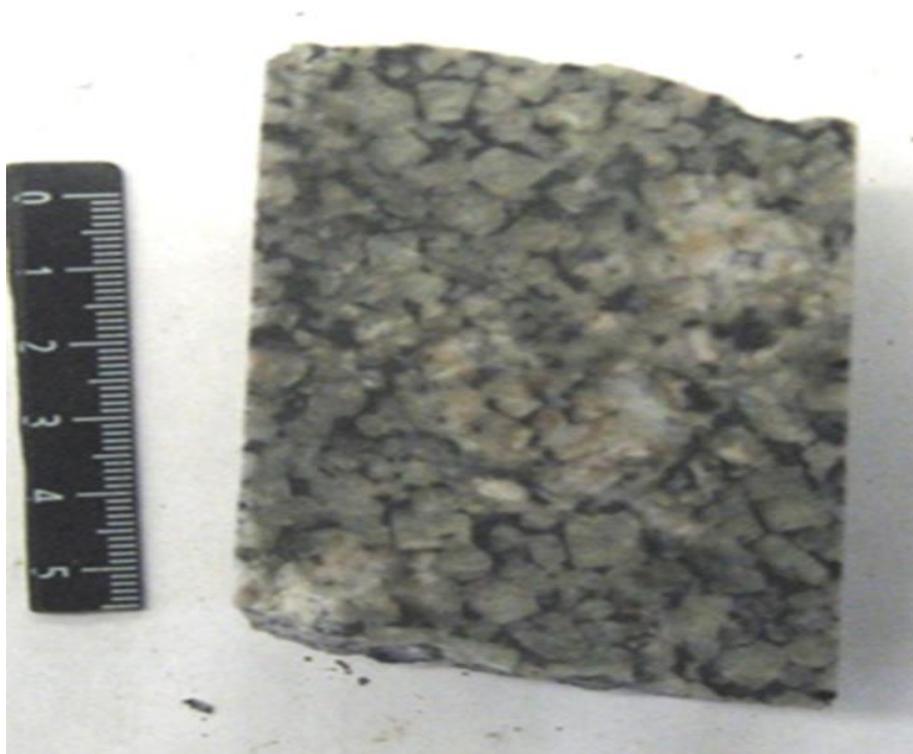


Рис.1.2 – Уртит. Образец 3а. Горизонт 600м

Однородность рудного тела уртитов, нарушается присутствием разубоживающих примесей в виде даек, представленных ийолит - порфирами, камптонитами, диабазовыми порфиритами, шлировыми выделениями и некондиционными рудами в зонах трещиноватости, дробления и вторичных метасоматических изменений. Мощность включений составляет от первых сантиметров достигая 2-3м и до 12м.

Протяженность включений от десятка до сотен метров. Доля включений этих пород составляет около 10% от объема нефелиновой руды.

Вмещающие породы составляют внешнюю вскрышу блочной модели. Рыхлая вскрыша, представленная обломками коренных пород, сцементированных щебнисто-глинистым материалом. В составе скальной вскрыши отмечаются: известняки с кремнистыми прослоями до 25%, известняки с кремнистыми прослоями до 75%, роговики выветрелые, роговики массивные, крепкие, трещиноватые, габбро разной зернистости, туфы и туфопесчаники, туфогравелиты, ийолиты, а также метасоматические породы: скарнированные известняки, скарны, мраморы. Гидрогеологические условия разработки месторождения сложные. Подземные воды не напорные, трещинные, слабоминерализованные [1, 5].

2. Геология месторождения

Кия-Шалтырское месторождение расположено в северной части хр. Кузнецкого Алатау. Оно приурочено к одноименному массиву Горячегорского щелочно-габброидного комплекса раннедевонского возраста.

Кия-Шалтырский массив является уникальным геологическим образованием и признан геологическим памятником Кемеровской области. Он расположен в левобережье р. Кийский Шалтырь, в его верхнем течении.

В структурно-тектоническом плане интрузив залечивает контролирующее его разрывное нарушение, которое в районе месторождения имеет простирание юго-восточного направления. Вмещающими образованиями массива являются породы усть-кундатской и усинской свит раннего кембрия.

2.1. Стратиграфия

В соответствии с современными представлениями унифицированных схем корреляции стратиграфических подразделений и развития магматизма северной части Кузнецкого Алатау с использованием материалов работ ГДП-200 листа N-45-XI и с учетом всех ранее выполненных геологосъемочных, поисковых, тематических и разведочных отчетов стратиграфические подразделения в районе месторождения следующие.

усть-кундатская свита (E_{1uk}) представлена известняками чистыми, доломитистыми, глинистыми, доломитисто-глинистыми, песчанистыми, углеродистыми, реже доломитами, глинистыми доломитами, мергелями, алевролитами, песчаниками, туфопесчаниками, гравелитами, конгломератами, туфоконгломератами, туфогравелитами, сланцами кремнистыми, углеродисто-глинистыми, глинистыми и глинисто-кремнистыми, базальтами, туфами кислого и основного составов, кварцитами, известняковыми конгломератами.

Карбонатная часть разреза свиты в районе месторождения сложена известняками, часто углеродистыми, обломочными, мраморированными, иногда глинистыми, доломитистыми, песчанистыми, с прослоями алевролитов, песчаников и углеродисто-глинисто-кремнистых сланцев. Эти образования контактируют с Кия-Шалтырским массивом с юго-запада и постепенно вверх по разрезу на восток, северо-восток сменяются породами осадочно-вулканогенной части разреза.

Осадочно-вулканогенная часть разреза свиты представлена туфопесчаниками, туфоалевролитами, туфоконгломератами, туфами и лавами базальтов, реже дацитов, с прослоями известняков, сланцев кремнисто-углеродисто-глинистых и реже рассланцованных туффитов.

В западной части месторождения контакт существенно карбонатных образований с осадочно-вулканогенным разрезом свиты приурочен к зоне тектонического нарушения.

На контакте с образованиями Кия-Шалтырской интрузии породы устькундатской свиты ороговикованы и скарнированы. В зонах влияния разрывных нарушений они анкеритизируются и окварцовываются. Ширина зон

ороговикования от первых до нескольких десятков, реже 100-200 метров, а скарирования - от первых сантиметров до 10-15 (чаще 1-5) метров.

Отложения согласно залегают на доломитах растайской свиты и согласно перекрываются известняками усинской свиты. Максимальная мощность ее отложений в районе достигает 2000 м.

усинская свита (*Є_{1us}*) представлена известняками чистыми, глинистыми, доломитистыми, водорослевыми и археоциатовыми (линзы и прослои) с редкими линзами и прослоями алевролитов, глинистых и кремнисто-известковистых сланцев, туффитов и туфов базальтов, конгломератов. Известняки, наиболее распространённые породы свиты, преобладают чистые известняки. Конгломераты встречаются крайне редко. Мощность единичных прослоев и линз алевролитов, глинистых и кремнисто-известковистых сланцев колеблется от 0,1 до 1 м, а туффитов и туфов базальтов достигает 30-60 м. Породы свиты участвуют в строении крыльев синклиналей с довольно крутыми углами падения (45-75°).

Контакты известняков усинской свиты с породами усть-кундатской свиты в районе Кия-Шалтырского массива чаще тектонические, севернее (вблизи пос. Белогорск) установлены факты их согласного залегания.

В известняках усинской свиты установлены многочисленные остатки археоциат и водорослей, характерных для атдабанского яруса раннего кембрия. Свита залегают согласно на отложениях усть-кундатской свиты и перекрывается с размывом породами полтавской свиты. Мощность свиты составляет от 800 до 2300 м.

Четвертичные отложения. В пределах участка месторождения представлены сплошным, маломощным (0,5 – 3,0м) делювиальным чехлом. В составе делювия широко развиты мелкие обломки и щебень различных пород, сцементированные песчано-глинистым материалом [1, 5].

2.2. Интрузивные образования (магматизм)

Алтае-Минусинский ранне-среднедевонский магматический пояс. Минусинский сегмент. Горячегорский сектор

Интрузивные образования Горячегорского сектора Минусинского сегмента представлены субвулканическими телами Базырско-Ашпанского трахит-тефрит-трахибазальтового комплекса и их комагматичными интрузивами Горячегорского щелочно-габброидного и Карадатского щелочно-сиенитового комплексов.

Горячегорский щелочно-габброидный комплекс (E_1 , $E_{1v}D_{1g1}$, E_v , $E_{\sigma}D_{1g2}$, E_v , $E_{v\pi}D_{1g3}$, $E_{1v}D_{1g4}$, $E_v, \varphi\zeta D_{1g5}$). К Горячегорскому комплексу отнесены нефелинсодержащие и ассоциирующие с ними щелочные и умеренно-щелочные мезо-гипабиссальные породы района. Породы комплекса образуют массивы сложного и простого строения. В массивах сложного строения присутствует до 5 разновидностей пород со своими дайковыми фациями, а в телах простого строения – одна или две разновидности. Однако нет ни одного массива, где присутствовали бы все члены ассоциации щелочных и сопутствующих им пород. Количественно в районе преобладают интрузивы простого строения. Массивы комплекса небольшие (до 2–4 км²), гипабиссальные, моно- и полипородные. Их форма удлиненно-овальная неправильная, предопределена конфигурацией вмещающих полостей растяжения. Преимущественная ориентировка тел субмеридиональная. Самые крупные из них: Кия-Шалтырский (петротип), Кийский, горы Дедовой. На сопредельных территориях известны Горячегорский, руч. Ветвистого, Семеновский, Дмитриевский и др. относительно крупные массивы. Существенные вариации строения и состава интрузивных массивов, петрографического состава основных разновидностей пород обусловлены спецификой дифференциации исходного базитового расплава при формировании интрузивов.

В составе комплекса выделяется 5 фаз внедрения: I фаза – уртиты, ийолит-уртиты, ийолиты; II фаза – пойкилитовое разномерное мезократовое нефелинсодержащее габбро (до тералитов); III фаза – трахитоидное лейкократовое нефелинсодержащее габбро (до тералитов), IV фаза – двуполевошпатовые ийолит-уртиты, V фаза – нефелиновые сиениты, щелочные сиениты. Завершают становление комплекса небольшие штокообразные и дайкообразные тела щелочного порфирикового микрогаббро, местами насыщенные ксенолитами габброидов II и III фаз, менее – нефелиновых сиенитов. Контакты фаз между собой и с вмещающими образованиями крутопадающие, близкие к вертикальным, со ступенчато изогнутыми плоскостями. Количественные соотношения разновидностей пород сильно варьируют в пределах отдельных массивов.

Вариации составов однотипных пород, а также различия в породных «наборах» разных массивов объясняются спецификой геолого-тектонических условий их формирования. Наиболее полно породы комплекса представлены в Кия-Шалтырском (петротип) и Горячегорском интрузивах. Наиболее распространенными образованиями комплекса являются нефелиновые сиениты,

а наименее – уртиты. Последние образуют три небольших тела: Светлинское, Кийский Выход и в составе Кия-Шалтырского массива. Общим для тел «настоящих» уртитов (Кия-Шалтырский, Светлинский массивы и Кийский Выход) является их размещение среди карбонатных пород. При этом в Кия-Шалтырском массиве уртиты тесно ассоциируют с нефелинсодержащими габброидами, а в остальных случаях они слагают автономные тела, значительно удаленные от интрузивов раннедевонских габброидов. Причиной такой удаленности, по мнению А.Н. Уварова [1], является возникновение в процессе дифференциации самостоятельной и весьма подвижной уртитовой фазы, легко перемещающейся в пространстве. Немаловажное значение при возникновении уртитов имеет карбонатный субстрат, служащий той изолирующей средой, в которой может «вызреть» уртитовая фаза.

Каждой из разновидностей плутонических пород соответствуют свои дайково-жильные производные. Контакты даек ступенчатые, что типично для тел, заполняющих трещины отрыва. Дайковая фация I фазы представлена микроийолитами, они образуют тела мощностью от 1 см до 1 м, редко более. Иногда среди уртитов встречаются небольшие тела пегматитов, соответствующих по составу ийолитам. Дайки II фазы представлены щелочным микрогаббро и камптонитами мощностью от 10 см до 1-2 м, III фазы - тералитовым порфиритами и микрогаббро, IV фазы - двуполевошпатовым микроийолит-уртитами, V фазы — нефелиновыми микросиенитами, реже пегматитами нефелиновых сиенитов. Как правило, дайки комплекса пространственно тесно сопряжены со своими плутоническими аналогами, но могут проявляться и в отрыве от них. Среди даек жильных фаций пойкилитовых и трахитоидных щелочных габброидов, нефелиновых монцонитов и нефелиновых сиенитов встречаются аномально обогащённые нефелином (до 80%) "дайки-монстры". Нередко их относят к производным уртитов, именуя полевошпатовыми ийолитами, хотя по своей сути они являются то тералитовыми порфиритами (плагиоклаза 10-12%, нефелина до 75%), то нефелиновыми сиенитами (калишпата не более 10-15%, нефелина до 75%), то двуполевошпатовыми ийолит-уртитами (калишпат + плагиоклаз группы андезита-олигоклаза около 10-35%, нефелин – до 75-80%). Эти «монстры» проявлены практически по всей площади распространения горячегогорского комплекса, но чаще всего встречаются в среднем и верхнем течении Кийского Шалтыря и в верхнем течении Кии. Обычно они проявляются на значительном удалении от массивов щелочных пород, но встречаются и внутри этих массивов (Кия-Шалтырский, Горячегогорский, Малошалтырский интрузивы). Причины появления "даек-монстров" не изучены. На контакте с телами комплекса происходит ороговикование (до роговиков), нефелинизация, калишпатизация и альбитизация силикатных пород, скарнирование (до скарнов) и мраморизация (до мраморов) карбонатных пород, иногда развиваются кальцифиры. На контакте с габбро происходит габброизация уртитов, развитие метасоматических пироксенитов по уртитам непосредственно на контакте и в

виде жил, проникающих в уртиты. Ширина зоны контактово измененных пород от 1 см до 2-5 м, иногда до нескольких десятков метров.

Дайковая фация I фазы (микроийолиты и порфиоровидные ийолиты)

Дайковая фация I фазы представлена микроийолитами и порфиоровидными ийолитами, образующими дайки мощностью от 1 см и менее до 1, редко 3-4 м. Часто в эндоконтактах уртиты, обогащаясь пироксеном, кальцитом и апатитом, постепенно переходят в ийолит–уртиты и ийолиты.

Протяженность их обычно составляет от первых м до 15-20 м, в редких случаях достигает до 150-200 м. Наиболее протяженные и мощные дайки микроийолитов в урритах зафиксированы в северной и центральной частях рудного тела, где их мощность (пересечение по керну) составляет более 3 м – 3,2 м. Микроийолиты второй генерации образуют маломощные (5-10 см) жилоподобные тела с резкими контактами, пересекающие микроийолиты первой генерации, от которых не отличаются по составу.

Контакты даек часто ступенчатые, что типично для тел, заполняющих трещины отрыва. Дайковые тела наиболее распространены непосредственно в рудном теле урритов и характеризуются залеганием, субпараллельным его простиранию. Также этих даек довольно много в клине мраморов, разделяющих пойкилитовое щелочное габбро и уртиты в северо-западной части интрузива, в т.ч. и в непосредственной близости от контакта габброидов, но в габброидах их нет.

Простирание даек микроийолитов и порфиоровидных ийолитов северо-западное северное по азимуту 330-360°, реже северо-восточное 10-20°. В целом они ориентированы вдоль простирания рудного тела урритов. Падение их юго-западное, реже юго-восточное и южное под углами от 65 до 85-90°.

Вывод: дайки ийолитов являются сингенетическими продуктами замещения урритов.

Дайки II фазы (камptonиты)

К востоку уртиты сменяются прорывающим их пойкилитовыми мезократовыми нефелинсодержащими габбро (до тералитов) II фазы. Контакт осложнен эндо-эзоконтактной оторочкой плагиоклазовых пироксенитов мощностью до 10 м. В местах выполаживания контакта уртиты габброизируются в зоне шириной до 10, изредка 30 метров. Пойкилитовые нефелинсодержащие мезократовые габбро (до тералитов) второй фазы внедрения приурочены к центральной части Кия-Шалтырского массива, они образуют подковообразное в плане тело, обращенное выпуклостью на юг. Его северо-западная половина круто, под углом 75-85°, падает на запад, а восточная – меняет падение от западного (от пологого до крутого, углы 45-80°) на восточное (всегда крутое, угол 80°). Склонение тела пойкилитовых мезократовых габброидов северо-восточное, как и у урритов.

Камptonиты и щелочные титан-авгит-амфиболовые микрогаббро II фазы образуют дайки мощностью от нескольких см до 2-3 м, в редких случаях 7-12 м. Простирание даек северо-восточное, реже северное и северо-западное. Протяженность их от первых десятков до 100-130 м и более.

Камптониты темно-серые и зеленовато-серые породы, текстура их массивная, реже миндалевидная и прожилковая. Структура пород равномерномелкозернистая, гипидиоморфозернистая, сериально-порфировая и призматически зернистая. Минеральный состав: плагиоклаз 35-50%, роговая обманка (керсутит, баркевикит) 20-50%, апатит 1-5%, нефелин 0-5%, щелочной полевой шпат 0-5%, титан-авгит 0-3%, сфен 0-3%, сульфиды 1-3%, магнетит 0-3%. [3]

Дайки III фазы

Тералитовые порфириты (микротералиты) и роговообманковые диабазы (роговообманковое микрогаббро) III фазы в рудном теле уртитов образуют дайки мощностью от 1-5 см до 2-3 м, редко до 9 и более м. В рудном теле встречаются повсеместно, изредка наблюдается, как они прорывают дайки микройолитов и камптонитов. Простираение даек северо-восточное, реже северное и северо-западное. Протяженность их составляет от первых десятков до 100-120 м, реже 200 и более м. Трахитоидные нефелинсодержащие габброиды сложены плагиоклазом (65-83%) №52-62 (лабрадор), титанистым ферроавгитом (5-30%), гиалосидеритом (0-5%), нефелином (ед. зерна – 10%), титаномагнетитом (1-5%), апатитом (до 1%).

Нефелиновые микросиениты V фазы в пределах Кия-Шалтырского массива представлены дайками и жилами мощностью от 1 см до 1 м (редко) и протяженностью не более 10 метров, прорывающими пойкилитовые и трахитоидные щелочные габброиды и уртиты. Нефелиновые сиениты внешне светло-серые с розоватым, буроватым и красноватым оттенками, мелко-среднекристаллические, массивные и порфировидные. Выделяются лейкократовые трахитоидные с титанистым авгитом и гастингситом, меланократовые с титанистым амфиболом и эгирин-авгитовые сиениты. Отмечаются также оливинсодержащие разности с титанистым авгитом и гастингситом. Минеральный состав: калиевый пертитовый полевой шпат (50-65%), альбит до олигоклаза (10-20%), нефелин (10-40%), эгирин-авгит или (и) титан-авгит (2-10%), амфибол баркевикитового ряда (1,5-20%) с примесью биотита, мусковита, титаномагнетита, сфена. Отмечаются также единичные зерна флюорита, цоизита. Вторичные минералы нефелиновых сиенитов: канкринит, содалит, анальцим, либнерит, альбит.

Морфология и мощность даек

Влияние дайковых пород на качество руд массива

Средний химический состав наиболее представительных проб (относительно свежих без включения приконтактных пород) по разновидностям пород и в целом по всем дайкам и шлирам в рудном теле уртитов в контуре.

Таблица 2.1 – Средний химический состав даек и шпир в рудном теле уртитов в контуре подсчета запасов

| Компоненты | Наименование пород | | | | Среднее по всем дайкам и шпирам | |
|---------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------|----------------------|---------------------------------|-------|
| | ийолиты, ийолит-уртиты | микрогаббро, диабазы, порфириды | камптониты | нефелиновые сиениты* | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Содержание в % | п.п.п. | 3,88 | 4,78 | 4,15 | 0,89 | 4,37 |
| | SiO ₂ | 41,11 | 43,64 | 45,07 | 67,51 | 43,51 |
| | Al ₂ O ₃ | 20,20 | 17,66 | 17,75 | 17,31 | 18,39 |
| | Fe ₂ O ₃ | 9,40 | 9,75 | 10,87 | 1,18 | 9,71 |
| | CaO | 11,94 | 10,81 | 8,28 | 0,32 | 10,56 |
| | MgO | 2,46 | 4,68 | 2,98 | 0,67 | 3,71 |
| | Na ₂ O | 7,55 | 5,28 | 6,31 | 7,58 | 6,12 |
| | K ₂ O | 1,68 | 1,52 | 2,12 | 2,81 | 1,68 |
| | SO ₃ | 0,20 | 0,26 | 0,29 | - | 0,25 |
| | R ₂ O | 8,65 | 6,28 | 7,70 | 9,43 | 7,23 |
| | M _{шел} | 0,71 | 0,59 | 0,71 | 0,9 | 0,65 |
| Количество анализов | 21 | 33 | 10 | 2 | 66 | |

По данным таблицы можно предполагать, что содержания оксида кальция и оксида серы взаимосвязаны и имеют обратную корреляционную связь.

Вывод: необходимо отметить, что присутствие даек оказывает заметное влияние на содержание глинозёма, что приводит к ухудшению его качества, поэтому поставлена задача изучить дайки. [5]

Все дайки имеют обычно серый, темно-серый или зеленовато-серый цвет, четкие контуры с рудой, но при селективной выемке их обычно трудно отличить от руды, за исключением камптонитовых даек.

наиболее распространены дайки и «шпиры» мощностью до 1,0м, их количество (частота встречаемости) составляет 79,7 % от общего количества даек, встреченных в контуре подсчета запасов, а линейная дайконосность – 32,0 % от общей мощности всех даек. Наименьшим распространением пользуются дайки мощностью более 3,0м – частота встречаемости всего 3,8 % от общего количества, но их линейная дайконосность составляет 27,6 % от общей мощности всех даек. [5]

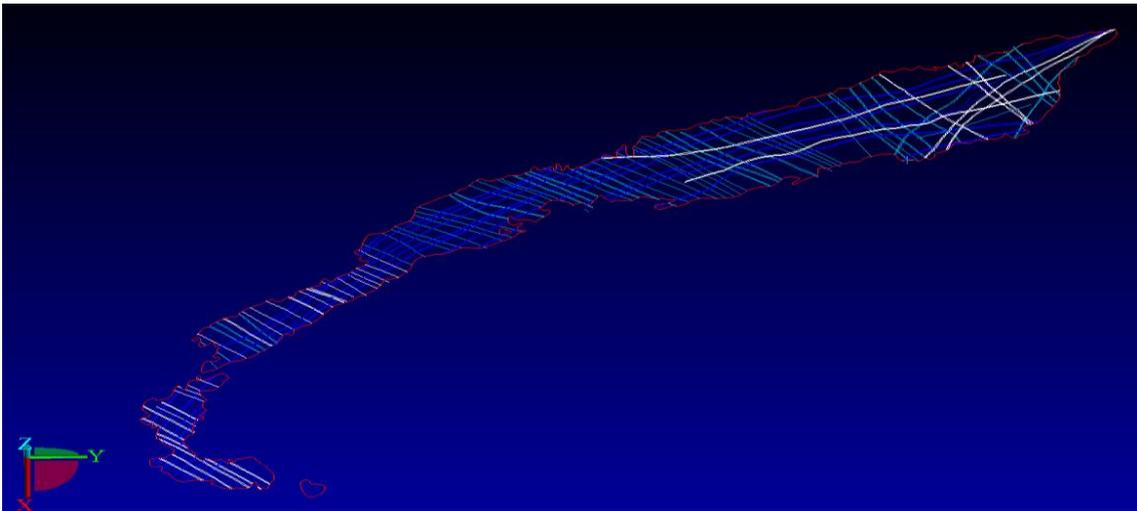


Рис.2.1 – Схема распределения даек в рудном теле

Вывод по дайкам: микройолиты и порфировидные йолиты I фазы – сингенетические с уртами, они образуются за счёт обогащения уртитов пироксенами, затем пострудные - камптониты и щелочные титан-авгит-амфиболовые микрогаббро II фазы, тералитовые порфириты (микротералиты), роговообманковые диабазы (роговообманковое микрогаббро) III фазы и нефелиновые микросиениты V фазы образовались в определенных фазах внедрения пород позже уртитов.

Дайки по рудного телу распределяются по трём направлениям:

- a) субмеридиональное направление для большей части даек диабазовых порфиритов и камптонитов;
- b) северо-западное направление почти для всех даек йолитовых-порфиритов;
- c) северо-восточное направление характерно для даек диабазовых порфиритов и камптонитов. [5]

2.3. Тектоника

2.3.1. Пликативные структуры

В структурном плане Кия-Шалтырское месторождение нефелиновых руд входит в состав Мрасско-Мартайгинской подзоны Баратальско-Мартайгинской складчатой зоны расположенной в северо-западной части Алтае-Кузнецкой раннекаледонской складчатой системы - салаириды. Залегание раннекаледонских комплексов осложнено структурами среднепалеозойской активизации. Пликативные структуры осложнены разрывными нарушениями и многочисленными интрузивными телами каледонского и более позднего возрастов. Протяжённость складок составляет от сотни метров до нескольких десятков километров, при размахе крыльев до 5-6 км. Углы падения слоев на крыльях достигают до 80°. Залегание пород осложнено складками более высоких порядков, иногда складки осложняются флексурными перегибами или ундуляцией шарниров.

Структурно-вещественные комплексы района месторождения образуют крупную антиклинальную складку субмеридионального простирания, центральная часть которой прорвана Безымянским массивом гранодиоритов, расположенного в нескольких километрах южнее Кия-Шалтырского массива.

2.3.2. Разрывные структуры

Все структурно-вещественные комплексы района и их структуры, в особенности каледонские, пересечены и осложнены многочисленными разрывными нарушениями. В целом по региону они были заложены в период позднекембрийско-раннеордовикской коллизии, испытали подновление в девонское, мезозойское и, видимо, в кайнозойское время. Характер движений по разломам обуславливался сочетанием горизонтальных и вертикальных перемещений с доминированием сдвиговой компоненты. [1, 5]

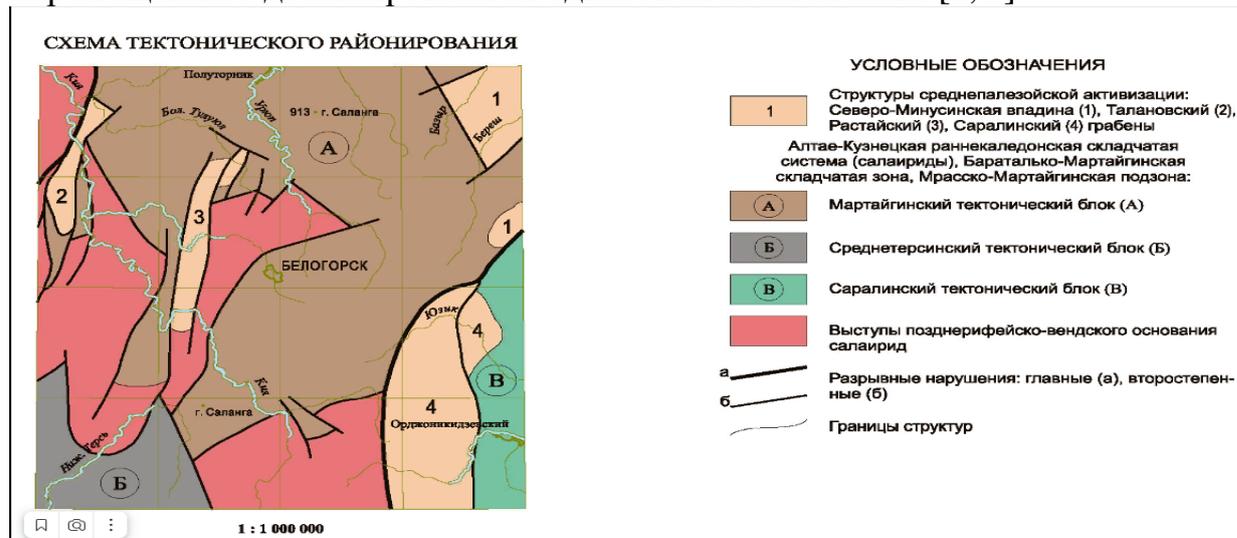


Рис.2.2 – Схема тектонического районирования

3. Результаты исследований и интерпретация

3.1. Результаты исследования предшественников

Более 20 лет назад авторами Сазонов А. М., Леонтьев С. И., Гринев О. М., Звягина Е. А., Чекушин В. С. и Бетхер М. Я. в нефелиновых породах Кузнецкого Алатау выявлены повышенные концентрации благородных металлов и минералы золота, серебра, платины, иридия, рутения, осмия. Наиболее высокие содержания золота и платиноидов тяготеют к графитизированным и сульфидизированным разновидностям пород. Микрозондовые исследования концентратов главных разновидностей пород позволили надежно охарактеризовать более 60 минералов рудного комплекса, представленных оксидами, сульфидами, антимонидами, арсенидами, теллуридами, самородными металлами и сплавами. Обращает на себя внимание разнообразие минералов благородных металлов, сплавов и самородных металлов, количество которых насчитывает 38 видов. Выявлены сплавы золота с оловом и алюминием (Au, Sn, Al и AuAl₂), ранее не описанные в природных ассоциациях. Нефелиновые породы региона изучались в связи с использованием их в качестве сырья для получения глинозема.

Экспресс-технологические испытания возможности концентрирования благородных металлов нефелинового сырья и продуктов его переработки проведены распространенными методами обогащения (гравитация, флотация) и металлургического передела (рафинирования алюминия и получения пеносиликатов из белитового шлама).

Работы проводились почти по всем месторождениям и рудопроявлениям района Кузнецкого Алатау, а конкретно о Кия-Шалтырском месторождении были получены следующие прогнозные ресурсы (Р-) извлекаемых благородных металлов в нефелиновой руде и белитовых шламах:

- 1) в остаточных запасах нефелиновых руд на Кия-Шалтырском месторождении - золота - 192 т. серебра - 192 т. палладия - 67,2 т. платины - 19,2 т.
- 2) в некондиционных рудах, складированных в спецотвалах на Кия-Шалтырском карьере - золота - 31 т. серебра - 31 т. палладия - 5 г; платины - 6 т;
- 3) в белитовых шламах АГК (г. Ачинск) - золота - 62 т; серебра - 62 т; платиноидов 60-80 т.

На первых этапах для извлечения благородных металлов целесообразно ориентироваться на некондиционную руду и нефелиновый (белитовый) шлам. Запасы некондиционных руд в четырех спецотвалах на Кия-Шалтырском руднике составляют 21405000 тонн. После золотоизвлекательного процесса хвосты перейдут в разряд кондиционных руд и могут использоваться в производстве глинозема. Это даст возможность для проведения назревшего горно-технологического переоборудования карьера. В 2000 гг. отставание вскрышных работ составляли около 15 млн. т.

Запасы нефелинового шлама в г. Ачинске оцениваются в миллионы тонн. Ежегодно в хвостохранилище АГК поступает в среднем 5млн. тонн шлама. Повышенное содержание в шламе щелочей превращает окрестности комбината в зону экологического бедствия. Поэтому назрела необходимость оперативной проектной проработки материалов по использованию шламов в производстве пеносиликатов, цемента и других продуктов с попутным извлечением благородных металлов. Организация попутного производства на глиноземном комбинате позволила бы получать около 20 тонн благородных металлов в год. Это в значительной мере повысила рентабельность работы предприятия и могла способствовать рационализации использования недр. Для Кия-Шалтырского месторождения была построена геохимическая математическая модель распределения петрогенных и примесных элементов. Выявлены две их геохимических ассоциации, отражающие неявную ритмичную расслоенность уртитового тела. Первая геохимическая ассоциация повышенных концентраций Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Rb, Ga, Sr, Pb определяет высокосортные нефелиновые руды в пределах месторождения. Обособление этих компонентов в пространстве произошло на магматическом этапе. Золото имеет отрицательную корреляцию с подавляющим большинством элементов этой геохимической ассоциации.

Вторая геохимическая ассоциация, включающая Fe_2O_3 , CaO, MgO, SO_3 , Ni, Co, Cu, Mn и Au, в повышенных концентрациях геологически и генетически двойственна. Обособление и накопление элементов этой ассоциации осуществлялось в последних порциях расплава. После кристаллизации последнего Fe_2O_3 , CaO и MgO вошли в состав титанавгита, а FeO, SO_3 , Ni, Co - в состав сульфидного ликвата.

Установлена вертикальная ритмичная смена (с шагом 80-70 м) максимумов концентраций выделенных геохимических ассоциаций. Повышенные содержания элементов второй геохимической ассоциации зафиксированы в участках приконтактового скарнирования уртитов. Железо,

кальций, магний входят в состав главных минералов скарнов, а сульфиды Fe, Ni, Co - в послескарновые образования. Золото и другие благородные металлы накапливаются в ликвационно-сульфидном и постмагматических минеральных парагенезисах.

Исследования были предварительными и показывают необходимость постановки опробовательских работ на золото и платиноиды в пределах распространения сульфидизированных уртитов, скарнов и графитизированных пород с целью оконтуривания, локализованного благороднометального оруденения.

Выявленная благороднометальная специализация щелочных пород открывала новые перспективы в развитии добывающей отрасли страны, способную существенно изменить положение России на международном рынке драгметаллов.

3.2. Результаты исследований дипломной работы

3.2.1. Отбор образцов

Образцы были отобраны в центральной части рудного тела уртитов и на его контактах с вмещающими породами в течение двухлетних академических производственных практик на горизонтах 570, 580, 590, 600 м по профилям –IV, -III, -II, -I с июня по июль 2022г, и на горизонтах 690 и 700 м с июня по июль 2023г по рудному телу по одной разновидности пород на каждом профиле от запада до востока.

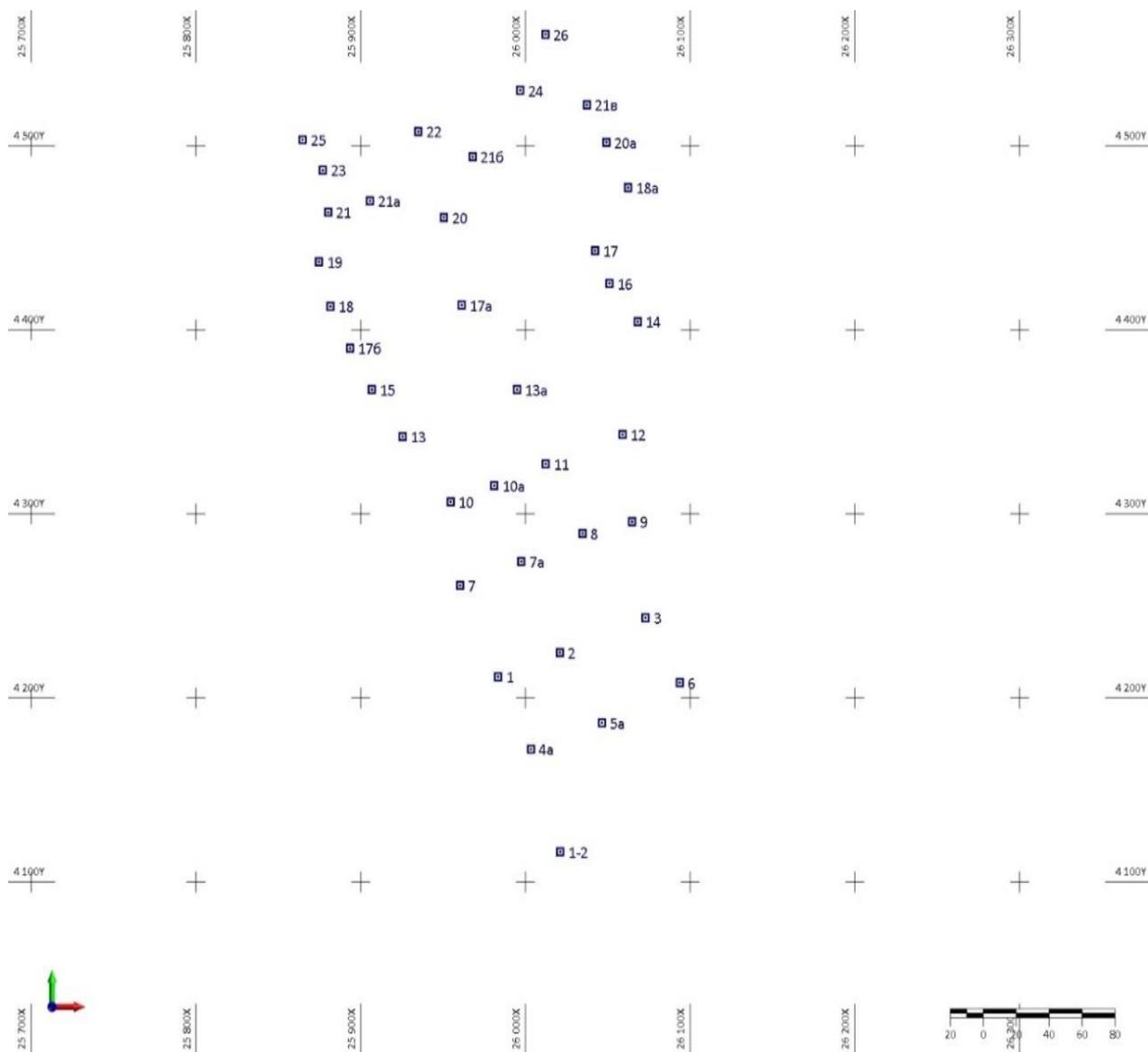


Рис.3.1 – Точечная схема отбора проб на июль 2022. Вид сверху

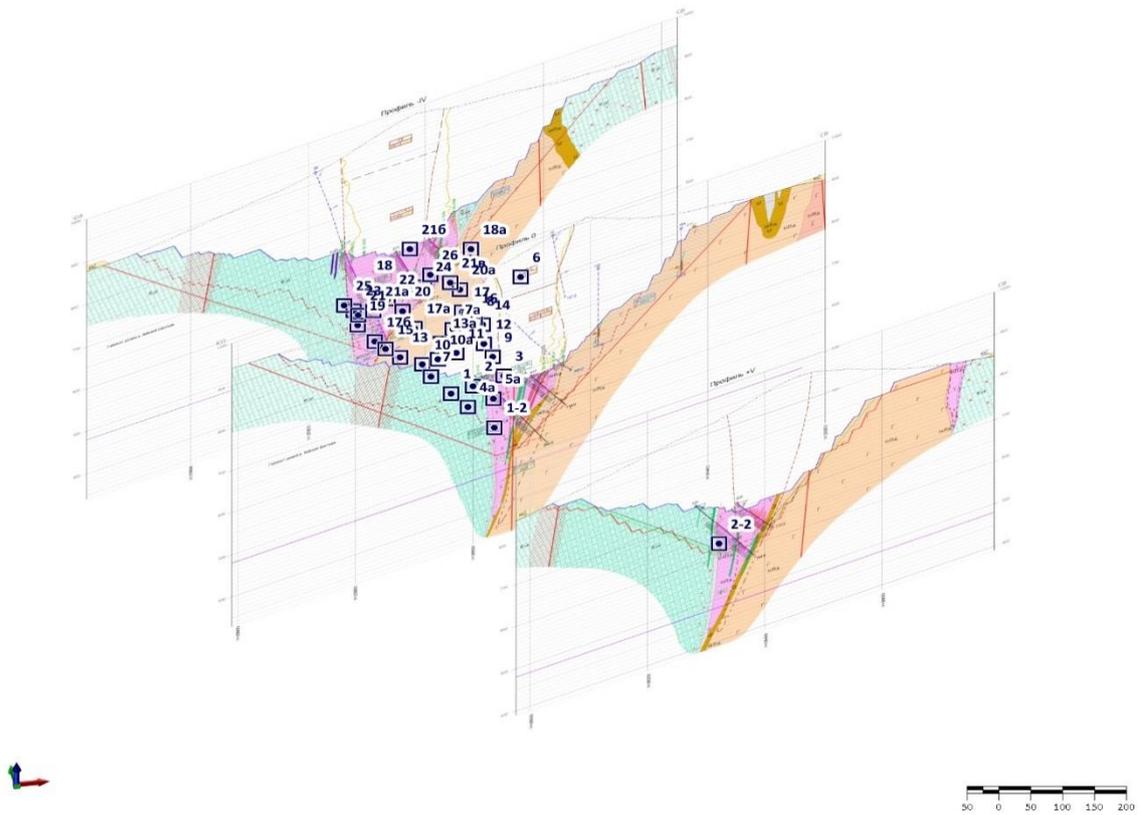


Рис.3.2 – Схема (блок-диаграмма) отбора проб по профилям

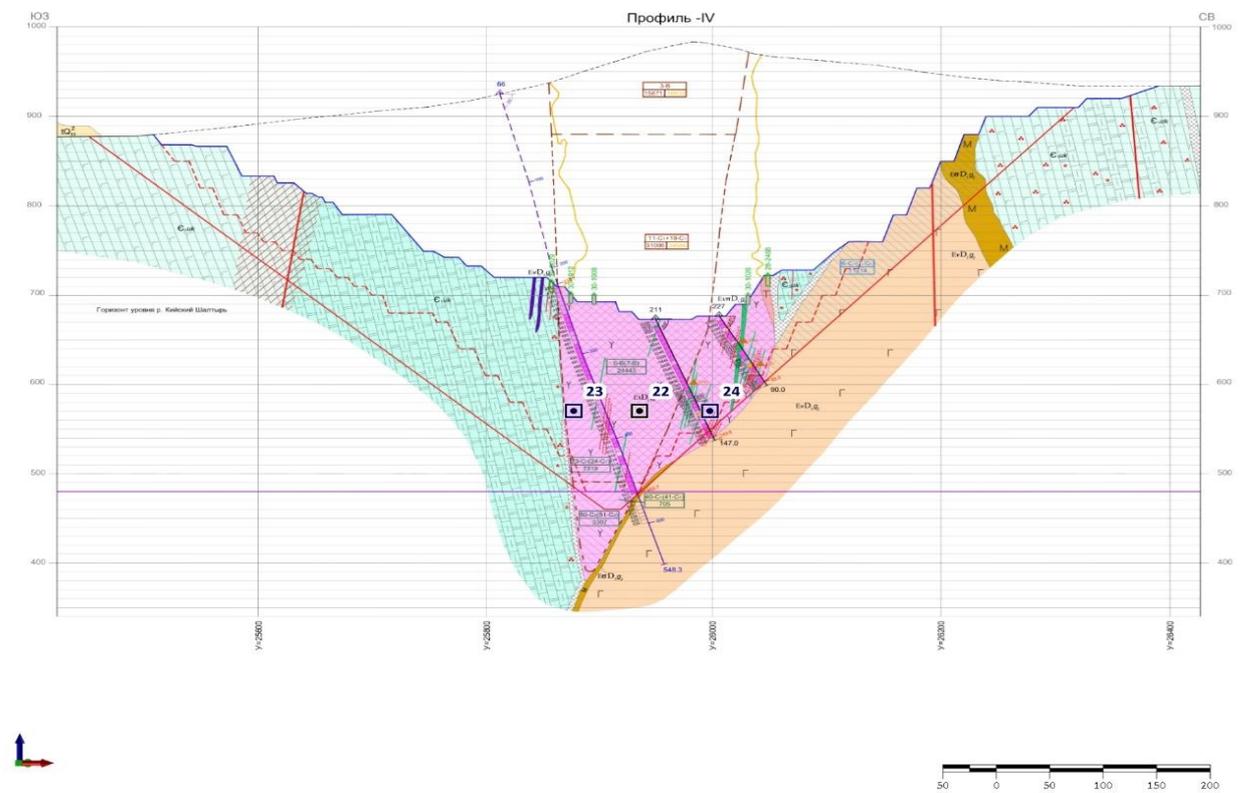


Рис.3.3. – Пробы на профиле -IV

3.2.2. Рудная минералогия пород

Исследования проводились в 4 типах пород по последовательности их образования: габбро-Йиолиты-уртиты-скарны, в которых рудные минералы выделяются в виде прожилок и вкрапления. По статистке из наиболее информативных образцов и аншлифов были изучены от самых распространённых до самых редких минералов.

Результаты исследований было найдено 28 рудных минералов во всех образцах. Из них 4 оксида (титаномагнетит, ильменит, магнетит и гематит), 10 сульфидов (пирротин, пентландит, пирит, марказит, галенит, сфалерит, халькопирит, кубанит, молибденит и джерфшерит), 6 сульфоарсенидов (арсенопирит, кобальтин, герсдорфит, никелин, аллоклазит и глаукоdot), 2 диарсенида (лёллингит и саффлорит), 2 теллура (гессит и цумоит), 2 минерала палладия (садберит и полярит) 1 самородный элемент (графит) и 1 сплав самородных элементов (электрум).

3.2.2.1. Габбро

Нефелинсодержащие габбро приурочены к центральной части Кия-Шалтырского массива; они образуют подковообразное в плане тело, обращенное выпуклостью на юг [5].

Текстура пород массивная.



Рис. 3.4 – Габбро. Образец из коллекции предприятия. Горизонт неизвестен

Структура данных пород неравномернoзернистая, от мелко - до крупнозернистой.

Минеральный состав. Главные минералы: титан-авгит – 30-35%, плагиоклаз – 25-30%; второстепенные минералы: оливин – до 10%, нефелин – 15%; аксессуарные минералы: апатит – 0-5%, титаномагнетит – 2%, сульфиды, сульфoарсениды 0-3%.



Рис. 3.5 – Средний петрографический состав габбро.

Микроструктура пород габбровая, гипидиоморфнозернистая, пойкилитовая.

Титан-авгит представлен неправильными зернами размером 1-2 мм и розоватым оттенком цвета. По краям зерна замещаются зеленым эгирином-авгитом, по трещинам спайности развивается бурая роговая обманка.

Плагиоклаз (An_{52}) сильно трещиноватый, заполняет пустоты между зернами титан-авгита и нефелина.

Оливин образует корродированные ксеноморфные зерна (1,0-3,5 мм), в которых присутствуют многочисленные закономерно ориентированные в двух направлениях дендритовидные пластинчатые выделения рудного.

Нефелин образует крупные поля, иногда до одного полного поля зрения, развивается в интерстициях между зернами пироксена, полностью замещен бурым анальцимом и волокнисто-чешуйчатым агрегатом.

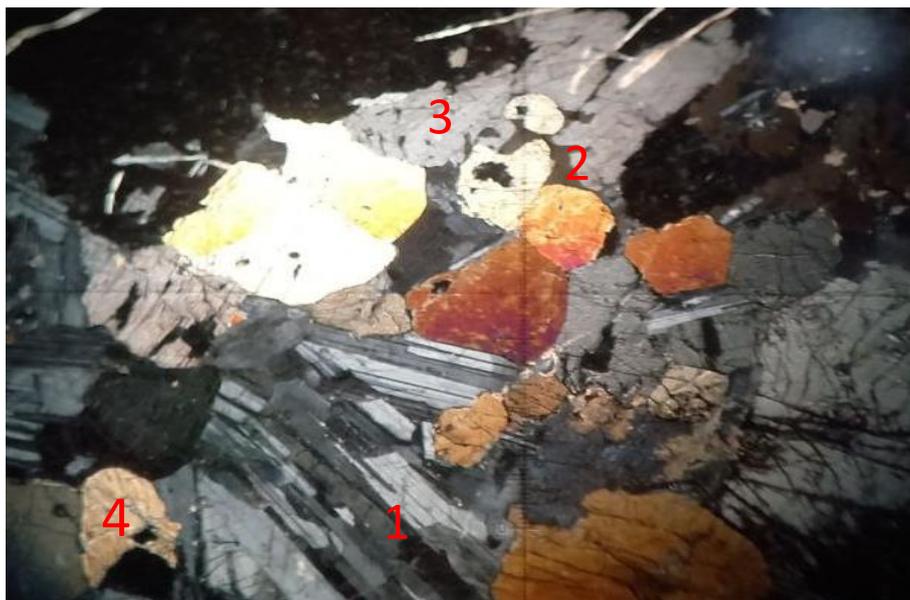


Рис. 3.6 – Габбро. 1- плагиоклаз, 2- оливин, 3- нефелин, 4-титан-авгит. Шлиф 18. Горизонт 620м

Рудная минерализация

Образцы габбро сильно преобладают по разнообразию рудных первичных и вторичных минералов. В исследуемых образцах габбро выделяются следующие рудные минералы: титаномagnetит ($\text{Fe}(\text{FeTi})_2\text{O}_4$)-1,5% пирротин ($\text{Fe}_{x-1}\text{S}_x$)-2%, пирит (FeS_2)-0,2%, ильменит (FeTiO_3)-0,1% магнетит (FeFe_2O_4)-0,1%, гематит (Fe_2O_3)-0,2%, графит(C)-0,5%, халькопирит (CuFeS_2)-0,05%, арсенопирит (FeAsS)-0,05% , кобальтин (CoAsS)-0,1%, никелин (NiAsS)-0,01%, леллингит (FeAs_2)-0,01%, герсдорфит (NiAsS)-0,01% пентландит (Fe, Ni, Co) $_9\text{S}_8$ -0,01%, гессит (Ag_2Te)-0,01%, электрум (Au, Ag)-0,01%, фазы палладия, т.е. полярит (PdBi), садбериит (PdSb)-0,01%, джерфишерит $\text{K}_6(\text{Fe, Cu, Ni})_{24}\text{S}_{26}\text{Cl}$ -0,1% и цумоит (BiTe)-0,01%, глаукодот-0,1%.

Оксиды

Титаномagnetит $\text{Fe}(\text{Fe,Ti})_2\text{O}_4$ – также характеризуется типичной структурой распада. Зерна шестоватые, размером до 0,5 мм.

На следующем рисунке (рис. 4.3.8) хорошо видны ильменитовые пластинки в двух направлениях, образующие угол до 90° .

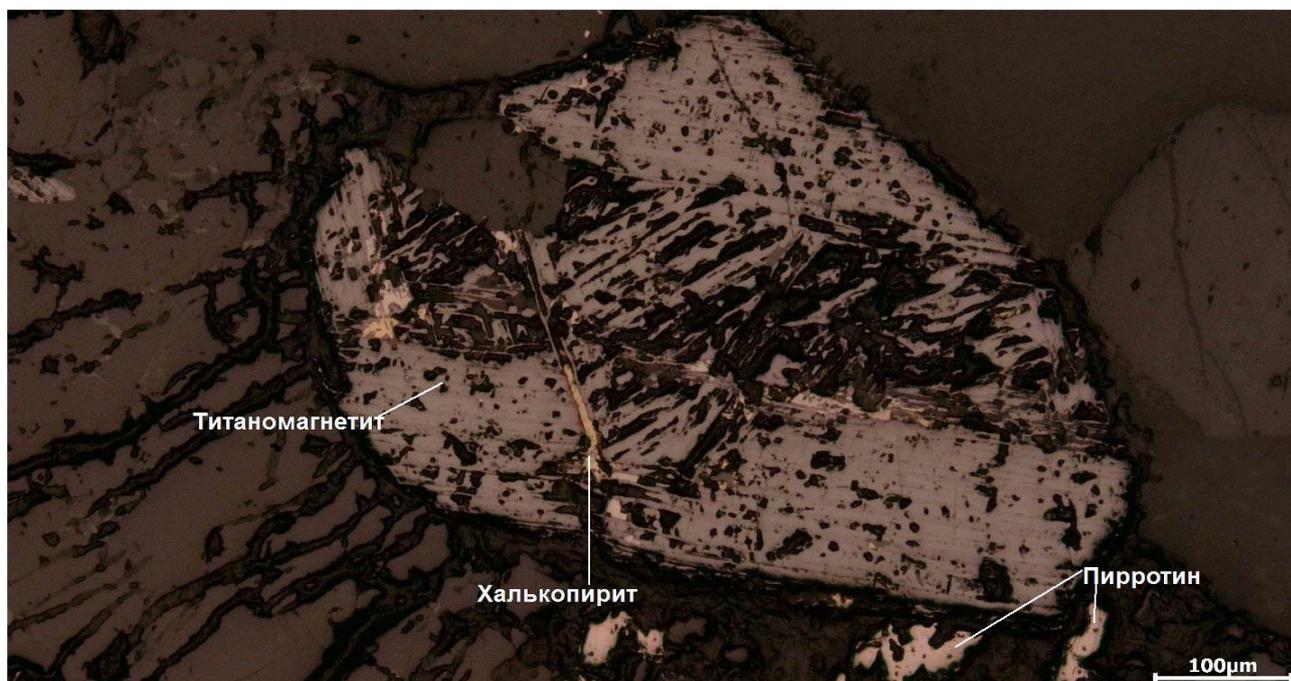


Рис.3.7 – Структура распада титаномagnetита. Анш. 26-2. Горизонт 720м

Магнетит ($\text{FeO}*\text{Fe}_2\text{O}_3$) и гематит (Fe_2O_3) – часто встречаются в совместном срастании, замещают пирротин местами как вторая генерации, но часто магнетитовую часть титаномagnetита переходит в гематит. Зерна имеют неправильную форму. В структуре распада титаномagnetита, участвует гематит в замещении магнетита. Местами по краям вместе с пентландитом замещает пирротин, а также отдельным зернами.

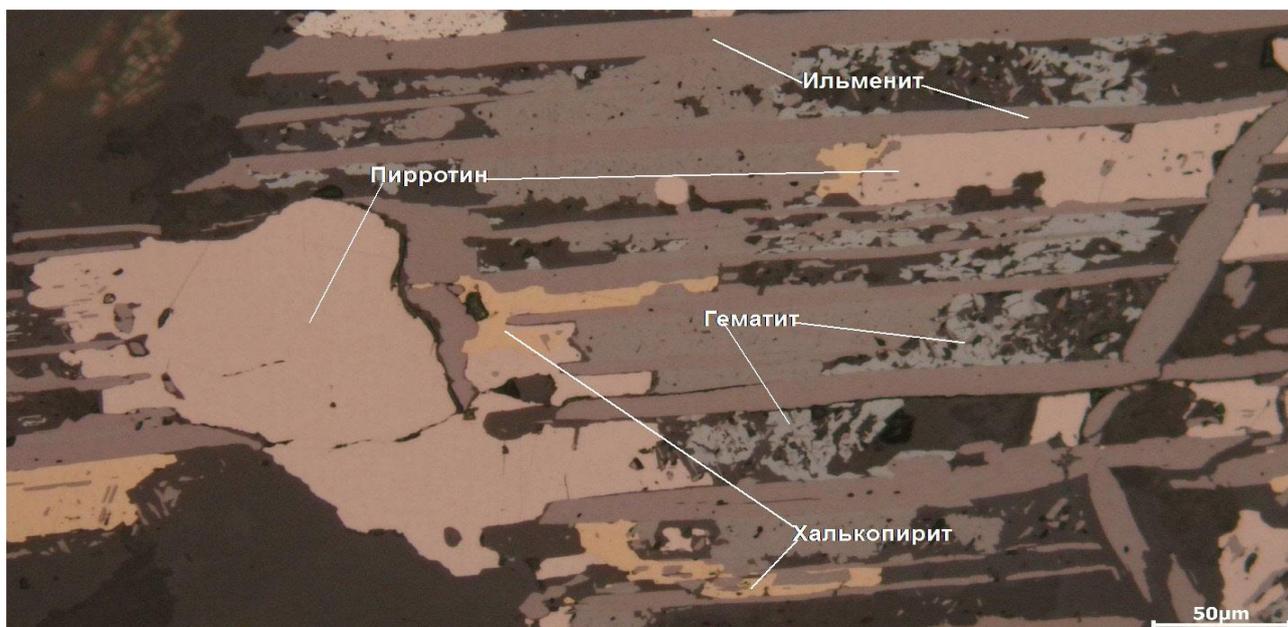


Рис. 3.8 – Гематит совместно с пирротинном заполняет промежутки между пластинками ильменита. Анш. 9. Горизонт 600м

Сульфиды

Пирротин ($Fe_{x-1}S_x$) – наиболее распространённый рудный минерал, заполняет пустоты между зернами нефелина и пироксенов, т.е. образует сидеронитовую структуру. Образуя самые крупные зерна и агрегаты (до 2мм), пирротин является средой развития ряда минералов, образование которых связано с его замещением или коррозией.

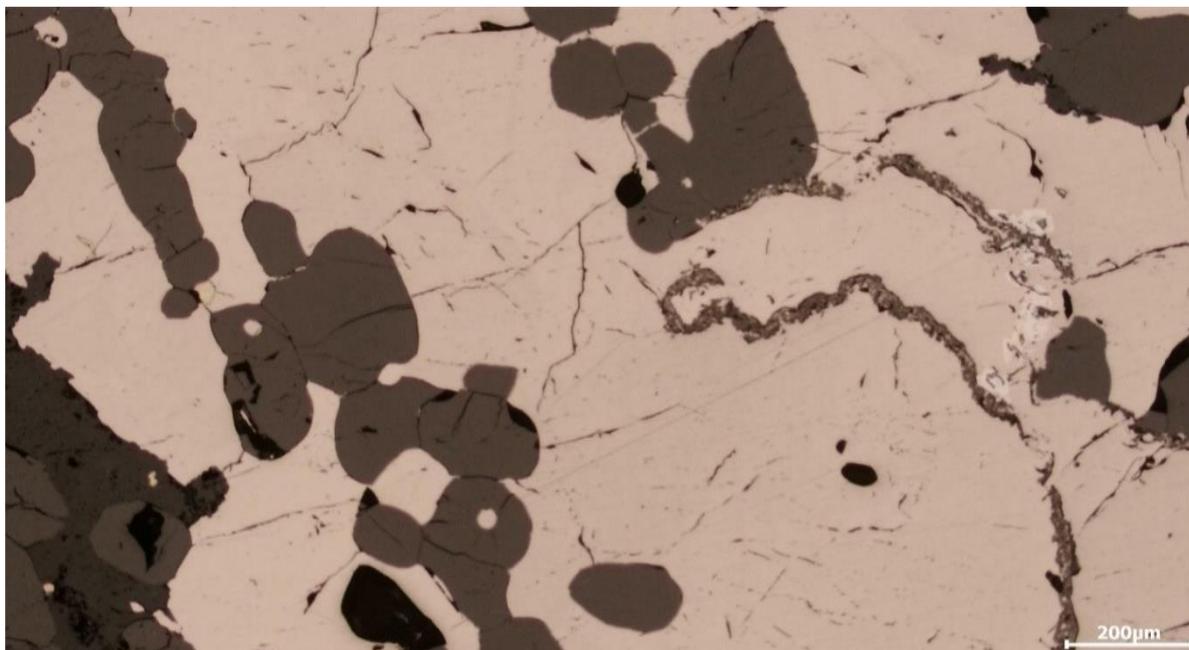


Рис.3.9 – Цементация щелочных нерудных минералов пирротинном. Анш. 26. Горизонт 720 м

Пентландит $(Fe, Ni, Co)_9S_8$ – Большинство зерен пентландита характеризуются значительной примесью кобальта (до 8,45мас. %) и относятся к кобальт-пентландиту (таблица.3.1.).

В составе аншлифа 26-2-1 были обнаружены также два зерна аргентопентландита, содержащие значительную примесь серебра (до 13,99мас. %) и являющиеся самостоятельным минеральным видом (рис.3.10, 3.11). Стехиометрия обнаруженного минерала хорошо согласуется с теоретической. Этот минерал характерен для медно-никелевых месторождений.

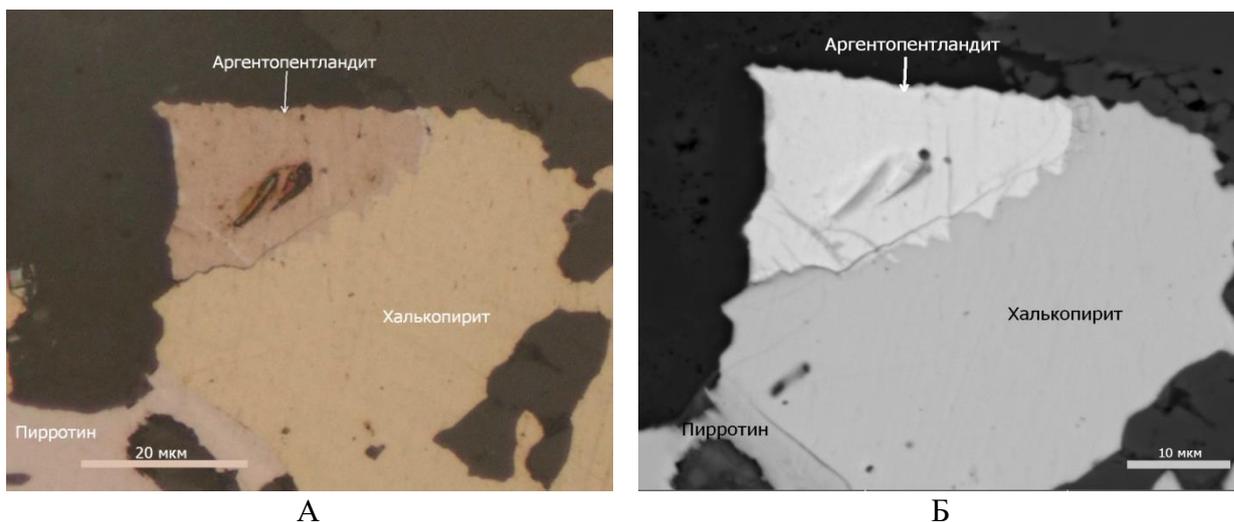


Рис.3.10 – Зерно аргентопентландита в срastании с халькопиритом. А – отраженный свет. Б- Обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-1. Горизонт 720м

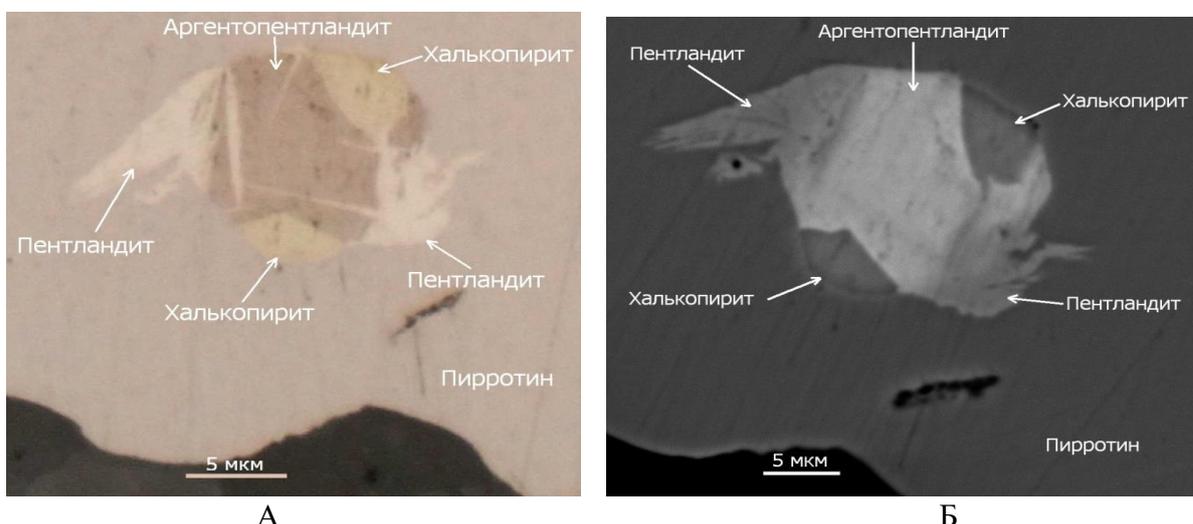


Рис.3.11 – Аргентопентландит замещается пентландитом. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-1. Горизонт 720м

Таблица.3.1 – Химический состав пентландита и аргентопентландита

| Аншлиф | Спектр | Содержания, мас. % | | | | | Сумма | Формула |
|--------|--------|--------------------|-------|------|-------|-------|--------|---|
| | | S | Fe | Co | Ni | Ag | | |
| 26-2-1 | 38 | 34,66 | 33,82 | 5,90 | 28,51 | 0,0 | 102,89 | (Fe _{4,53} Ni _{3,63} Co _{0,75}) _{8,91} S _{8,09} |
| 26-2-1 | 39 | 35,72 | 39,42 | 4,79 | 22,70 | 0,0 | 102,63 | (Fe _{5,24} Ni _{2,87} Co _{0,60}) _{8,72} S _{8,28} |
| 26-2-1 | 40 | 34,60 | 35,59 | 5,92 | 26,55 | 0,0 | 102,66 | (Fe _{4,77} Ni _{3,39} Co _{0,75}) _{8,92} S _{8,08} |
| 26-2-1 | 41 | 34,02 | 32,42 | 4,84 | 28,71 | 0,0 | 100,00 | (Fe _{4,46} Ni _{3,76} Co _{0,63}) _{8,85} S _{8,15} |
| 26-2-1 | 70 | 32,44 | 27,88 | 4,83 | 34,66 | 0,0 | 99,80 | (Fe _{3,89} Ni _{4,60} Co _{0,64}) _{9,12} S _{7,88} |
| 26-2-1 | 71 | 33,87 | 25,75 | 8,45 | 31,35 | 0,0 | 99,42 | (Fe _{3,57} Ni _{4,14} Co _{1,11}) _{8,82} S _{8,18} |
| 26-2-1 | 1 | 30,05 | 34,46 | 0,0 | 21,04 | 13,57 | 99,13 | Ag _{1,04} (Fe _{5,15} Ni _{2,99}) _{8,14} S _{7,82} |
| 26-2-1 | 47 | 31,09 | 32,43 | 0,0 | 23,17 | 13,50 | 100,18 | Ag _{1,03} (Fe _{4,77} Ni _{3,24}) _{8,01} S _{7,96} |
| 26-2-1 | 48 | 30,94 | 32,51 | 0,0 | 23,62 | 13,33 | 100,40 | Ag _{1,01} (Fe _{4,77} Ni _{3,30}) _{8,07} S _{7,91} |
| 26-2-1 | 49 | 30,95 | 32,87 | 0,0 | 23,01 | 13,99 | 100,82 | Ag _{1,06} (Fe _{4,82} Ni _{3,21}) _{8,03} S _{7,91} |
| 26-2-1 | 78 | 30,01 | 34,26 | 0,0 | 21,15 | 12,51 | 97,94 | Ag _{0,97} (Fe _{5,15} Ni _{3,02}) _{8,17} S _{7,85} |
| 26-2-1 | 79 | 29,98 | 34,57 | 0,0 | 21,24 | 12,64 | 98,42 | Ag _{0,98} (Fe _{5,18} Ni _{3,03}) _{8,20} S _{7,82} |

Пирит (FeS₂) – меньше распространен, представляет две генерации в совместном срастании с пирротинном. Форма зерен и кристаллов пирита первой генерации кубическая, таблитчатая с четкими границами отдельных зерен.

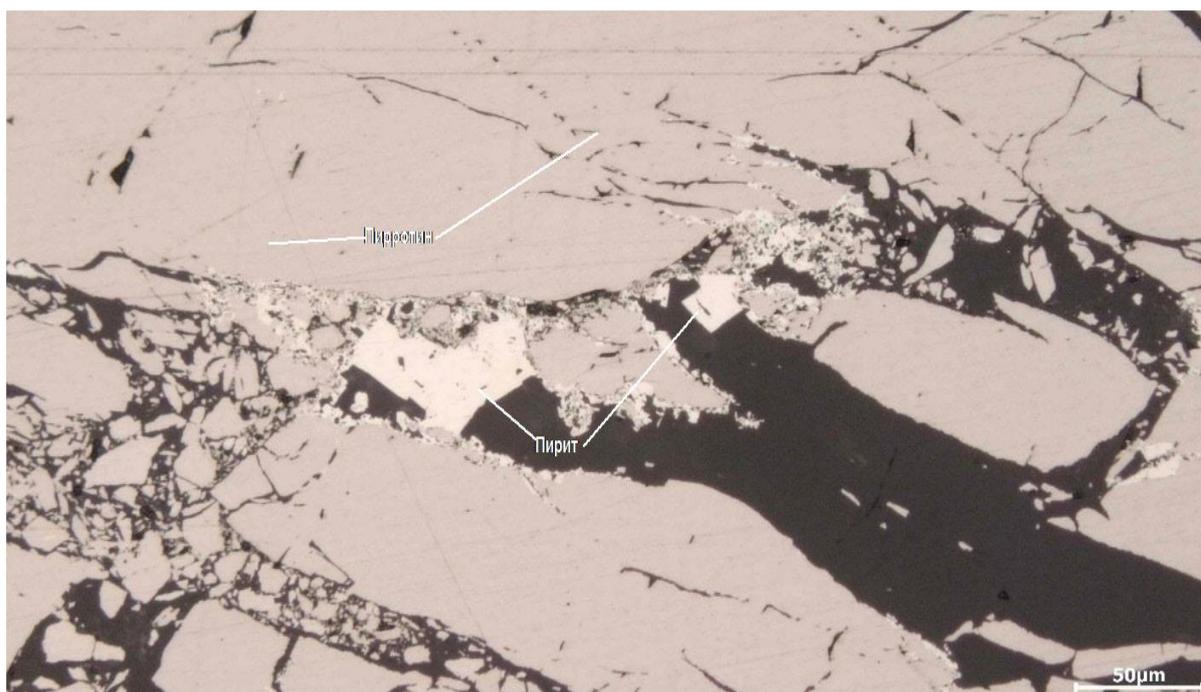


Рис 3.12 – Первичный пирит. Анш. 26-1. Горизонт 720м

Вторичный пирит образуется путём замещения пирротина, часто по периферии, и выделяется нечеткими бесформенными удлинёнными зернами длиной до 1 мм.

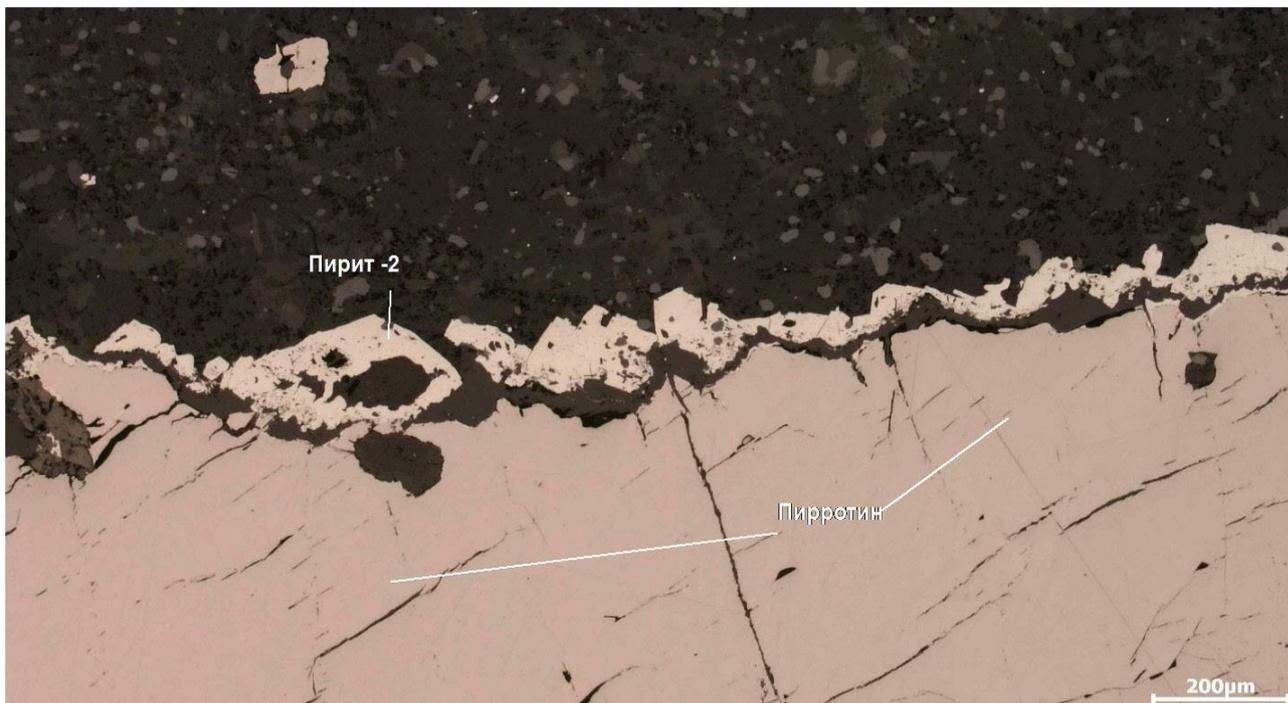


Рис. 3.13 – Вторичный пирит. Анш. 26-1. Горизонт 720м

Халькопирит (CuFeS_2) – в данных породах распространён часто мелкими отдельными зернами, а также местами ассоциирует с пирротинном.

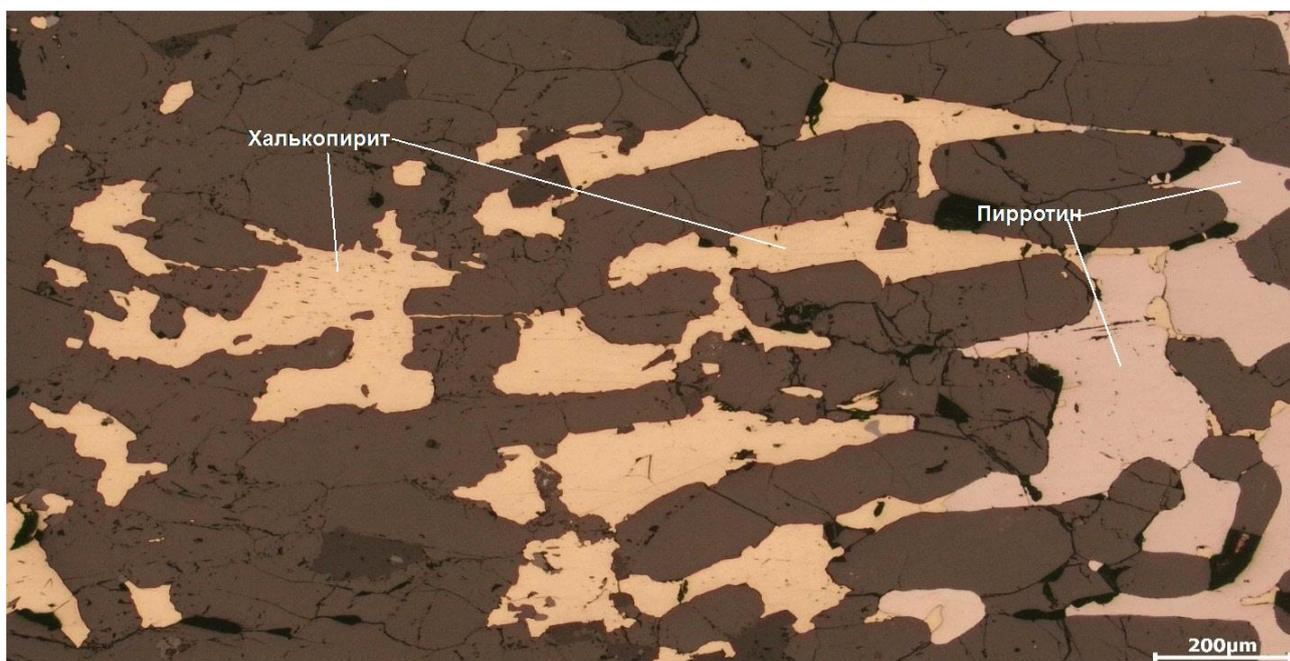


Рис. 3.14 – Халькопирит и пирротин. Анш. 26-2-1. Горизонт 720м

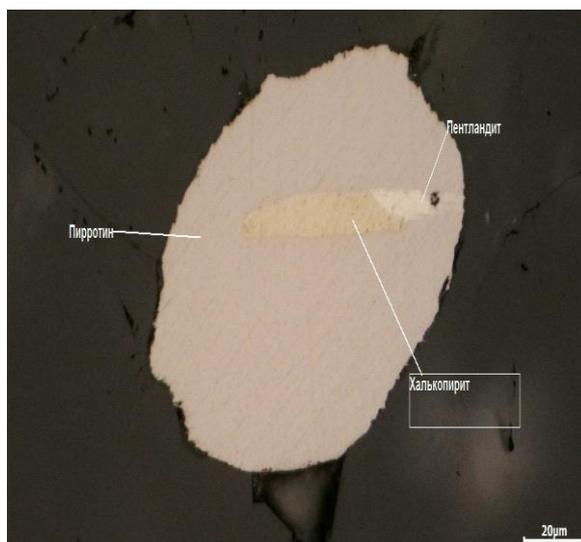


Рис. 3.15 – Халькопирит в пирротине. Анш. 26-2. Горизонт 720м.

Галенит PbS – Относится к малораспространенным минералам. Минерал обнаружен в составе четырех аншлифов (26-2-1, 26-2-2, 26-2-3 и 26-2-4).

Три мелких (размерами от 2,7x3,8мкм до 7,7x13,8мкм) зерна галенита неправильной формы были обнаружены внутри и по краям пирротина в аншлифе 26-2-4. Кроме галенита в пирротине также присутствовало включение халькопирита (рис.3.16 – 3.17).



Рис.3.16 – Галенит и халькопирит в составе пирротина. Отраженный свет. Анш. 26-2-4. Горизонт 720м

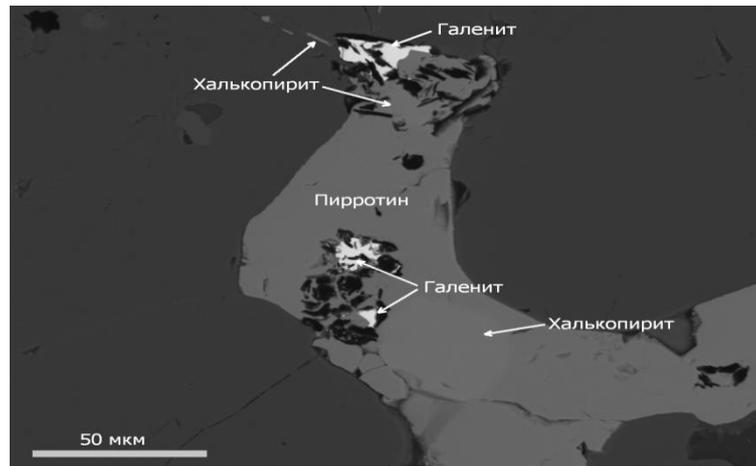


Рис.3.17 – Галенит и халькопирит в составе пирротина. Фото в обратно-рассеянных электронах. Анш. 26-2-4. Горизонт 720м

В составе аншлифа 26-2-3 небольшое (2,2x3,8мкм) зерно галенита треугольной формы находится в тесном срастании с никелином внутри агрегата кобальтина (рис. 3.18).

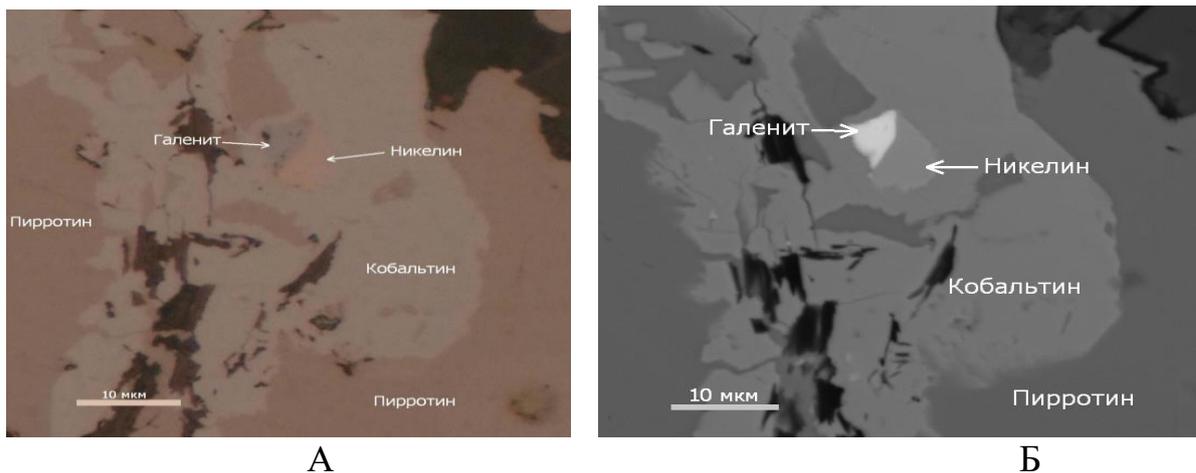


Рис.3.18 – Зерно галенита в срастании с никелином в составе агрегата кобальтина. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м

Необходимо отметить, что практически во всех анализах в составе галенита присутствует небольшая примесь селена (до 2,36мас. %).

Таблица.3.2 – Химический состав галенита

| Аншлиф | Спектр | Содержания, мас. % | | | Сумма | Формула |
|--------|--------|--------------------|------|--------|-------|---------------------------------------|
| | | S | Se | Pb | | |
| 26-2-1 | 2 | 11,93 | 1,52 | 85,36 | 98,81 | $Pb_{1,02}(S_{0,93}Se_{0,05})_{0,98}$ |
| 26-2-2 | 83 | 11,59 | 0,97 | 85,39 | 99,82 | $Pb_{1,05}(S_{0,92}Se_{0,03})_{0,95}$ |
| 26-2-2 | 85 | 11,78 | 1,5 | 85,214 | 99,02 | $Pb_{1,03}(S_{0,92}Se_{0,05})_{0,97}$ |
| 26-2-4 | 74 | 12,49 | 1,23 | 86,28 | 100 | $Pb_{1,01}(S_{0,95}Se_{0,04})_{0,99}$ |
| 26-2-4 | 75 | 12,05 | 0,71 | 87,24 | 100 | $Pb_{1,05}(S_{0,93}Se_{0,02})_{0,95}$ |
| 26-2-3 | 110 | 10,92 | 2,36 | 82,92 | 96,21 | $Pb_{1,04}(S_{0,88}Se_{0,08})_{0,96}$ |

Сложные сульфиды

Джерфишерит $K_6(Fe, Cu, Ni)_{24}S_{26}Cl$ – Обнаружен в наиболее сульфидизированной массе в составе аншлифа №26. Джерфишерит наблюдается внутри крупных выделений пирротина трещиноватыми агрегатами размером до 0,22x0,26мм в тесном сростании с халькопиритом, которым, предположительно, замещается (рис.3.19).

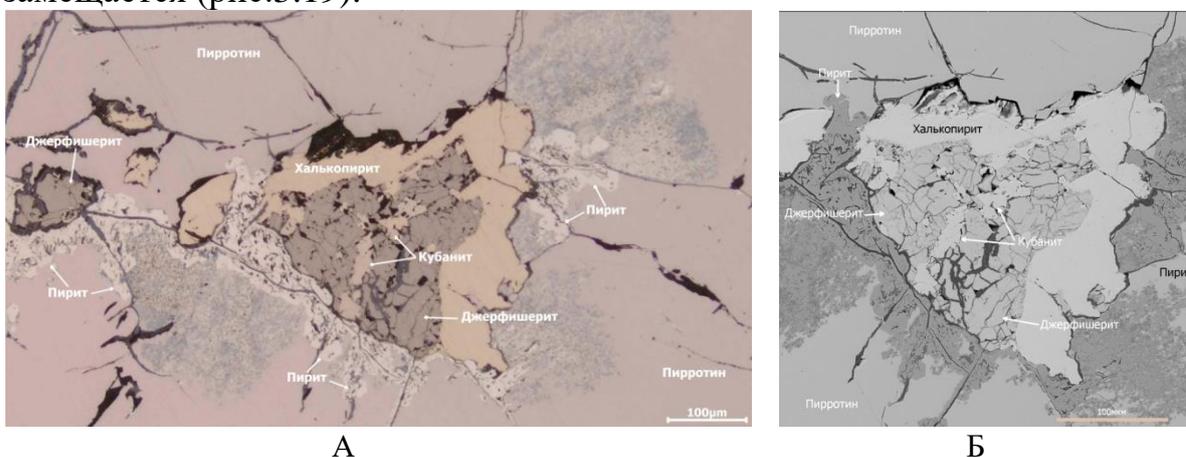


Рис. 3.19 – Джерфишерит замещается халькопиритом. А - Отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26. Горизонт 720м

Интересно, что внутри агрегата джерфишерита размещаются мелкие зерна кубанита. Небольшими и мелкими зернами джерфишерит располагается в виде кайм вдоль границ крупного пирротинового агрегата и включений в нем рудных и нерудных минералов (Рис.3.20).

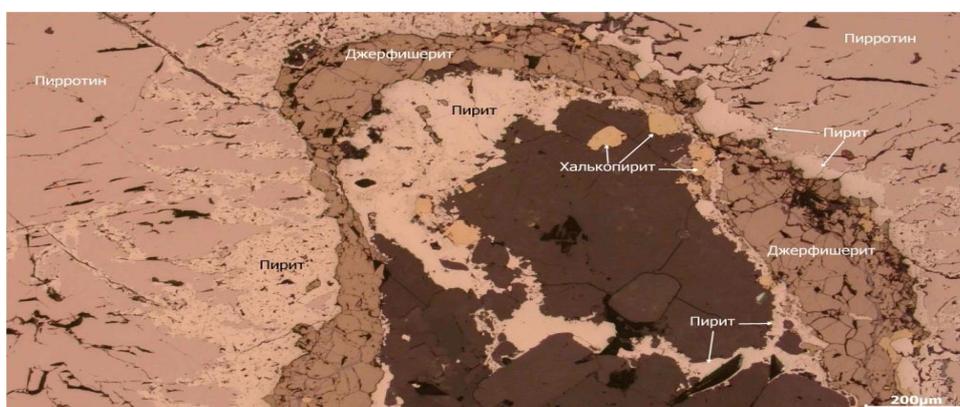


Рис.3.20 – Кайма Джерфишерита вдоль включения нерудных минералов в пирротине. Отраженный свет. Анш. 26. Горизонт 720м

Часть зерен джерфишерита, предположительно, также замещается гематитом.

Включения нерудных минералов, вокруг которых располагаются цепочки зерен халькопирита и джерфишерита, представлены, главным образом, кальцитом и апатитом.

По химическому составу данный джерфишерит относится к железомедистой разновидности, характерной для уртитов Хибинского массива (Новые

данные о минералах...,2006) и чароититов Мурунского массива (Минералогия..., 1996).

Таблица 3.3 – Химический состав джерфишерита, анш. 26

| Спектр | Содержания, мас.% | | | | | | Сумма | Формула |
|--------|-------------------|------|------|-------|------|-------|-------|--|
| | S | Cl | K | Fe | Ni | Cu | | |
| 3 | 31,73 | 1,45 | 9,20 | 34,73 | 1,92 | 20,55 | 99,57 | $K_{5,98}(Fe_{15,80}Cu_{8,21}Ni_{0,83})_{24,84}S_{25,14}Cl_{1,04}$ |
| 4 | 31,87 | 1,34 | 9,25 | 35,01 | 1,40 | 21,04 | 99,91 | $K_{5,99}(Fe_{15,88}Cu_{8,39}Ni_{0,60})_{24,87}S_{25,18}Cl_{0,96}$ |
| 5 | 32,15 | 1,32 | 9,29 | 34,82 | 1,96 | 19,94 | 99,49 | $K_{6,03}(Fe_{15,81}Cu_{7,96}Ni_{0,85})_{24,61}S_{25,42}Cl_{0,94}$ |
| 27 | 33,80 | 0 | 6,73 | 38,06 | 5,18 | 13,52 | 97,29 | $K_{4,44}(Fe_{17,59}Cu_{5,49}Ni_{2,28})_{25,35}S_{27,20}$ |
| 28 | 34,05 | 0 | 6,48 | 38,86 | 6,24 | 12,04 | 97,67 | $K_{4,26}(Fe_{17,87}Cu_{4,87}Ni_{2,73})_{25,475}S_{27,27}$ |
| 29 | 34,14 | 0 | 5,97 | 39,07 | 6,54 | 11,74 | 97,46 | $K_{3,93}(Fe_{18,02}Cu_{4,76}Ni_{2,87})_{25,64}S_{27,42}$ |
| 40 | 31,57 | 1,35 | 9,03 | 35,01 | 3,21 | 19,47 | 99,63 | $K_{5,87}(Fe_{15,94}Cu_{7,79}Ni_{1,39})_{25,12}S_{25,04}Cl_{0,97}$ |
| 41 | 32,05 | 1,38 | 9,12 | 35,54 | 3,10 | 18,46 | 99,65 | $K_{5,91}(Fe_{16,11}Cu_{7,35}Ni_{1,34})_{24,80}S_{25,31}Cl_{0,99}$ |

Согласно предположениям Тихоненковой с соавторами (Калиевый сульфид...), медьсодержащая разновидность джерфишерита распространена в метасоматически измененных щелочных породах [2,3,6,7,8].

Сульфоарсениды

Сульфоарсениды составов кобальтин-герсдорфит-арсенопирит нашли широкое распространение в пирротине как поздние минералы. Размеры зерен достаточно малы, до 0,1мм.

Кобальтин (CoAsS) – образует зональный агрегат, внутри которого развиваются никелин и гессит.

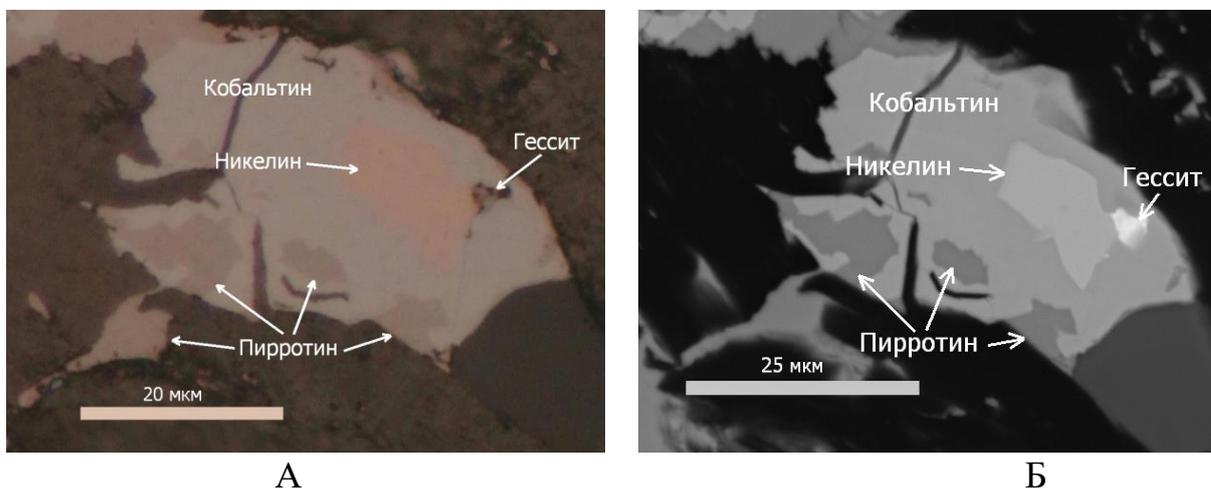


Рис.3.21 – Кобальтин с включениями никелина и гессита. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м

Глаукодот (Co,Fe,Ni)AsS) – ещё один минерал - представитель сульфоарсенидов выделяется на фоне пирротина, внутри него развиваются гессит, никелин и галенит.

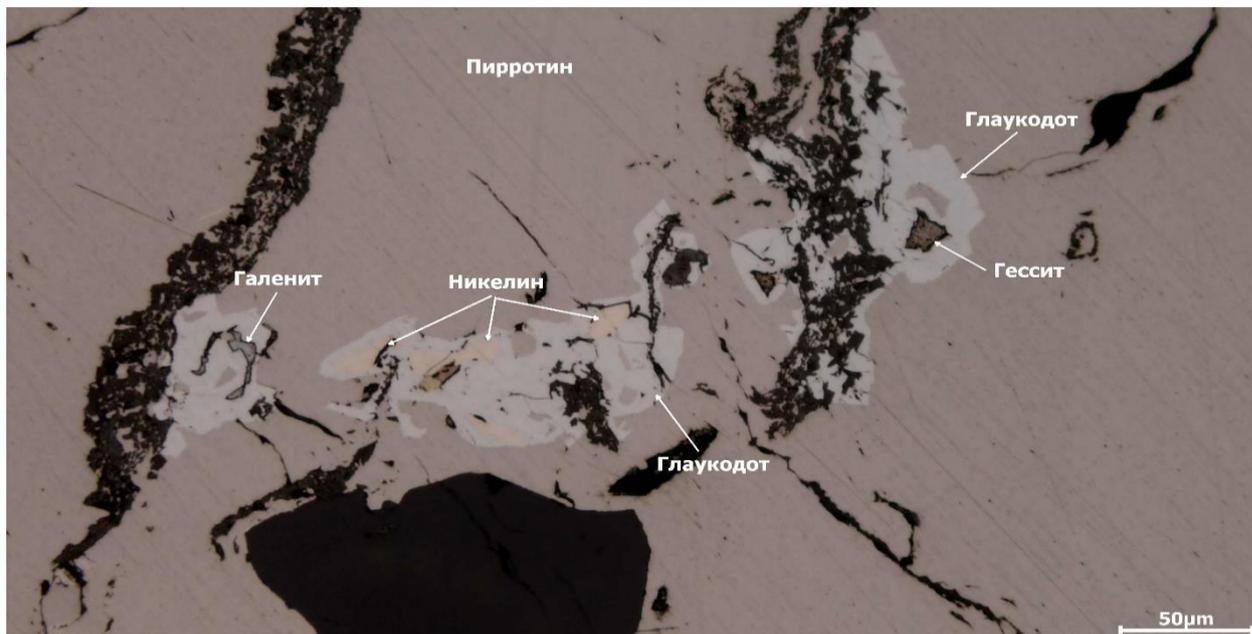


Рис. 3.22 – Агрегаты глаукодота с включениями никелина, гессита и галенита.
Анш. 26. Горизонт 720м

Никелин NiAs – распространен только в составе трех аншлифов – 26-2-1,2,3. Минерал, как правило, распространен в виде мелких линзовидных зерен в составе окружающих их агрегатов кобальтина (рис.4.2.23 – 4.2.24).

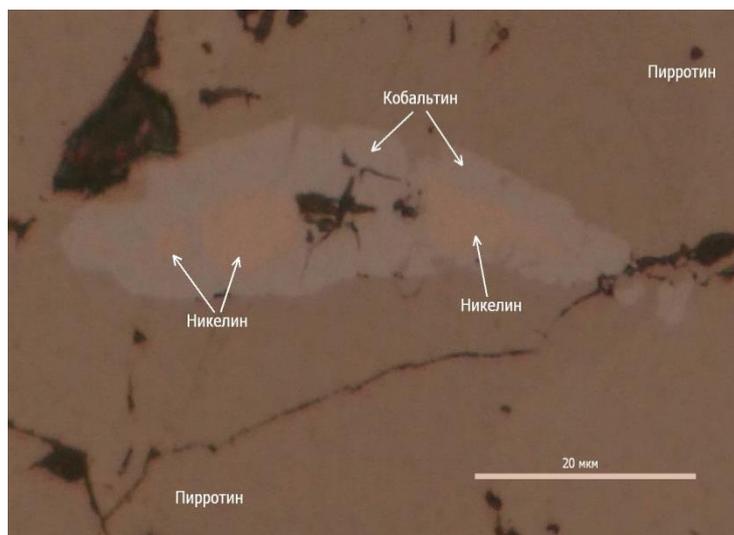


Рис. 3.23 – Зерна никелина внутри агрегата кобальтина. Отраженный свет.
Анш. 26-2-3. Горизонт 720м

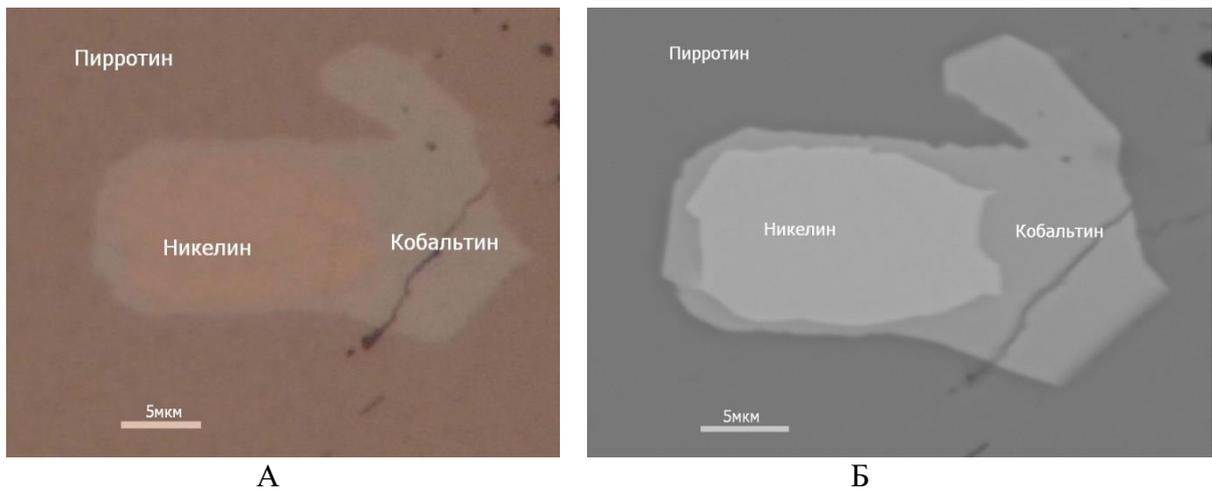


Рис.3.24 – Включение никелина в кобальтине. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м

Химический состав минерала представлен в таблице 3.4. Необходимо отметить в составе никелина значительные примеси железа (до 3,31 мас. %), кобальта (до 3,11 мас. %) и сурьмы (до 1,01 мас. %).

Таблица 3.4 – Химический состав никелина, анш. 26-2-3

| Спектр | Содержания, мас.% | | | | | Сумма | Формула |
|--------|-------------------|------|-------|-------|------|--------|--|
| | Fe | Co | Ni | As | Sb | | |
| 108 | 2,38 | 0,64 | 40,82 | 55,15 | 1,01 | 100,00 | $(\text{Ni}_{0,93}\text{Fe}_{0,06}\text{Co}_{0,01})_{1,00}(\text{As}_{0,99}\text{Sb}_{0,01})_{1,00}$ |
| 109 | 3,31 | 3,11 | 36,98 | 56,08 | 0,52 | 100,00 | $(\text{Ni}_{0,84}\text{Fe}_{0,08}\text{Co}_{0,07})_{0,99}(\text{As}_{1,00}\text{Sb}_{0,01})_{1,01}$ |
| 130 | 1,10 | 0,60 | 42,22 | 55,10 | 0,98 | 100,00 | $(\text{Ni}_{0,96}\text{Fe}_{0,03}\text{Co}_{0,01})_{1,00}(\text{As}_{0,99}\text{Sb}_{0,01})_{1,00}$ |
| 131 | 1,31 | 0,50 | 41,72 | 55,87 | 0,60 | 100,00 | $(\text{Ni}_{0,95}\text{Fe}_{0,03}\text{Co}_{0,01})_{0,99}(\text{As}_{1,00}\text{Sb}_{0,01})_{1,01}$ |
| 137 | 2,68 | 0,55 | 40,68 | 55,17 | 0,93 | 100,00 | $(\text{Ni}_{0,93}\text{Fe}_{0,06}\text{Co}_{0,01})_{1,00}(\text{As}_{0,99}\text{Sb}_{0,01})_{1,00}$ |
| 138 | 2,72 | 0,90 | 40,69 | 54,95 | 0,73 | 100,00 | $(\text{Ni}_{0,93}\text{Fe}_{0,07}\text{Co}_{0,02})_{1,01}(\text{As}_{0,98}\text{Sb}_{0,01})_{0,99}$ |

Теллуры

Гессит Ag_2Te – Зерно гессита выявлено на границе включения никелина в кобальтине (рис.3.25).

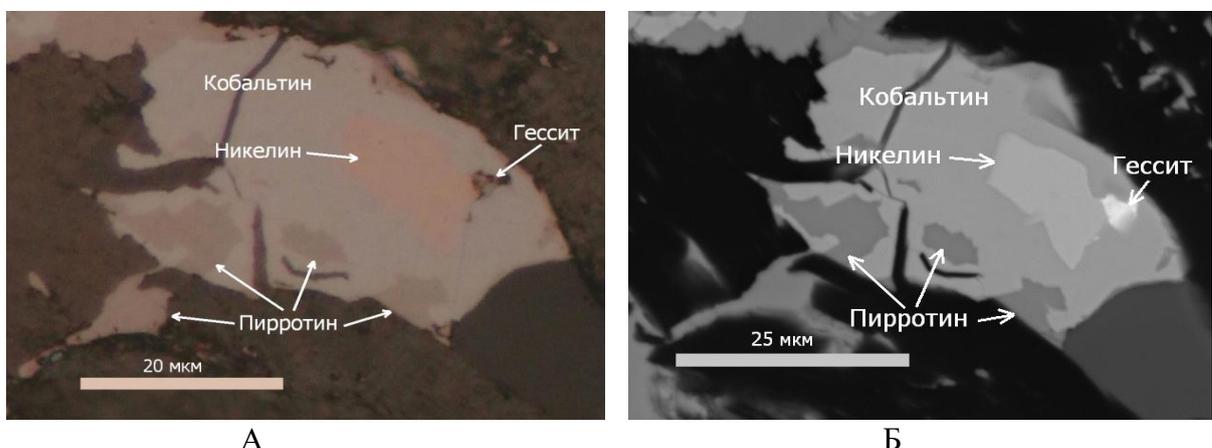


Рис.3.25 – Гессит на границе никелина и кобальтина. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м

Химический состав минерала в виду крайне мелких размеров был пересчитан на 100% (таблица 3.5).

Таблица.3.5 – Химический состав гессита

| Аншлиф | Спектр | Содержания, мас. % | | Сумма | Формула |
|--------|--------|--------------------|-------|-------|----------------------|
| | | Ag | Te | | |
| 26-2-4 | 54 | 60,90 | 39,10 | 100 | $Ag_{1,94}Te_{1,06}$ |
| 26-2-4 | 55 | 61,78 | 38,22 | 100 | $Ag_{1,97}Te_{1,03}$ |
| 26-2-4 | 56 | 62,33 | 37,67 | 100 | $Ag_{1,99}Te_{1,01}$ |
| 26-2-3 | 129 | 61,93 | 38,07 | 100 | $Ag_{1,97}Te_{1,03}$ |

В составе минерала отмечается небольшое превышение содержания теллура по сравнению с теоретическим составом.

Цумоит $BiTe$ – Является крайне редким и очень мелким минералом. Его зерна размерами менее 1мкм располагались цепочкой вдоль контакта пирротина и кобальтина (рис.3.26).

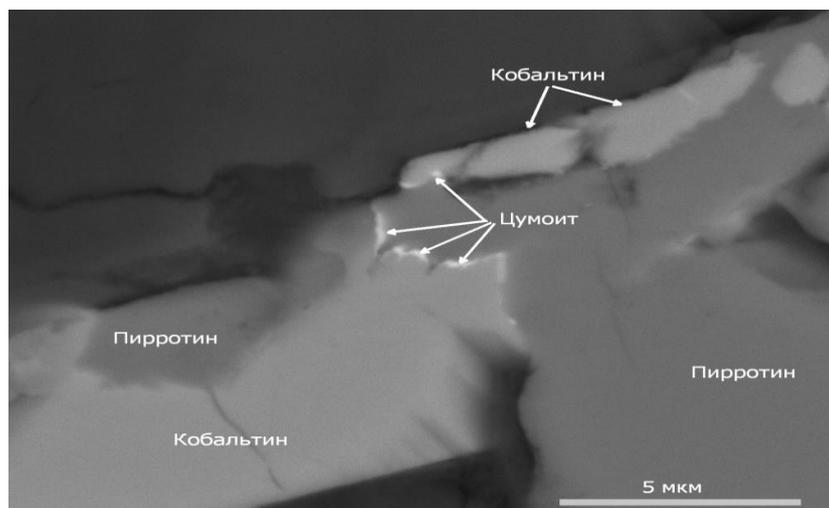


Рис.3.26 – Мелкие зерна цумоита по границе пирротина и кобальтина. Фото в обратно-рассеянных электронах. Анш. 26-2-3. Горизонт 720м

В составе минерала наблюдается дефицит теллура и избыток висмута против стехиометрии (таблица 3.6).

Таблица.3.6 – Химический состав цумоита

| Аншлиф | Спектр | Содержание, мас. % | | Сумма | Формула |
|--------|--------|--------------------|-------|-------|----------------------|
| | | Bi | Te | | |
| 26-2-3 | 126 | 63,38 | 36,62 | 100 | $Bi_{1,03}Te_{0,97}$ |
| 26-2-3 | 127 | 65,05 | 34,95 | 100 | $Bi_{1,06}Te_{0,94}$ |
| 26-2-3 | 128 | 64,83 | 35,17 | 100 | $Bi_{1,06}Te_{0,94}$ |

Минералы палладия

Полярит PdBi – Одной фазой палладия, вероятно, является полярит, выявленный вместе с низкопробным золотом в образце 26-2-1. Этот минерал был обнаружен в составе аллоклазита, замещающего пентландит, и в составе пентландита, которого аллоклазит замещает. По трещинам этого агрегата аллоклазита развиваются микронные прожилки низкопробного самородного золота (рис.3.27).

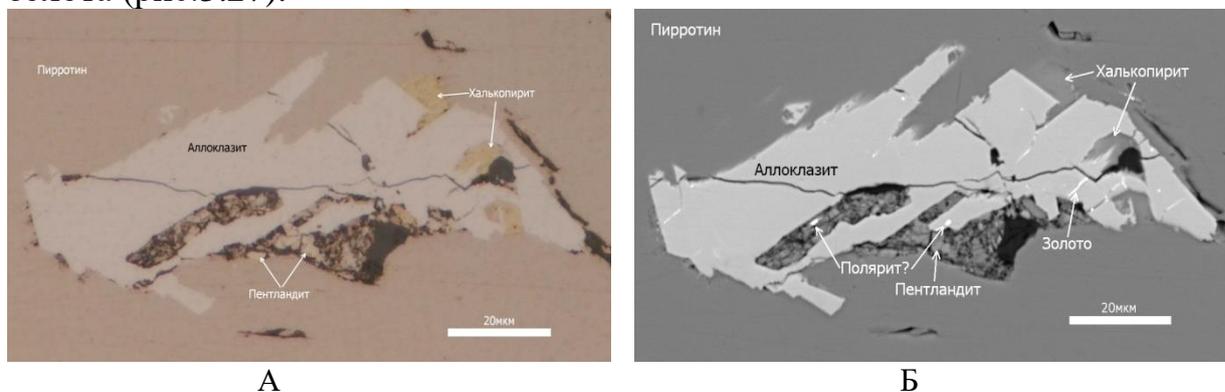


Рис.3.27 – Агрегат аллоклазита с микронными включениями минералов палладия и самородного золота. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 26-2-1. Горизонт 720м

Сплавы, самородные

Электрум (Au, Ag) – Сплав золота и серебра в составе сульфидной минерализации Кия-Шалтырского месторождения был обнаружен в нескольких образце (№26-2-1). Во всех исследованных случаях благороднометалльная минерализация была связана с сульфоарсенидами и арсенидами кобальта и никеля (см. рис. 3.27).

Таблица 3.7– Химический состав сплава золота и серебра

| №№ п/п | Аншлиф | Спектр | Содержания, мас. % | | Сумма | Проба |
|-----------|--------|--------|--------------------|-------|-------|-------|
| | | | Ag | Au | | |
| 4 | 26-2-1 | 67 | 21,12 | 78,88 | 100,0 | 789‰ |
| 5 | 26-2-1 | 68 | 21,84 | 78,16 | 100,0 | 782‰ |
| 6 | 26-2-1 | 69 | 21,55 | 78,45 | 100,0 | 785‰ |
| | | | | | | |

Находка низкопробного золота была сделана в составе образца (аншлифа) №26-2-1, отобранного из приконтактной части дайки камптонитов. Золото средней пробы из трех анализов 785‰ было обнаружено в трещине аллоклазита в виде тонкого (толщиной менее 1 микрона) прожилка длиной около 5мкм (см. описание фаз палладия). Здесь же также были выявлены мелкие включения фазы палладия состава палладий-висмут (предположительно, полярита?). В связи с крайне мелкими размерами прожилка золота анализы были пересчитаны на 100% сумму (таблица 3.7, анш.26-2-1).

Графит(C) заполняет центральные части пирротина по трещинам, используя трещины спайности.

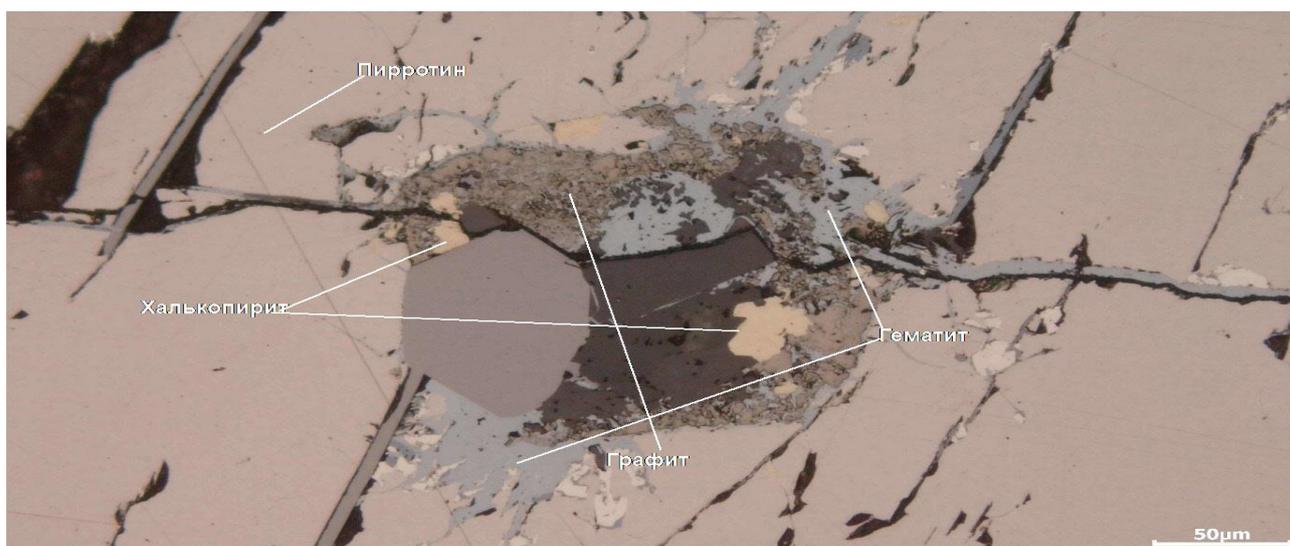


Рис. 3.28 – Графит развивается по гематиту. Анш. 26-3. Горизонт 720м

Таблица 4.2.8 – Схема минералообразования в габбро

| Минералы | Этапы | | | |
|-----------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | Магматический | | Гидротермальный | |
| | стадии | | | |
| | Нефелин-плагиоклазовая | Титаномагнетит-гематитовая | Пирит-халькопиритовая | Кобальтин-никелиновая |
| Нефелин | █ | | | |
| Титан-авгит | | █ | | |
| Плагиоклаз | █ | | | |
| Апатит | | █ | | |
| Джерфишерит | | █ | | |
| Титаномагнетит | | █ | | |
| Ильменит-1 | | █ | | |
| Магнетит | | █ | | |
| Гематит-1 | | █ | | |
| Пирротин | | █ | | |
| Пентландит | | █ | | |
| Пирит-1 | | | █ | |
| Марказит | | | █ | |
| Пирит-2 | | | █ | |
| Гематит-2 | | | █ | |
| Халькопирит | | | █ | |
| Кубанит | | | █ | |
| Кобальтин | | | | █ |
| Арсенопирит | | | | █ |
| Герсдорфит | | | | █ |
| Гессит | | | | █ |
| Никелин | | | | █ |
| Графит | | | | █ |
| Форма проявления ассоциаций | Зернистые | Зернистые, полосчатые | Прожилки, зернистые зональные | |
| РН, среда | Основная | | Кислая | |

3.2.2.2. Йиолиты

Небольшие тела йиолитов и йиолит-уртитов зафиксированы в самом рудном теле и на северном и юго-восточном флангах тела трахитоидных габброидов. В эндоконтактах уртиты, обогащаясь пироксеном, кальцитом и апатитом, постепенно переходят в йиолиты. Простираание даек микройиолитов и порфириовидных йиолитов северо-западное, северное по азимуту 330° - 360° , реже северо-восточное $10-20^{\circ}$. В целом они ориентированы вдоль простираания рудного тела уртитов. Падение их юго-западное, реже юго-восточное и южное под углами от 65 до $85-90^{\circ}$.

Петрографический состав йиолитов отличается от уртитов большим содержанием пироксенов. Характерная текстура: массивная, прожилковая.



Рис.3.29 – Йиолит. Фото из коллекции предприятия. Горизонт не указан

Структура пород средне-, крупнозернистая.

Минеральный состав. Главные минералы: нефелин – 45-50%, титан-авгит – 25-30%; второстепенные минералы: плагиоклаз – 5-10%, акцессорные минералы: апатит – 0-5%. Рудные минералы – 5% (титаномагнетит – 2%, сульфиды – 2%, графит – 1%).



Рис.3.30 – Средний петрографический состав йиолитов

Микроструктура пород часто гипидиоморфнозернистая, местами идиоморфнозернистая и пойкилитовая.



Рис.3.31 – Йиолит. 1- нефелин, 2- титан-авгит, 3- апатит, 4- плаггиоклаз. Шлиф 20. Горизонт 720м

Нефелин представлен изометричными округлыми зернами без четких кристаллографических ограничений, размером 0,5-6 мм. Между замещенными зернами нефелина отмечаются редкие таблитчатые, неправильные кристаллы плаггиоклаза размером 0,1-0,2 мм.

Титан-авгит представлен округлыми, таблитчатыми зернами размером 0,1-0,7 мм, образующими цепочечные агрегаты розовой окраски.

Плаггиоклаз отмечается в виде таблитчатых зерен размером до 0,4 мм, ассоциирующих с вторичными минералами нефелина.

Титаномагнетит представлен крупными агрегатами неправильной натечной формы, размером до 2 мм, в сростании с ним наблюдаются сульфиды.

Также сульфиды встречаются в виде самостоятельных зерен размером до 0,05 мм в нефелине.

Рудная минерализация

На краях шлифов рудная минерализация, представленная округлыми зернами сульфидов размером до 0,2 мм, вокруг которых развиты неправильные, чешуйчатые зерна титаномагнетита с графитом.

Минеральный состав. Главные минералы – титаномагнетит-2%, пирротин-1,2%, графит-0,8%, пирит-2 0,5% Второстепенные – гематит-0,1%, магнетит-0,1%, халькопирит-0,01%, марказит-0,01%.

Оксиды

Титаномагнетит ($\text{Fe}(\text{Fe},\text{Ti})_2\text{O}_4$) – представлен в виде включений в плагиоклазах, в пироксене, а также местами образует круглые зерна в нефелине. Размеры от 0,01 до 2мм и более. Минерал больше распространён, более 2%. Он разъедается графитом.

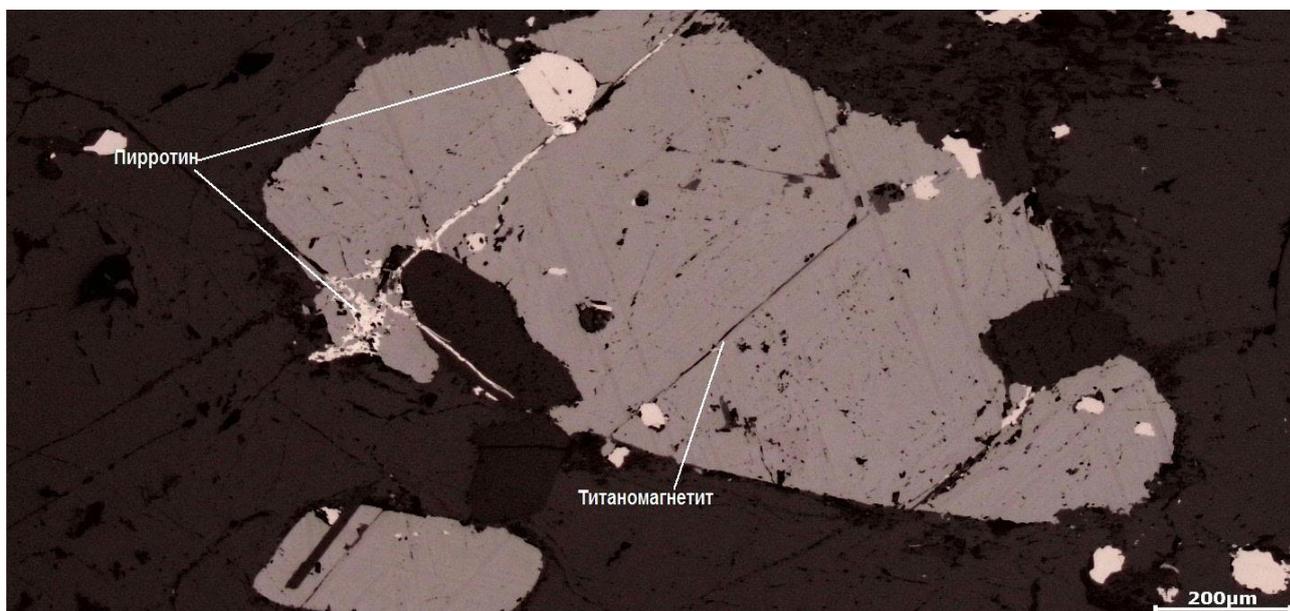


Рис.3.32 – Структура распада титаномагнетита. Анш. 17а. Горизонт 580м

Гематит (Fe_2O_3) – характеризуется таблитчатой, игольчатой формами, размером от 0,01 до 0,8мм. Характерна структура замещения, коррозионная. Средняя распространённость - 0,2%. Встречается с магнетитом, который он замещает постоянно как отдельными зернами, как и магнетитовую часть титаномагнетита.

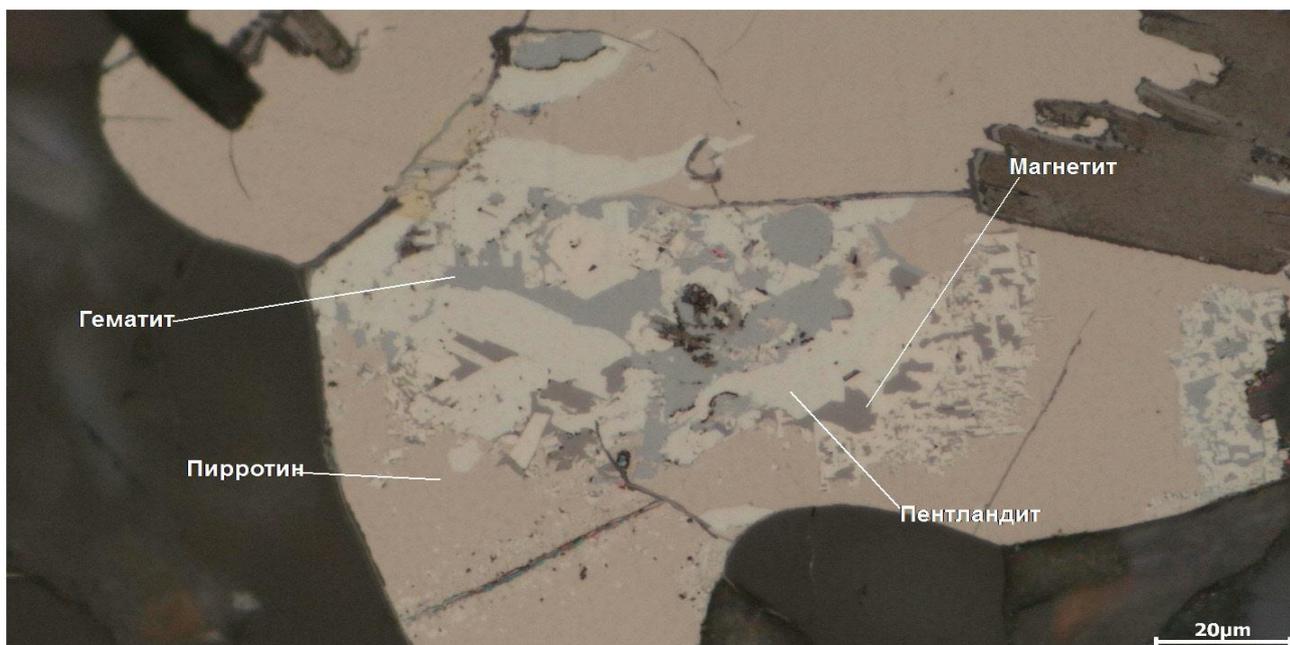


Рис.3.33 – Гематит (мартит) замещает магнетит. Анш. 13а-2. Горизонт 720м

Сульфиды

Пирротин ($Fe_{x-1}S_x$) – Форма выделений неправильная, округлая, вытянутая, размеры до 2 мм. Средняя распространённость около 3%. Структуры: от идиоморфнозернистой до аллотриоморфнозернистой, зональная. Срастается с кальцитом, графитом, халькопиритом, замещается гематитом. Встречается в парагенезисе с пиритом, халькопиритом и является зоной развития сульфоарсенидов, диарсенидов.



Рис.3.34 – Замещение пирротина гематитом и пентландитом. Анш. 13. Горизонт 720м

Пирит (FeS_2) – образует прямоугольные зерна с идиоморфными границами. Размеры крупные от 0,01 до 2 мм и более. Структуры прожилковые, замещения и разъедания. Распространённость пирита составляет 0,5%.

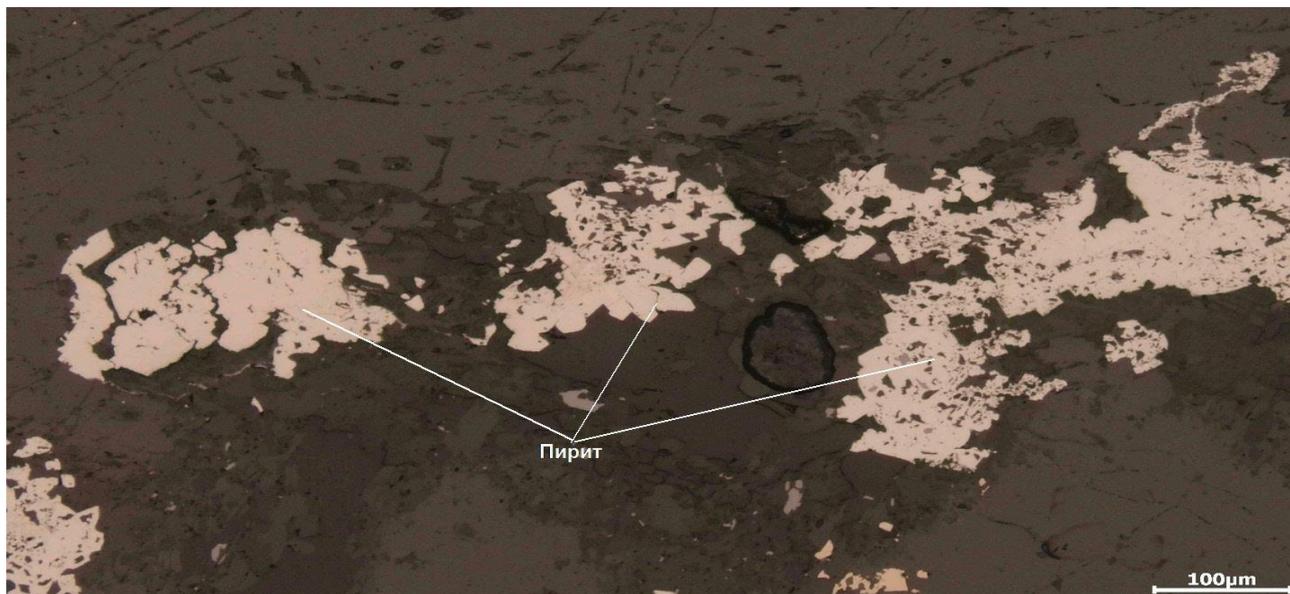


Рис 3.35 – Скопление первичного пирита. Анш. 17. Горизонт 580м

Марказит (FeS_2) – образует линзы от 0,005 до 0,01мм. замещает пирит, пирротин, халькопирит. Малораспространённый – 0,05%.

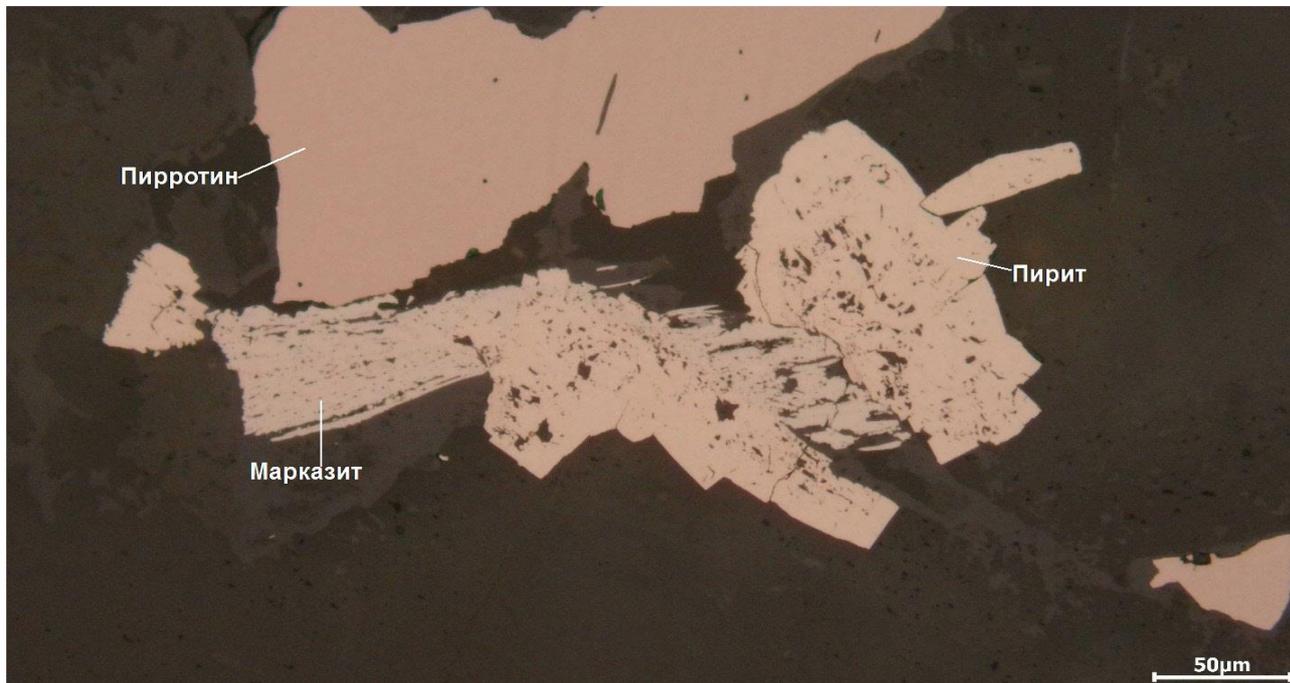


Рис.3.36 – Марказит в сростании с пиритом. Анш. 17а. Горизонт 580м

Халькопирит (CuFeS_2) – Для минерала характерная структура - коррозионная и структура замещения. Встречается с пиритом, пирротинном, гематитом.

Сфалерит (ZnS) – распространен вместе с халькопиритом, обрастают агрегаты пирротина.



Рис 3.37 – Замещение пирротина халькопиритом и сфалеритом. Анш. 13а-1. Горизонт 720м

Сульфоарсениды

Кобальтин (CoAsS) – относится к очень редким минералам, размеры зерен его достигают до 0,01мм. Минерал характеризуется зернистой структурой. [4,5,6,7,8]



Рис. 3.38 – Кристалл кобальтина в пирротине. Анш. 13а-1. Горизонт 720м

Самородные

Графит(C) – Размеры зерен от 0,01 до 0,2мм, редко до 1 мм. средняя распространённость - 2%. Встречается в виде линз, точечных пятен в нефелине, а также вокруг зерен пирротина. Структура графитовая, разъедания.

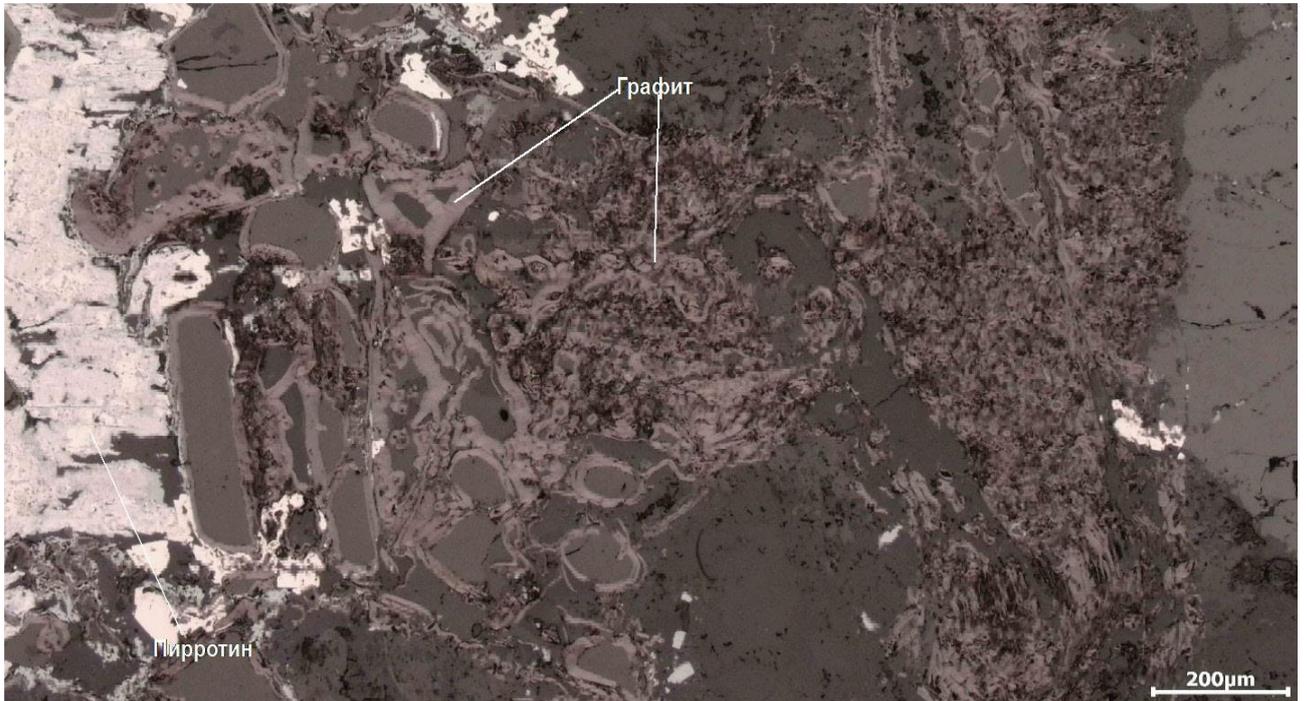


Рис.3.39 – Графитовая структура. Анш. 8. Горизонт 590м

Таблица 3.9 – Схема минералообразования в ийолитах

| Минералы | Этапы | | | |
|---|------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | Магматический | | Гидротермальный | |
| | Стадии | | | |
| | Нефелин-плагиоклазовая | Титаномагнетит-гематитовая | Пирит-халькопиритовая | Кобальтин-никелиновая |
| Нефелин | █ | | | |
| Титан-авгит | █ | | | |
| Плагиоклаз | █ | | | |
| Апатит | █ | | | |
| Титаномагнетит | █ | █ | | |
| Ильменит | | █ | | |
| Графит | | █ | | |
| Гематит | | █ | | |
| Пирротин | | █ | | |
| Пентландит | | █ | █ | |
| Пирит-1 | | | █ | |
| Марказит | | | █ | |
| Пирит-2 | | | █ | |
| Халькопирит | | | █ | |
| Кобальтин | | | | █ |
| Арсенопирит | | | | █ |
| Герсдорфит | | | | █ |
| Гессит | | | | █ |
| Никелин | | | | █ |
| Форма проявления минеральных ассоциаций | Зернистые | Зернистые, полосчатые | Прожилки, зернистые зональные | Линзы |
| РН, среда | Основная | Кислая | | |

3.2.2.3. Уртиты

Уртиты – светло-серые средне-крупнозернистые породы гипидиоморфнозернистой структуры, трещиноватые, состоящие из нефелина (в среднем 85%), титана-авгита (13%) и незначительной примеси апатита, титаномагнетита, пирротина.

Текстура: массивная, трахитовая, редко неоднородная, пятнистая.

Структура: полнокристаллическая неравномернозернистая мелко-средне-крупнозернистая.



Рис.3.40 – Уртит. текстура массивная, неоднородная, зернистая; трахитовая макроструктура. Образец 3а. Горизонт 630м

Минеральный состав. Главные минералы: нефелин – 65-70%, титан-авгит – 5-10%, второстепенные минералы (плагиоклаз (альбит)) 5-10 %, акцессорные минералы (апатит) –0-5%, рудные-5% (титаномагнетит – 2%, пирит, пирротин – 2% графит–1%).



Рис.3.41 – Средний петрографический состав уртитов

Микроструктура: агпаитовая. Агпаитовая структура обусловлена идиоморфизмом нефелина по отношению к темноцветным минералам.



Рис.3.42 – Уртит. Агпаитовая структура, идиоморфный нефелин (1) вокруг ксеноморфный титан-авгит (2). Шлиф №14. Увеличение 10х. Горизонт 580м.
Профиль -Ша

Нефелин представлен бесцветными идиоморфными зернами кубической, гексагональной, неправильной формы, размером 0,2-5 мм, частично замещенными вторичными продуктами (10%). Минерал характеризуется бесцветной окраской, почти прямым угасанием, отрицательным удлинением, $N_g - N_p \approx 0,015$.

Титан-авгит ксеноморфен по отношению к нефелину, размер зерен пироксена 0,1-10 мм. Титан-авгит имеет розовато-бурую, зеленовато-розовую, серо-розовую, розовую с фиолетовым оттенком окраску. Титан-авгит представлен ксеноморфными зернами, краевые части (редко центральные) которых корродируются и «разъедаются» вторичными продуктами. Минерал интенсивно, но неравномерно замещается зеленым эгирин-авгитом (в среднем на 10%), хлоритом, роговой обманкой.

Плагиоклаз (альбит) характеризуется таблитчатыми зернами размером до 0,2 мм. Зерна имеют буроватую окраску. Локализуются на границе зерен нефелина и ассоциируют с его вторичными минералами, чаще с анальцимом.

Апатит представлен идиоморфными гексагональными, столбчатыми, шестиугольными, округлыми, призматическими зернами размером 0,1-5 мм.

Титаномагнетит отмечается в виде тонкозернистых вытянутых, неправильных агрегатов, редко в виде изометричных зерен, размером до 0,2 мм, сосредоточенных, главным образом, в эгирин-авгите.

Рудная минерализация

Рудные минералы представляют отдельные зерна характерной сидеронитовой структуры, т.е. заполнение пустот кристаллов основной массы нефелина аллотриоморфными зернами рудных минералов и составляют 5%. Главные минералы: пирротин -1,5%, пирит-0,3%, титаномагнетит-2%, Второстепенные минералы - ильменит-1 - 0,2%, ильменит-2 0,1% гематит-0,2%, графит-0,3%, пентландит- 0,1%, марказит-0,1%, и редкие минералы – кобальтин-0,02%, гессит- 0,01%, герсдорфит-0,01%, лёллингит-0,01%, халькопирит-0,01%, галенит-0,01% и молибденит- 0,005%.

Оксиды

Титаномагнетит ($\text{Fe}(\text{FeTi})_2\text{O}_4$) – распадается на магнетит и пластинки ильменита (структура распада твердого раствора). Кристаллы идиоморфные, шестиугольники. Размеры от 0,01 до 2мм и более. Более распространённый - до 5%. Очень высокотемпературный и кристаллизуется раньше других рудных минералов.

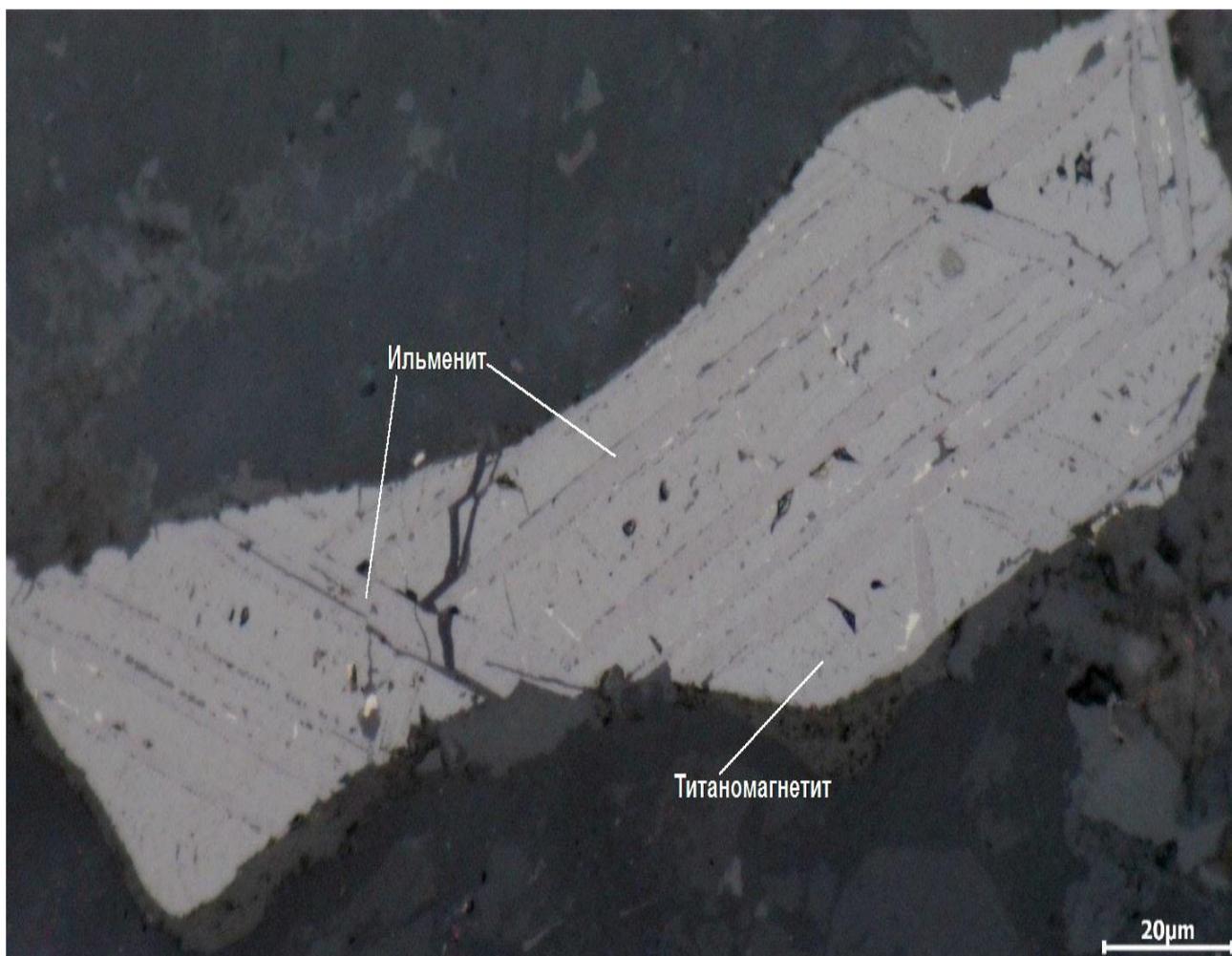


Рис.3.43 – Структура распада титаномагнетита. Анш. 10. Горизонт 590м

Ильменит (FeTiO_3) – представлен зернами размером от 0,05 до 0,5 мм и больше. Распространенность - до 2%. Встречается с магнетитом и вместе образуют структуру распада твердых растворов.

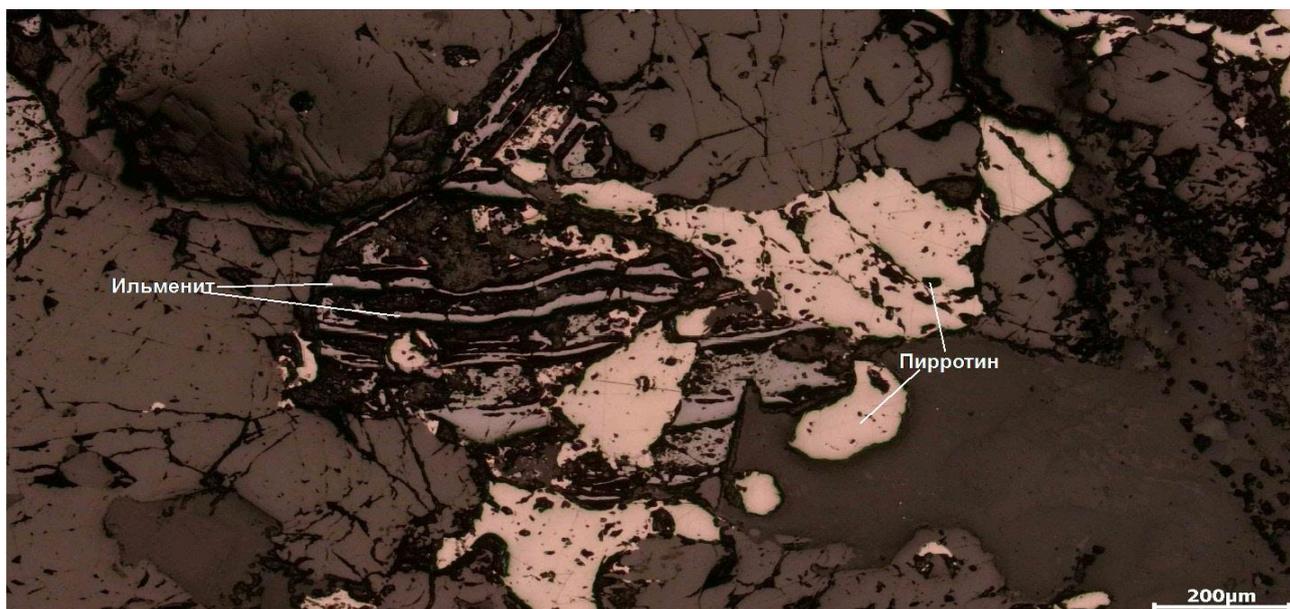


Рис.3.44 – Полоски ильменита. Анш. 7а. Горизонт 580м

Гематит (Fe_2O_3) – образует замещения магнетитовой части титаномагнетита, а также создает корродирует агрегаты пирротина. Встречается вместе с которым его замещает магнетитом.

Магнетит (Fe_3O_4) – Размеры от 0,01 до 2мм. Обрастётся гематитом.

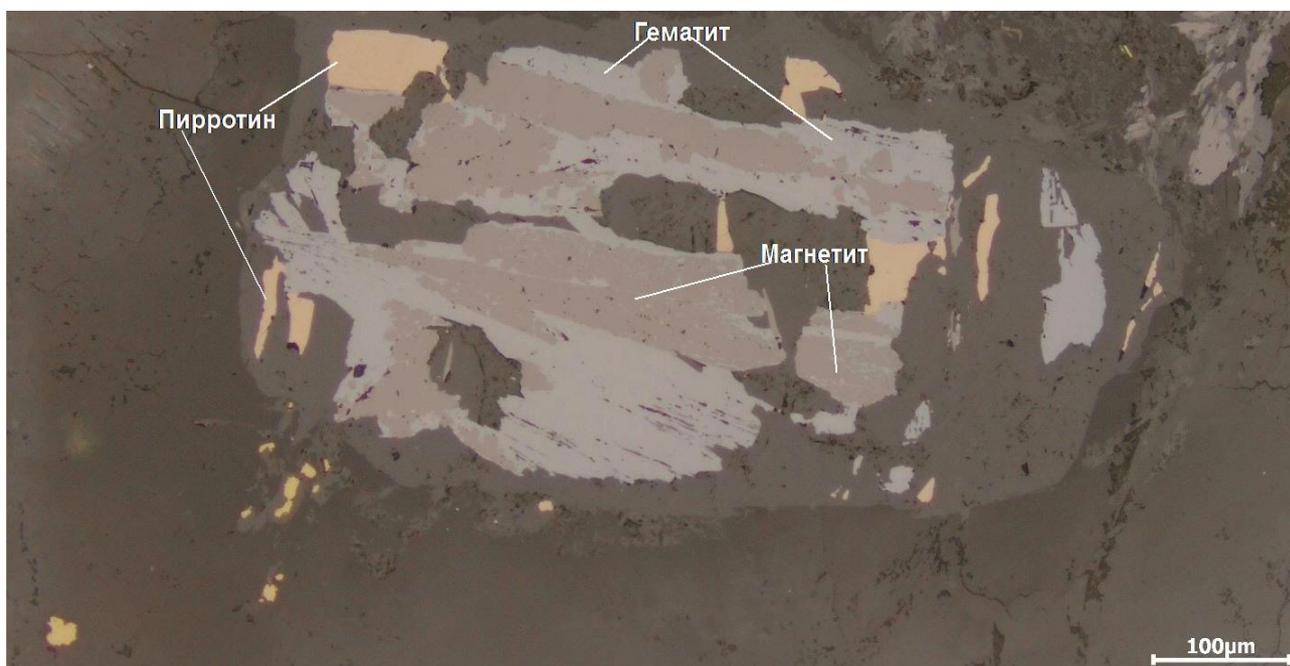


Рис. 3.45 – Гематит замещает магнетит. Анш. 4а. Уртит. Горизонт 600м

Сульфиды

Пирротин ($\text{Fe}_{x-1}\text{S}_x$) – наиболее распространённый минерал неправильной формы, редко округлый, вытянутый. Размеры от 0,001 до 2 мм. Цементирует нерудные минералы и образует с ними сидеритовую структуру.

Структуры: прожилковая и аллотриоморнозернистая по отношению к нерудным минералам. В отношениях с другими нерудными минералами и сульфидами пирротин сростается с кальцитом, с графитом, с халькопиритом, замещается гематитом. Встречается в сростках с пиритом, халькопиритом. Пирротин представляет собой благоприятную зону развития структур замещения, а также по нему развивается большая часть сульфоарсенидов, диарсенидов никеля и кобальта [2, 3].

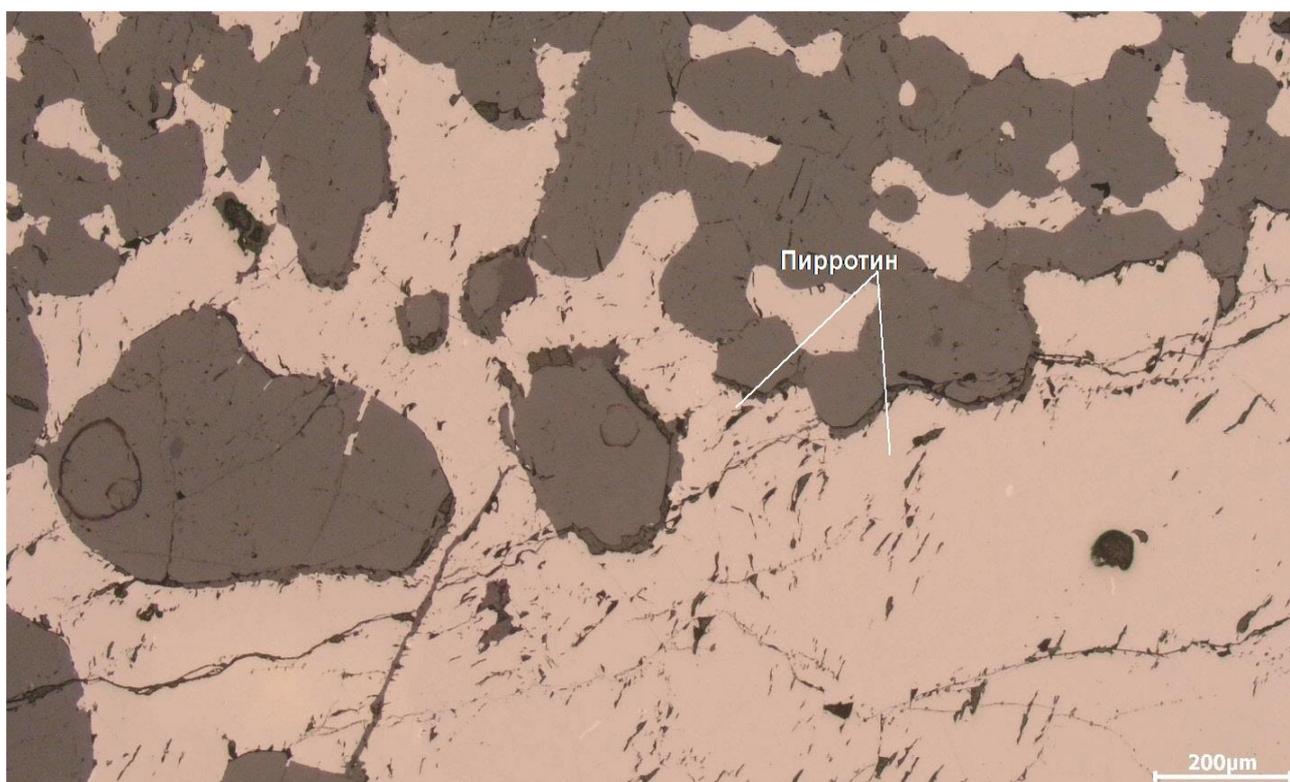


Рис.3.46 – Пирротин. Анш. 3. Горизонт 600м

Пентландит ($\text{Fe,Ni,Co})_9\text{S}_8$ – Минерал значительно распространен, но крупных выделений не образует. Ассоциирует с агрегатами пирротина, в составе которого образует пламенивидные зерна за счет распада твердого раствора. Пентландита может иметь сростания с халькопиритом. Размеры зерен пентландита редко превышают 2,8x3,0мм. Форма зерен пентландита обычно клиновидная, древовидная, в виде перьев или мелких субпараллельных линз.

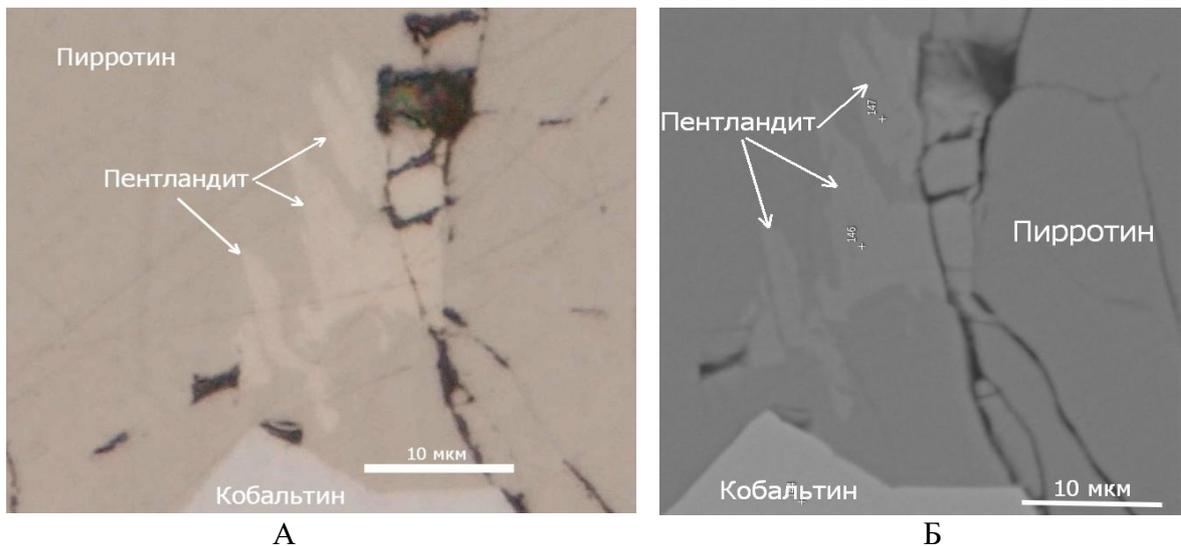


Рис.3.47 – Клиновидные зерна пентландита в пирротине. А- отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 0. Горизонт неизвестен

Пирит (FeS_2) – выделяется крупными размерами зерен: от 0,01 до 2 мм и более. Структуры прожилковые. Минерал развивается отдельными зернами, замещает и разъедает края пирротина. Пирит в составе аншлифов существует в двух генерациях. Пирит первой генерации выражен более отчетливыми контурами зерен, а также образует отдельные таблитчатые и кубические зерна.

Марказит (FeS_2) – Структура минерала звездчатая, лучистая; размеры: 0,005 до 0,01мм. Встречается с пиритом, пирротинном, халькопиритом. Основная форма выделений – замещение пирротина и пирита.

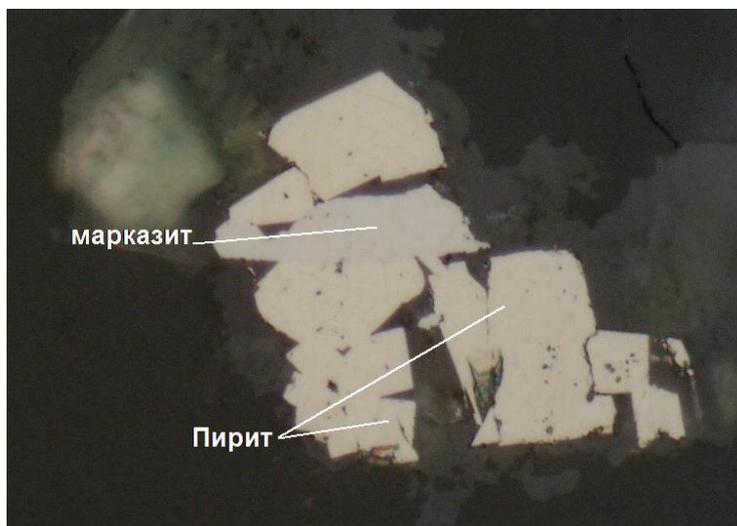


Рис.3.48 – Первичный пирит вместе с марказитом. Анш. 3. Горизонт 600м

Пирит второй генерации развивается вдоль трещин катаклаза пирротина, и характеризуется зазубренными контурами, а зерна - вытянутые и бесформенные.

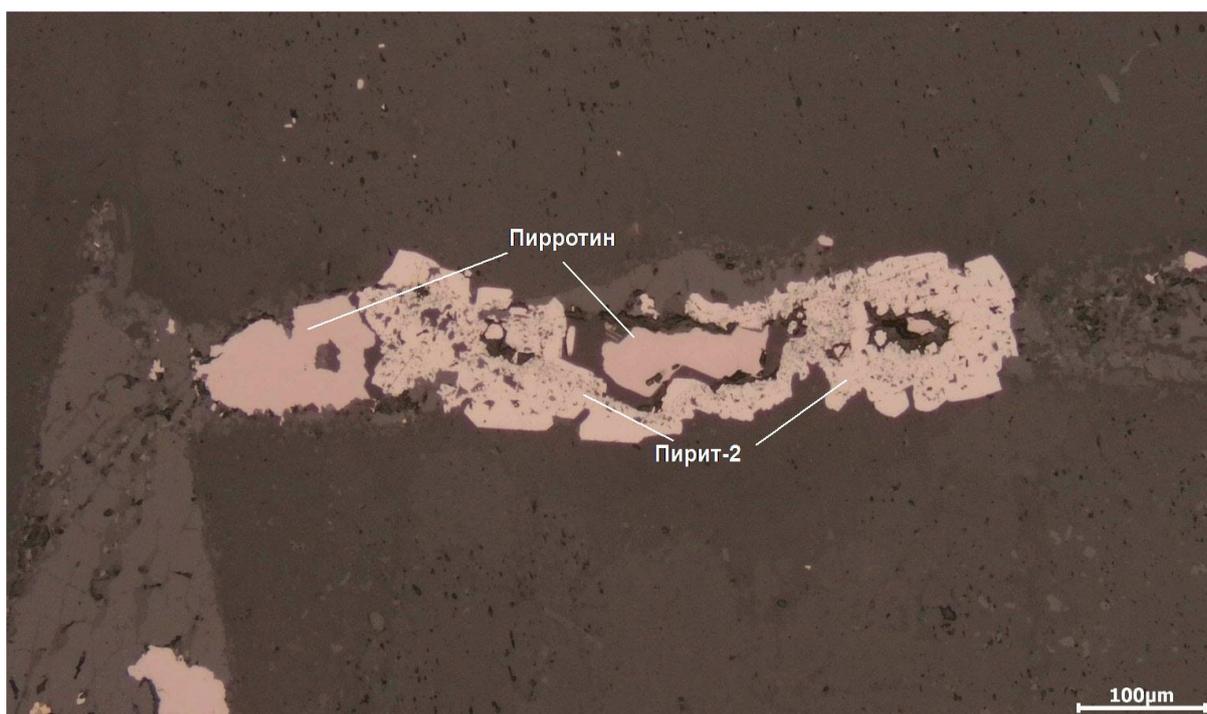


Рис 3.49 – Вторичный пирит. Анш. 3. Горизонт 600м

Халькопирит (CuFeS_2) – образует игольчатые, таблитчатые отдельные зерна размерами от 0,01мм до 0,3мм. Заполняет пустоты между зернами нефелина.

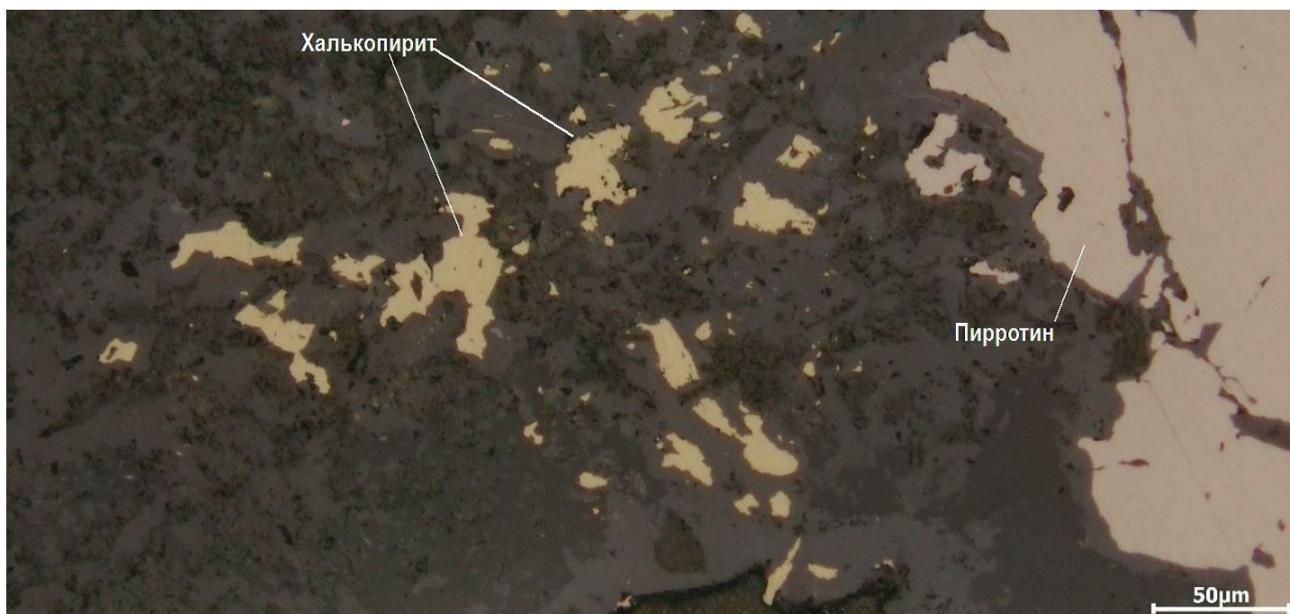


Рис.3.50 – Халькопирит. Анш. 4а. Горизонт 600м

Арсенопирит FeAsS – Минерал обнаружен только в одном образце - №5. Минерал образует по краям пирротиновых выделений небольшие трещиноватые агрегаты, содержащие внутри себя не до конца замещенные реликты пирротина, а также микронные зерна новообразованного лёллингита (рис.3.51).

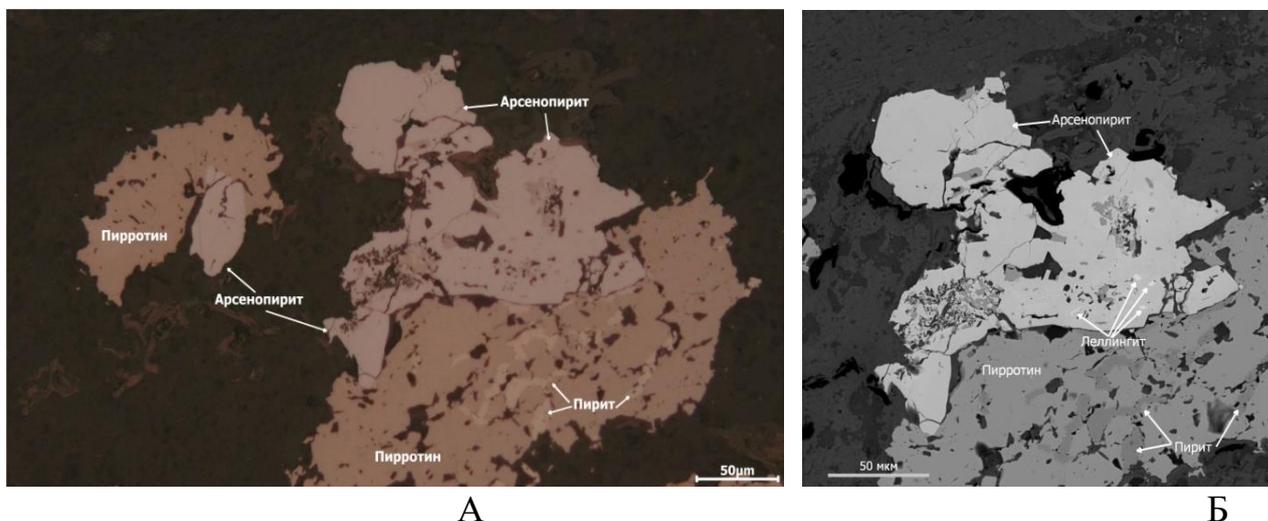


Рис.3.51 – Агрегаты арсенопирита по краям пирротина. А- отраженный свет. Б- обратно-рассеянные электроны. Анш. 5. Горизонт 600м

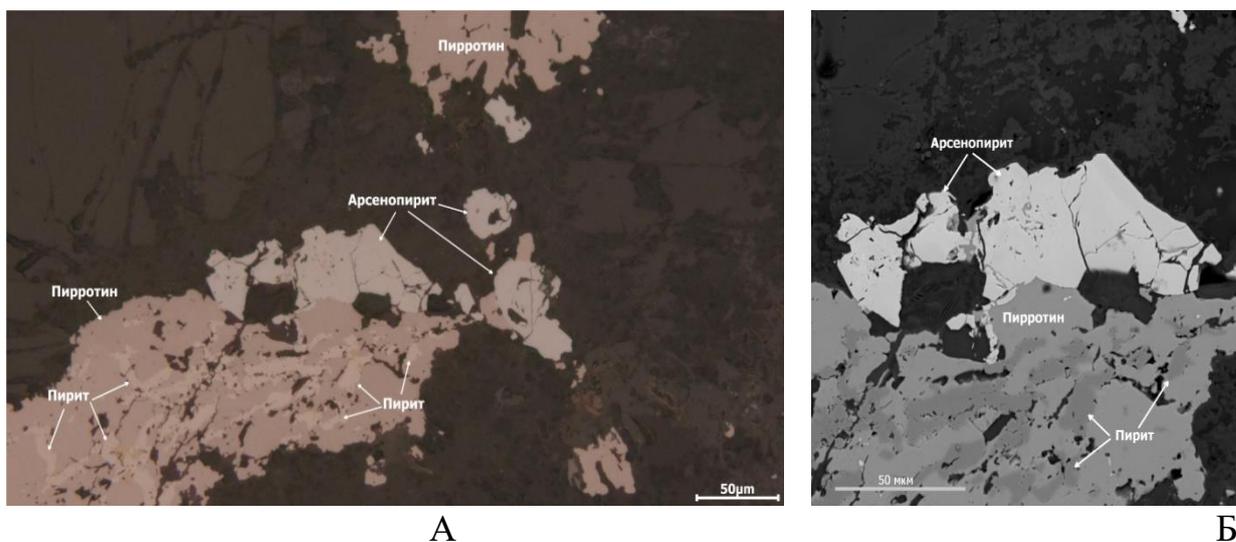


Рис.3.52 – Нарастание арсенопирита на пирротин. А-отраженный свет. Б-обратно-рассеянные электроны. Анш. 5. Горизонт 600м

Размеры агрегатов арсенопирита широко варьируют. Минимальные размеры составляют первые микроны, максимальные – 0,164x0,182мм.

Химические анализы агрегатов арсенопирита показывают неоднородность его элементного состава, и значительно нарушенную стехиометрию (таблица).

Таблица.3.10 – Химический состав арсенопирита, образец 5

| Спектр р | Содержания, мас. % | | | | | | Сумма | Формула |
|-------------|--------------------|-------|------|------|-------|------|--------|---|
| | S | Fe | Co | Ni | As | Sb | | |
| 84 | 17,47 | 33,08 | 0,0 | 1,04 | 48,34 | 0,0 | 99,93 | $(\text{Fe}_{0,99}\text{Ni}_{0,03})_{1,02}\text{As}_{1,08}\text{S}_{0,90}$ |
| 85 | 18,44 | 34,25 | 0,19 | 0,0 | 46,57 | 0,0 | 99,45 | $(\text{Fe}_{1,01}\text{Co}_{0,01})_{1,02}\text{As}_{1,03}\text{S}_{0,95}$ |
| 86 | 14,92 | 22,66 | 6,28 | 4,81 | 50,90 | 0,43 | 100,0 | $(\text{Fe}_{0,70}\text{Ni}_{0,14}\text{Co}_{0,18})_{1,02}\text{As}_{1,18}\text{S}_{0,80}$ |
| 87 | 17,21 | 29,62 | 3,64 | 1,61 | 50,24 | 0,16 | 102,48 | $(\text{Fe}_{0,87}\text{Ni}_{0,05}\text{Co}_{0,10})_{1,02}\text{As}_{1,10}\text{S}_{0,88}$ |
| 88 | 14,10 | 19,94 | 7,87 | 6,22 | 51,69 | 0,19 | 100,01 | $(\text{Fe}_{0,62}\text{Ni}_{0,18}\text{Co}_{0,23})_{1,03}\text{As}_{1,20}\text{S}_{0,77}$ |
| 89 | 17,17 | 31,04 | 1,51 | 2,06 | 47,97 | 0,0 | 99,72 | $(\text{Fe}_{0,93}\text{Ni}_{0,06}\text{Co}_{0,04})_{1,03}(\text{As}_{1,07}\text{Sb}_{0,01})_{1,08}\text{S}_{0,89}$ |
| 102 | 16,90 | 23,96 | 7,63 | 2,57 | 48,94 | 0,0 | 100,0 | $(\text{Fe}_{0,72}\text{Ni}_{0,07}\text{Co}_{0,22})_{1,01}\text{As}_{1,10}\text{S}_{0,89}$ |
| 103 | 16,37 | 23,56 | 8,10 | 2,59 | 49,37 | 0,0 | 99,99 | $(\text{Fe}_{0,71}\text{Ni}_{0,07}\text{Co}_{0,23})_{1,02}\text{As}_{1,12}\text{S}_{0,86}$ |
| 104 | 18,1 | 33,60 | 0,0 | 0,0 | 48,94 | 0,0 | 100,64 | $\text{Fe}_{0,99}\text{As}_{1,08}\text{S}_{0,93}$ |

Отмечаются значительные примеси кобальта (до 8,1мас. %), никеля (до 6,22мас. %). В незначительном количестве в составе арсенопирита присутствует сурьма (до 0,43мас. %).

Молибденит MoS_2 – Минерал молибденит редкий, выделяется тонкими светло-серыми поверхностями. Он представлен в аншлифе 3 спектрами 22-24.

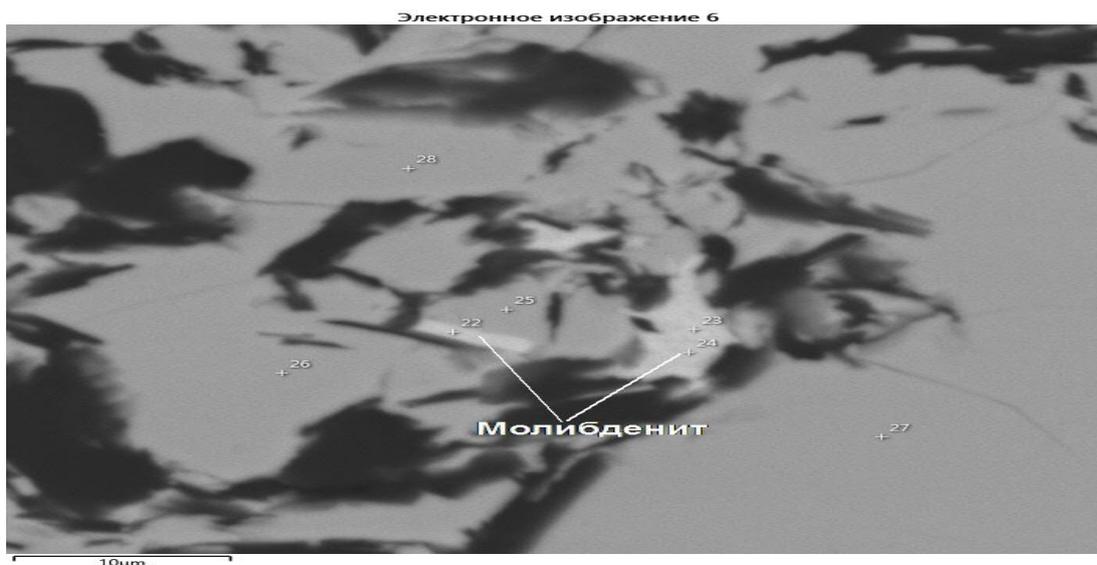


Рис.3.53 – Молибденит. Обратнo-рассеянные электроны. Анш. 3. Горизонт 590м

Таблица 3.11 – Химический состав молибденита

| аншлиф | спектр | Содержания, мас. % | | | Сумма | минерал | формула |
|--------|--------|--------------------|------|-------|-------|------------|--|
| | | Mo | Fe | S | | | |
| 3 | 23 | 39,12 | 2,28 | 56,92 | 98,32 | Молибденит | $(\text{Mo}_{0,96}\text{Fe}_{0,07})_{1,03}\text{S}_{1,97}$ |
| 3 | 24 | 36,09 | 1,76 | 56,47 | 94,31 | Молибденит | $(\text{Mo}_{1,01}\text{Fe}_{0,05})_{1,06}\text{S}_{1,94}$ |

Самородные элементы

Графит (C) – образует зерна таблитчатой, пластинчатой форм. Размеры от 0,01 до 0,2мм, редко до 1 мм. Структура графитовая, разъедания по отношению к нерудным минералам и к пирротину.

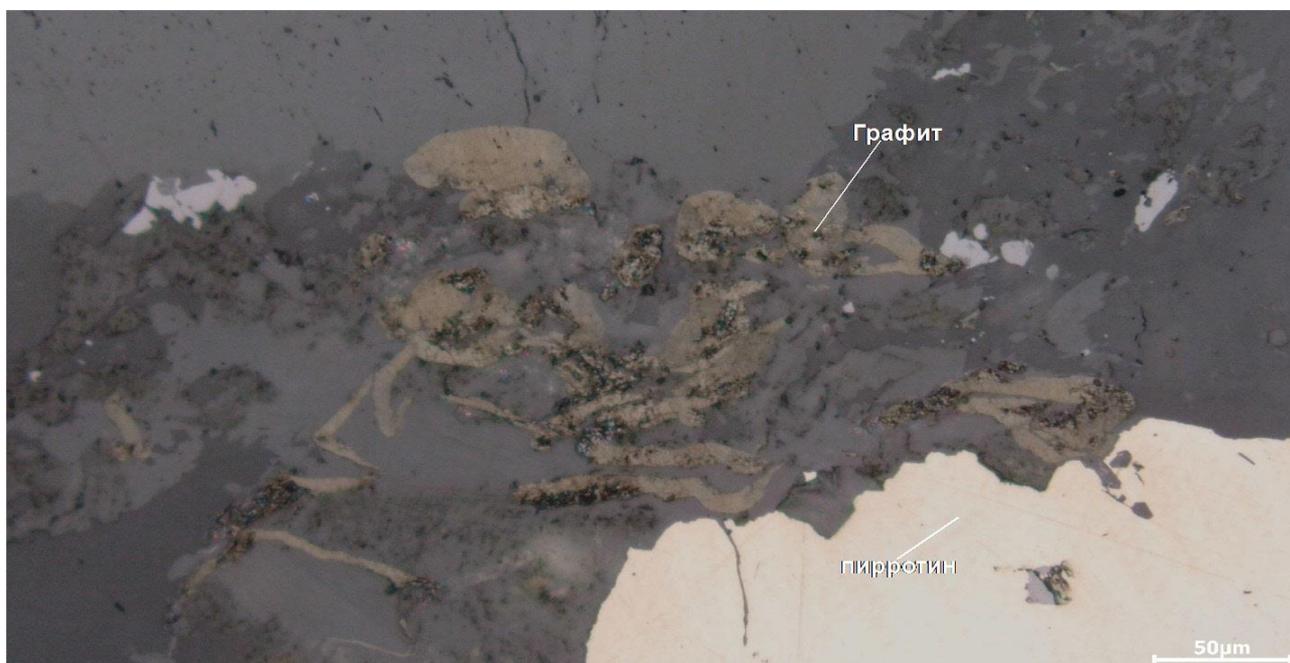


Рис 3.54 – Графит. Анш. 10. Уртит. Горизонт 590м

Диарсениды

Леллингит $FeAs_2$ – Минерал встречается практически только внутри кристаллов кобальтина или герсдорфита в виде мелких реликтов, не до конца замещенных.

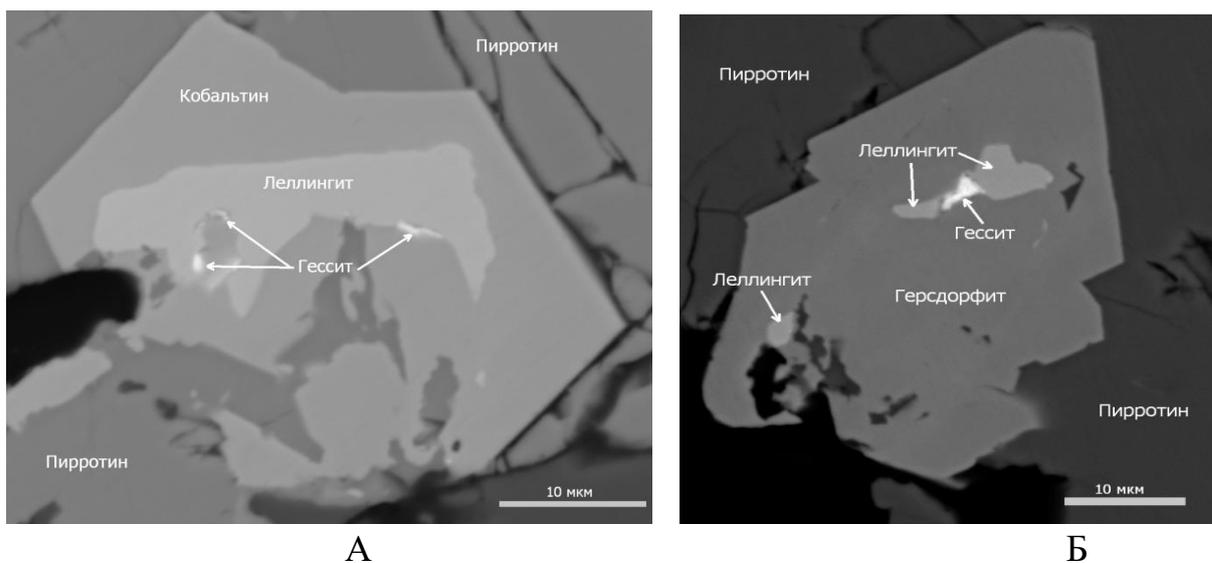


Рис.3.55 – Включения леллингита в кобальтине (А) и в герсдорфите (Б).
А – Анш. 5. Горизонт 600м. Б – Фото в обратно-рассеянных электронах. Анш. 0. Горизонт неизвестен

Химический состав леллингита характеризуется значительным содержанием кобальта и никеля, что подтверждает наличие непрерывного изоморфизма между леллингитом и сафлоритом (Справочник..., 1988).

Таблица 3.12 – Химический состав леллингита

| Аншли ф | Спект р | Содержания, мас. % | | | | | | Сумм а | Формула |
|------------|------------|--------------------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|---|
| | | S | Fe | Co | Ni | As | Sb | | |
| 5 | 99 | 0,5 4 | 16,8 2 | 5,39 | 5,9 7 | 71,2 7 | 0,0 | 100,0 | $(\text{Fe}_{0,62}\text{Ni}_{0,21}\text{Co}_{0,19})_{1,02}(\text{As}_{1,95}\text{S}_{0,03})_{1,98}$ |
| 5 | 100 | 0,7 6 | 17,1 7 | 5,10 | 6,3 0 | 70,6 6 | 0,0 | 100,0 | $(\text{Fe}_{0,63}\text{Ni}_{0,22}\text{Co}_{0,18})_{1,02}(\text{As}_{1,93}\text{S}_{0,05})_{1,98}$ |
| 5 | 101 | 0,9 2 | 16,4 3 | 5,31 | 6,0 5 | 71,3 0 | 0,0 | 100,0 | $(\text{Fe}_{0,60}\text{Ni}_{0,21}\text{Co}_{0,18})_{0,99}(\text{As}_{1,95}\text{S}_{0,06})_{2,01}$ |
| 0 | 143 | 0,4 8 | 13,1 6 | 9,26 | 6,0 6 | 70,5 0 | 0,5 5 | 100,0 | $(\text{Fe}_{0,49}\text{Co}_{0,33}\text{Ni}_{0,21})_{1,03}(\text{As}_{1,96}\text{Sb}_{0,01})_{1,97}$ |
| 0 | 150 | 0,4 5 | 12,3 1 | 10,4 2 | 6,0 3 | 69,9 8 | 0,8 2 | 100,0 | $(\text{Fe}_{0,45}\text{Co}_{0,36}\text{Ni}_{0,21})_{1,03}(\text{As}_{1,93}\text{S}_{0,03}\text{Sb}_{0,01})_{1,7}$ |
| 0 | 151 | 1,2 3 | 12,4 6 | 9,90 | 6,2 0 | 69,6 5 | 0,5 6 | 100,0 | $(\text{Fe}_{0,46}\text{Co}_{0,34}\text{Ni}_{0,22})_{1,01}(\text{As}_{1,90}\text{S}_{0,08}\text{Sb}_{0,01})_{1,9}$ 9 |
| 0 | 152 | 1,0 6 | 13,0 4 | 9,52 | 6,0 9 | 69,5 7 | 0,7 1 | 100,0 | $(\text{Fe}_{0,48}\text{Co}_{0,33}\text{Ni}_{0,21})_{1,02}(\text{As}_{1,90}\text{S}_{0,07}\text{Sb}_{0,01})_{1,9}$ 9 |

Теллуры

Гессит Ag_2Te – зерно неправильной формы и более крупных размеров (до $1,8 \times 3,9 \mu\text{м}$) выявлено в составе никель-кобальтового сульфоарсенида, между двумя включениями леллингита (рис.3.56).

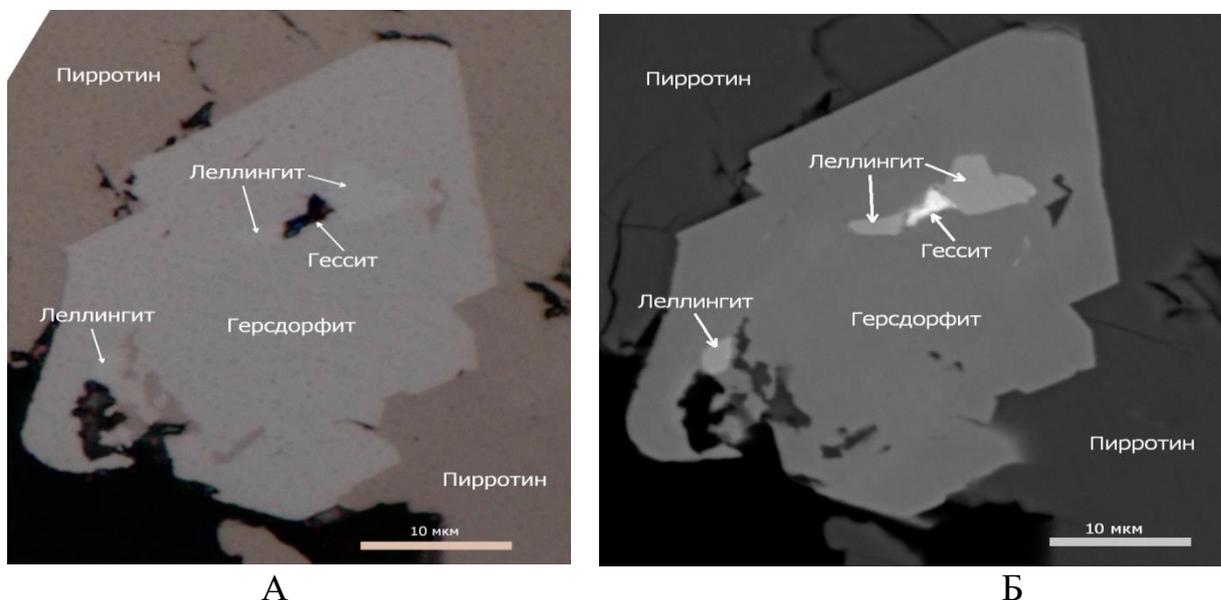


Рис. 3.56 – Гессит в составе герсдорфита. А - отраженный свет. Б – в обратно-рассеянных электронах. Анш. 0.

Корреляционная диаграмма содержания S, Fe, Al₂O₃

Диаграмма была составлена для установления совместного влияния S, Fe на качество глинозема в некоторых пробах уртитов. Результат спектрального анализа данных проб представлен в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Данные спектрального анализа проб уртитов

| Результаты спектрального анализа EDX-7000 | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|------|--------------------------------|------------------|-----------------|------------------|------|--------------------------------|-------|------------------|------------------|------------------|-------|------|
| пробы | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | SO ₃ | K ₂ O | CaO | Fe ₂ O ₃ | Nnn | TiO ₂ | R ₂ O | M _{R2O} | М изв | SUM |
| 3 | 10,78 | 1,26 | 28,04 | 43,29 | 0,15 | 3,13 | 7,26 | 3,69 | 1,55 | 0,33 | 12,84 | 0,754 | 0,179 | 99,5 |
| 4а | 10,67 | 1,72 | 27,81 | 41,93 | 0,24 | 2 | 6,65 | 2,94 | 5,31 | 0,42 | 11,99 | 0,709 | 0,17 | 99,7 |
| 5а | 9,6 | 1,65 | 26,85 | 42,88 | 0,16 | 1,92 | 7,9 | 4,38 | 3,76 | 0,39 | 10,87 | 0,666 | 0,197 | 99,5 |
| 7а | 10,73 | 1,52 | 26,61 | 40,29 | 0,62 | 1,22 | 4,17 | 4,17 | 10,08 | 0,3 | 11,54 | 0,713 | 0,111 | 99,7 |
| 10 | 10,52 | 1,32 | 27,46 | 42,88 | 0,11 | 2,85 | 7,64 | 4,3 | 2,12 | 0,35 | 12,39 | 0,742 | 0,191 | 99,5 |
| 11 | 10,64 | 1,45 | 27,23 | 43,17 | 0,18 | 2,76 | 7,66 | 4,57 | 1,55 | 0,38 | 12,46 | 0,753 | 0,19 | 99,6 |
| 13 | 11,4 | 2 | 21,64 | 33,42 | 0,21 | 2,38 | 8,67 | 3,51 | 16,2 | 0,54 | 12,97 | 0,985 | 0,278 | 100 |
| 17 | 11,17 | 1,34 | 27,93 | 42,08 | 0,12 | 2,92 | 6,65 | 3,35 | 3,72 | 0,32 | 13,09 | 0,771 | 0,169 | 99,6 |
| 17а | 11,65 | 0,95 | 28,78 | 42,01 | 0,19 | 3,25 | 5,92 | 2,98 | 3,6 | 0,27 | 13,8 | 0,789 | 0,151 | 99,6 |
| Среднее содержание на производстве | | | 25,5 | | 0,25 | | | 5 | | | | | | |

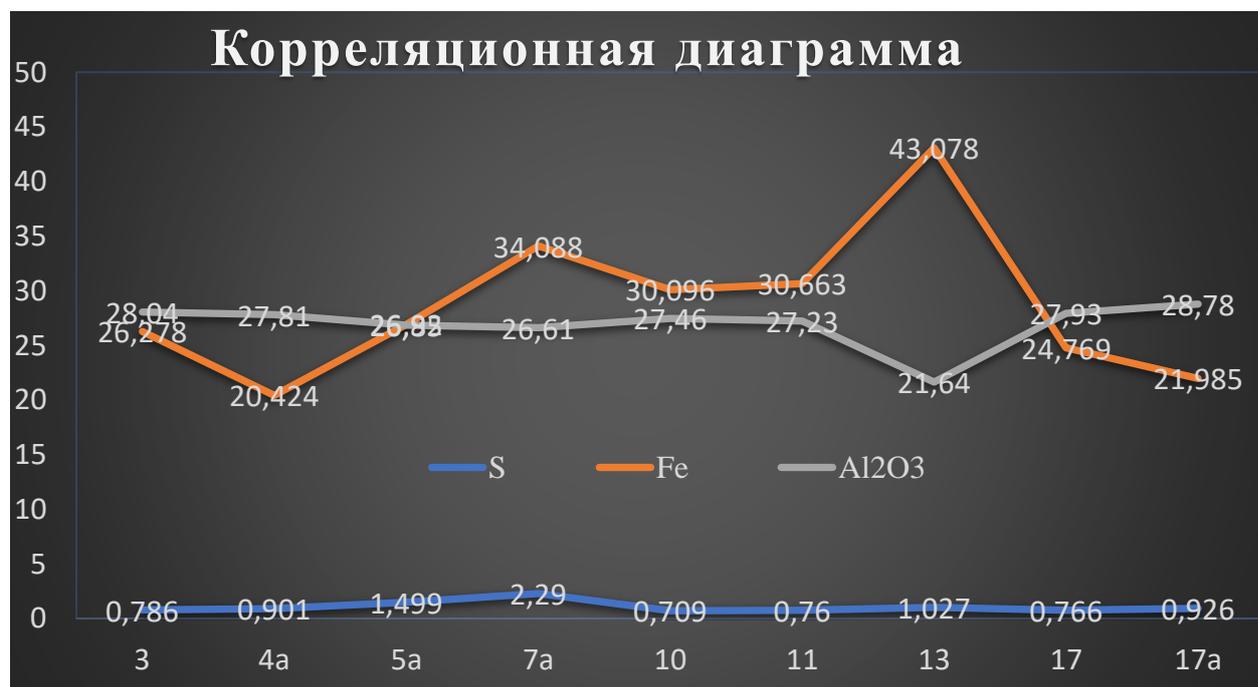


Рис.3.57 – Корреляционная диаграмма содержания S, Fe, Al₂O₃

Вывод: учитывая, что содержания S и Fe выше их кларка, устанавливается, что присутствие серы и железа в рудах занижает долю глинозёма [2,3,4].

Таблица 3.14 – Схема минералообразования в уртигах

| Минералы | Этапы | | | | |
|---|------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------|
| | Магматический | | Гидротермальный | | |
| | стадии | | | | |
| | Нефелин-плагиоклазовая | Титаномагнетит-гематитовая | Пирит-графитовая | Кобальтин- никелиновая | |
| Нефелин | █ | | | | |
| Титан-авгит | █ | | | | |
| Плагиоклаз | █ | | | | |
| Апатит | █ | | | | |
| Титаномагнетит | | █ | | | |
| Ильменит-1 | | █ | | | |
| Ильменит-2 | | █ | | | |
| Гематит | | █ | | | |
| Пирротин | | █ | | | |
| Пентландит | | █ | | | |
| Пирит-1 | | | █ | | |
| Марказит | | | █ | | |
| Пирит-2 | | | █ | | |
| Халькопирит | | | █ | | |
| Арсенопирит | | | █ | | |
| Графит | | | █ | | |
| Кобальтин | | | | █ | |
| Электрум | | | | █ | |
| Герсдорфит | | | | █ | |
| Гессит | | | | █ | |
| Никелин | | | | █ | |
| Форма проявления минеральных ассоциаций | Зернистые | Зернистые | Зернистые, полосчатые | Прожилки, зернистые зональные | Линзы |
| РН, среда | Основная | | Кислая | Основная | Кислая |

3.2.2.4. Скарны

На контакте с образованиями Кия-Шалтырской интрузии усть-кундатской свиты образуются скарны. Ширина зон скарнирования - от первых сантиметров до 10-15 (чаще 1-5) метров.

Скарны и скарнированные породы характеризуются серой, зеленовато-серой, грязно-зеленой окраской различной интенсивности. Нередко они полосчатые, что отражает первичную текстуру исходной породы. Минеральный состав породы непостоянный как по минеральным ассоциациям, так и по их количественным соотношениям. Мощность приконтактовых скарнов колеблется от первых миллиметров до 5-10, реже 15-20 метров, а скарнированных пород достигает до 50-100 м. В целом состав скарнов практически не отличается от состава скарнов, связанных с пойкилитовыми габброидами, исключая отсутствие нефелина. В них чаще преобладает везувиан (до 80%), обыден диопсид (до 25%), клиноцоизит (до 40%), гранат (ед. зерна-30%), кальцит, сульфиды [1].



Рис.3.58 – Скарн. Образец 4. Горизонт 700м

Рудная минерализация

В исследуемых образцах скарнов выделяются следующие рудные минералы: титаномагнетит ($\text{Fe}(\text{FeTi})_2\text{O}_4$)-1% пирротин ($\text{Fe}_{x-1}\text{S}_x$)-2%, пирит (FeS_2)-0,2%, ильменит (FeTiO_3)-0,5% магнетит (FeFe_2O_4)-0,1%, гематит (Fe_2O_3)-0,1%, графит(C)-0,5%, халькопирит (CuFeS_2)-0,05%, арсенопирит (FeAsS)-0,05% , кобальтин (CoAsS)-0,1%, никелин (NiAsS)-0,01%, леллингит (FeAs_2)-0,01%, герсдорфит (NiAsS)-0,01% пентландит (Fe, Ni, Co) $_9\text{S}_8$ -0,01%, гессит (Ag_2Te)-0,01%, электрум (Au, Ag)-0,01%, фазы палладия, т.е. полярит (PdBi), садбериит (PdSb)-0,01%, джерфшерит $\text{K}_6(\text{Fe, Cu, Ni})_{24}\text{S}_{26}\text{Cl}$ -0,1% и цумоит (BiTe)-0,01%, глаукодот-0,1%.

Оксиды

Титаномагнетит $\text{Fe}(\text{Fe,Ti})_2\text{O}_4$ – присутствует в скарнах в виде включений в нефелинах с реликтовой структурой распада в центральной части, а по краям с пластинками ильменита. Местами в магнетитовой части наблюдается гематит.

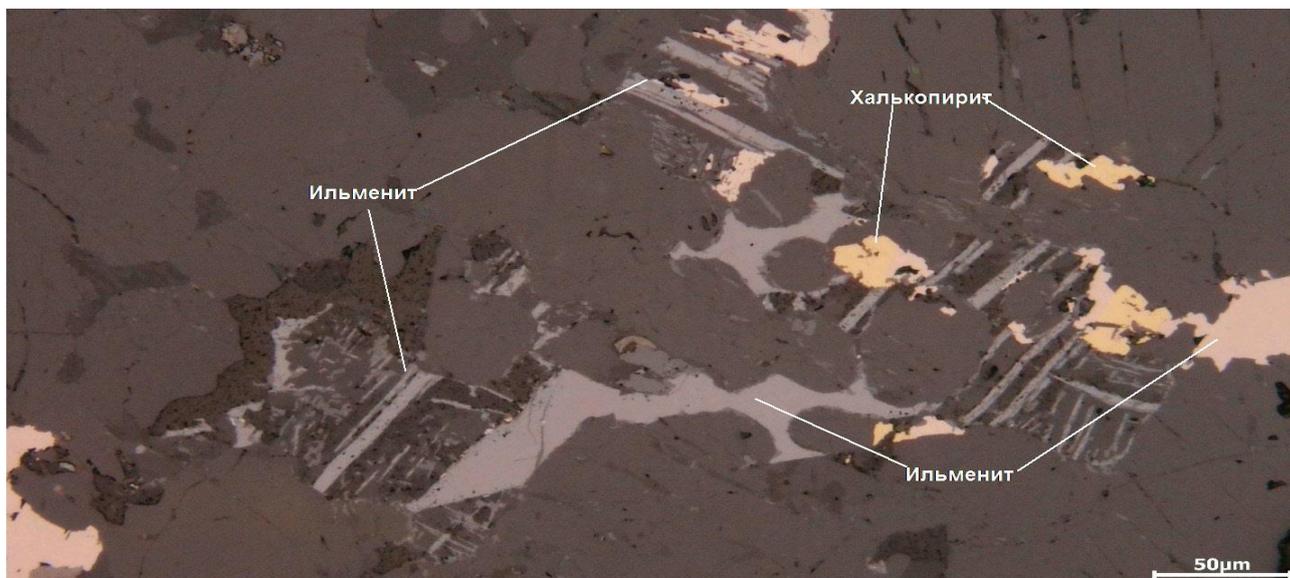


Рис.3.59 – Структура распада титаномагнетита. Анш. 2. Горизонт 600м

Сульфиды

Пирротин ($\text{Fe}_{x-1}\text{S}_x$) – представляет большой интерес, т.к. в нем обнаружено золото. Размеры зерен пирротина разнообразны - до первых мм; структура сидеронитовая.

Пирит (FeS_2) – в скарнах образуется по краям пирротина, т.е. является вторичным, в виде удлинённых зерен (рис. 3.60).

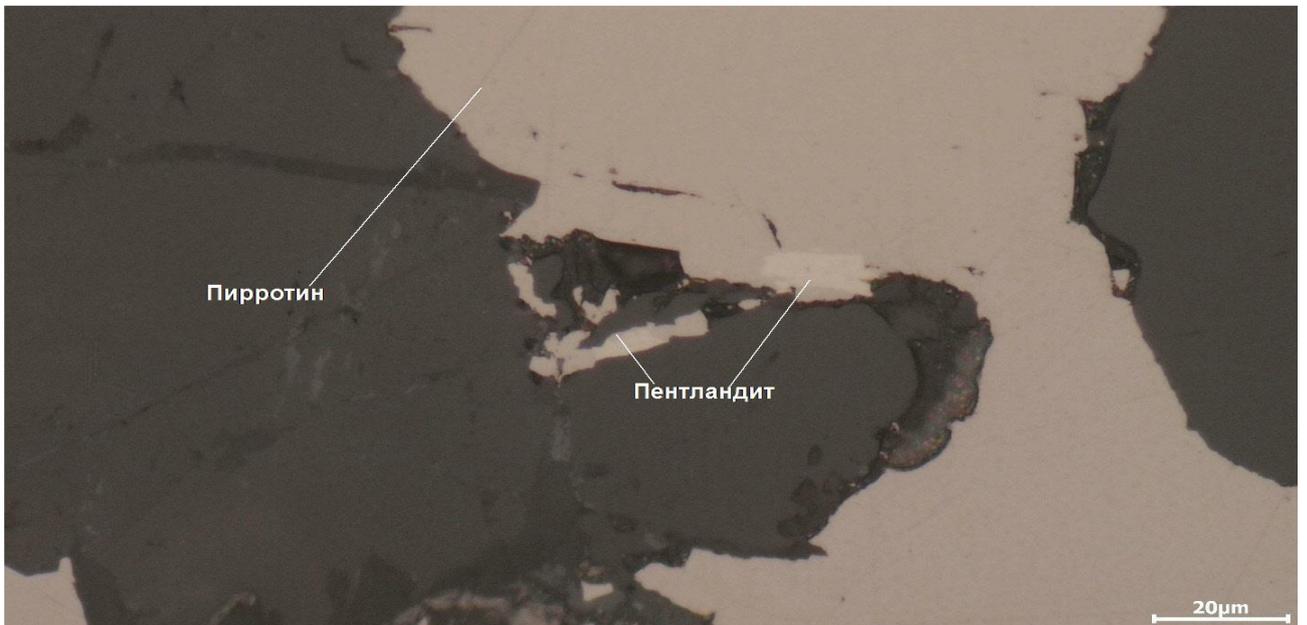


Рис.3.60 – Пентландит развивается по краям пирротина. Анш. 2. Горизонт 600м.

Пентландит $(Fe,Ni,Co)_9S_8$ – Минерал значительно распространен, но крупных выделений не образует. Ассоциирует с агрегатами пирротина, в составе которого образует пламенивидные зерна за счет распада твердого раствора (рис.3.61). Размеры выделений до 1мм.



Рис. 3.61 – Мелкие выделения пентландита в пирротине. Отраженный свет. Анш. 2. Горизонт 600м

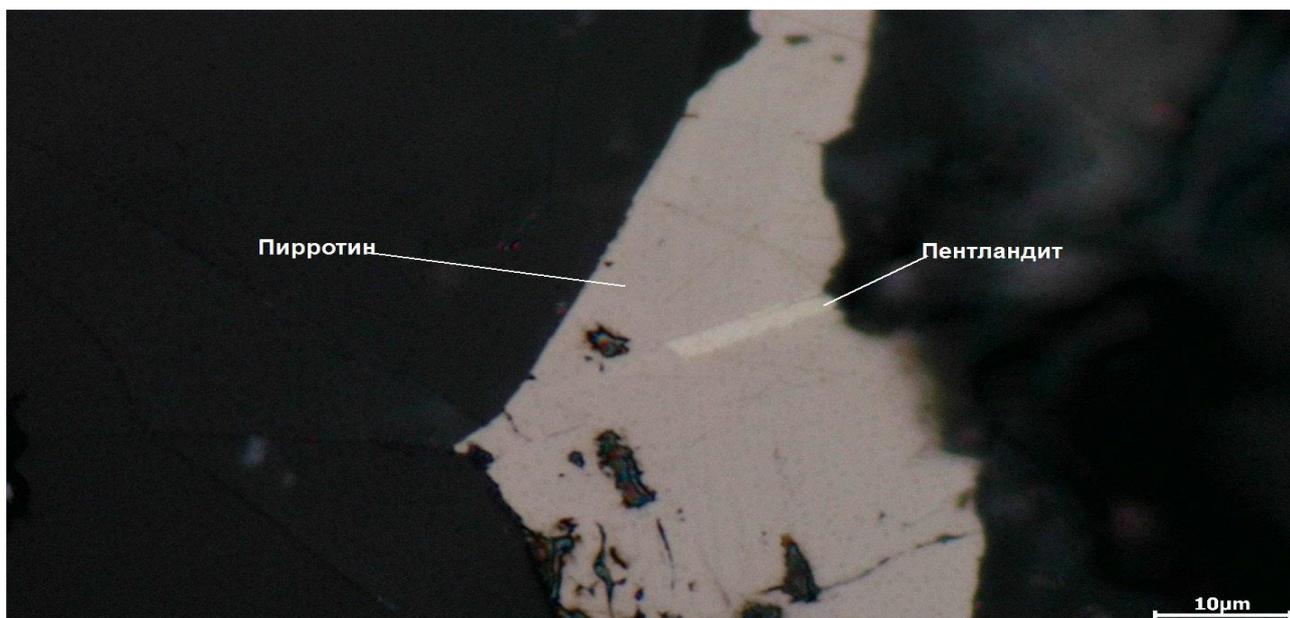


Рис.3.62 – Включение пентландита в пирротине. Анш. 2. Горизонт 600м

Сфалерит ZnS – редкий минерал, выделяется мелкими зернами до 0,1мм в интерстициях пирротина вместе с халькопиритом.

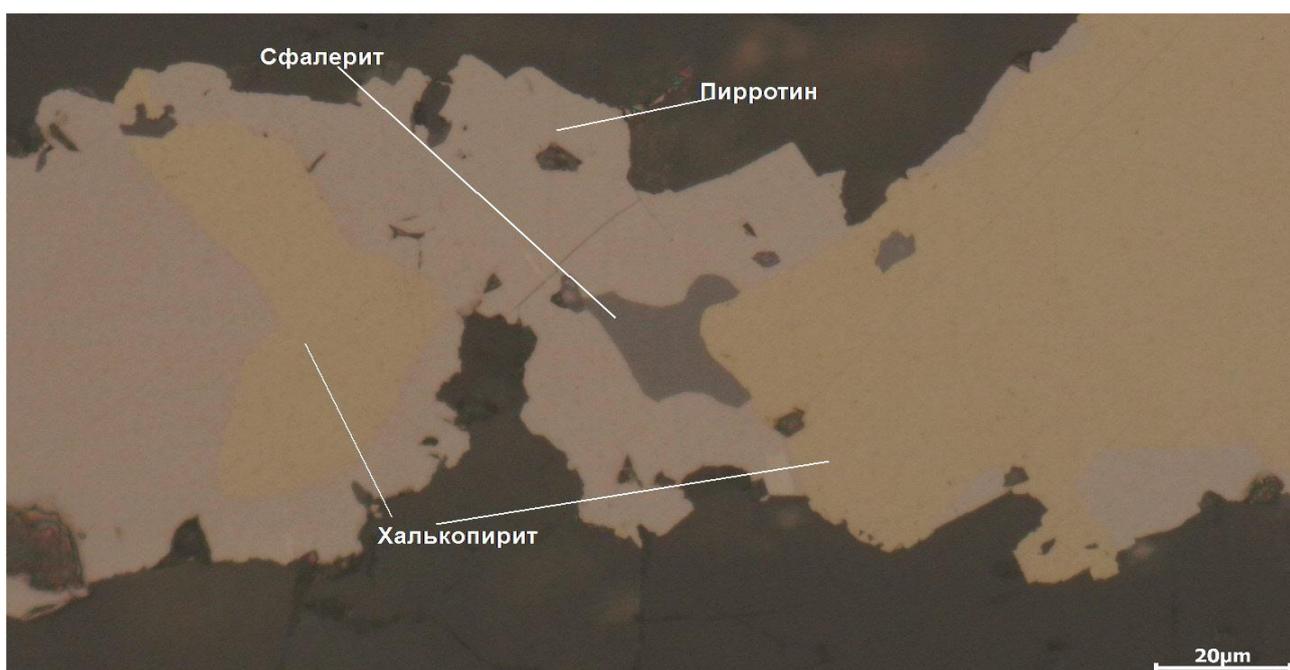


Рис.3.63 – Сфалерит по краю халькопирита. Анш. 2. Горизонт 600м

Галенит PbS – Относится к малораспространенным минералам. Минерал обнаружен в аншлифе №2. Микронное (размером 2,7x3,1мкм) зерно галенита выявлено на краю мелкого зерна пирротина, расположенном в нерудной массе (рис.3.64).

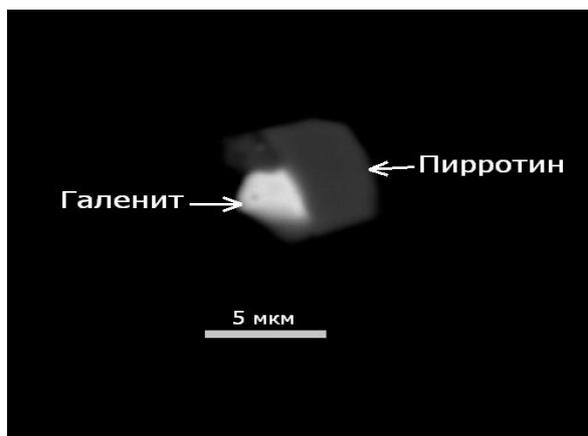


Рис.3.64 – Микронное зерно галенита в сростании с пирротинном. Обратнорассеянные электроны. Анш. 2. Горизонт 600м

Таблица.3.15 – Химический состав галенита

| Аншлиф | Спектр | Содержания, мас.% | | | Сумма | Формула |
|--------|--------|-------------------|------|-------|-------|--------------------------------------|
| | | S | Se | Pb | | |
| 2 | 37 | 15,76 | 0,00 | 84,24 | 100 | Pb _{0,94} S _{1,06} |

Теллуры

Гессит Ag₂Te – Минерал выявлен в виде нескольких микронных зерен. Был обнаружен в аншлифе №2 в составе пирротина в виде единичного зерна размером 2x4мкм (рис. 3.65). Остальные находки связаны только с арсенидами и сульфоарсенидами.

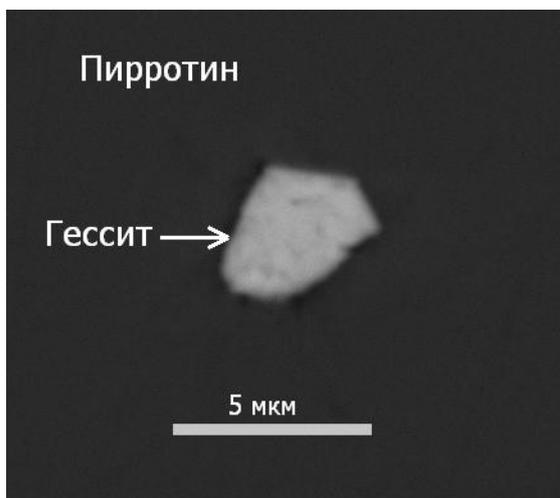


Рис.3.65 – Мелкое зерно гессита в пирротине. Фото в обратнорассеянных электронах. Анш. 2. Горизонт 600м

Таблица.3.16 – Химический состав гессита

| Аншлиф | Спектр | Содержания, мас. % | | Сумма | Формула |
|--------|--------|--------------------|-------|--------|---------------------------------------|
| | | Ag | Te | | |
| 2 | 18 | 62,26 | 37,74 | 100 | Ag _{1,98} Te _{1,02} |
| 2 | 19 | 63,05 | 38,09 | 101,14 | Ag _{1,99} Te _{1,01} |

Диарсениды

Леллингит FeAs₂ – Минерал встречается практически только внутри кристаллов кобальтина или герсдорфита в виде мелких реликтов, не до конца замещенных (рис. 3.66).

Химический состав леллингита характеризуется значительным содержанием кобальта и никеля, что подтверждает наличие непрерывного изоморфизма между леллингитом и саффлоритом (Справочник..., 1988).

Таблица.3.17 – Химический состав леллингита

| Аншлиф | Спектр | Содержания, мас.% | | | | | | Сумма | Формула |
|--------|--------|-------------------|-------|-------|------|-------|-----|-------|---|
| | | S | Fe | Co | Ni | As | Sb | | |
| 2 | 47 | 0,70 | 13,64 | 11,29 | 3,27 | 71,10 | 0,0 | 100,0 | (Fe _{0,50} Co _{0,39} Ni _{0,11}) _{1,01} (As _{1,95} S _{0,04}) _{1,9} |
| 2 | 48 | 0,92 | 13,39 | 11,83 | 3,20 | 70,66 | 0,0 | 100,0 | (Fe _{0,49} Co _{0,41} Ni _{0,11}) _{1,01} (As _{1,93} S _{0,06}) _{1,99} |

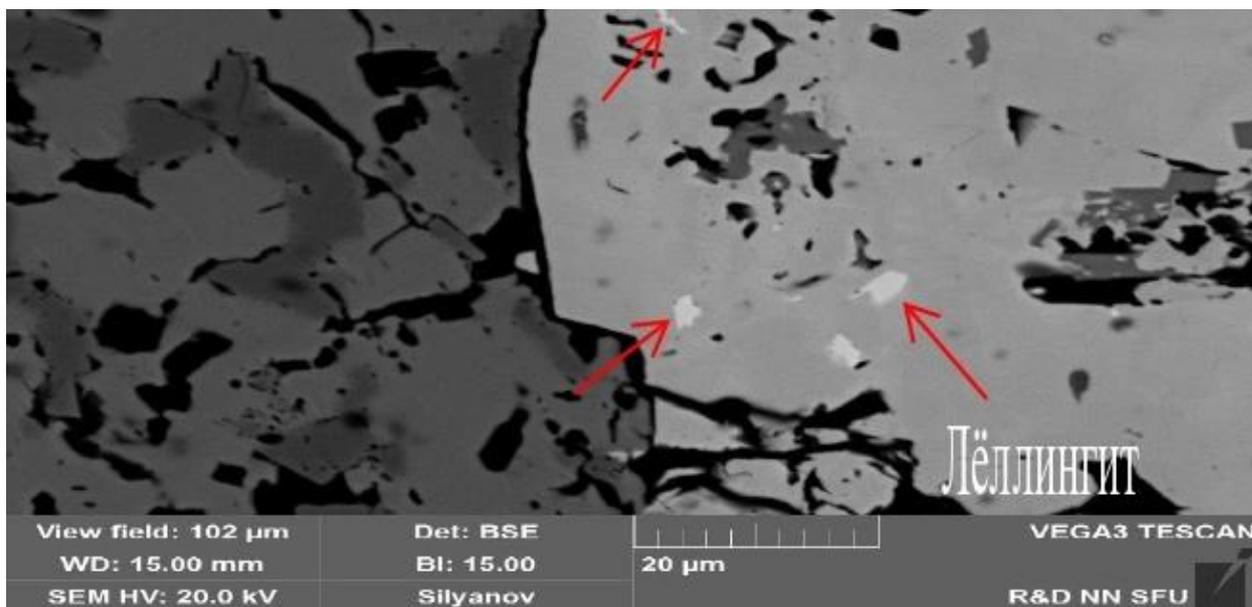


Рис.3.66 – Лёллингит. Обратнo-рассеянные электроны. Анш. 2. Горизонт 600м

Сплавы, самородные элементы

Электрум (Au, Ag) – Сплав золота и серебра в составе сульфидной минерализации Кия-Шалтырского месторождения был обнаружен в образце № 2. Во всех исследованных случаях благороднометальная минерализация была связана с сульфоарсенидами и арсенидами кобальта и никеля (рис.3.67).

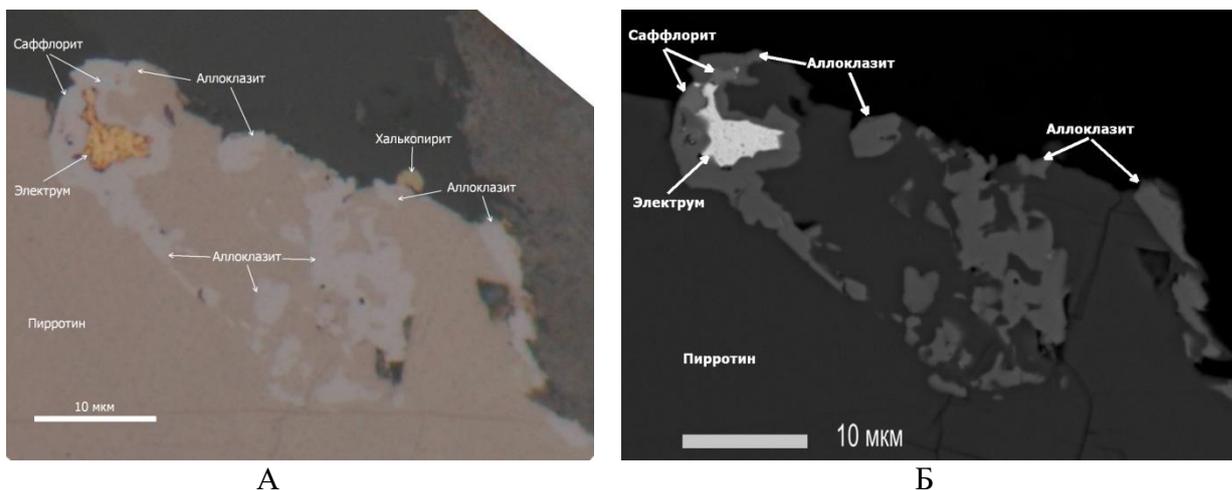


Рис.3.67 – Включение самородного золота в арсенидах и сульфоарсенидах кобальта и никеля. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны.

Анш. 2. Горизонт 600м

В составе аншлифа №2 минерал состава электрум имеет тесное срастание с мелкими зернами саффорита, который, в свою очередь, располагается в окружении агрегатов аллоклазита. Размеры зерна электрума в этом образце составляют 6,9х8,1мкм. Содержание серебра в этом зерне составляет, в среднем, 37,53% (таблица 3.18, анш. 2) [2,3,6,7,8].

Таблица 3.18 – Химический состав сплава золота и серебра в скарне

| №№ п/п | Аншлиф | Спектр | Содержания, мас. % | | Сумма | Проба |
|-----------|--------|--------|--------------------|-------|--------|-------|
| | | | Ag | Au | | |
| 1 | 2 | 1 | 36,74 | 65,35 | 102,09 | 640‰ |
| 2 | 2 | 2 | 39,63 | 59,32 | 98,95 | 599‰ |
| 3 | 2 | 3 | 36,23 | 61,92 | 98,16 | 631‰ |
| Среднее | | | 37,53 | 62,20 | 99,73 | 623‰ |

Графит (C) – образует пластинки и зональные зерна, обрастая пирротин.

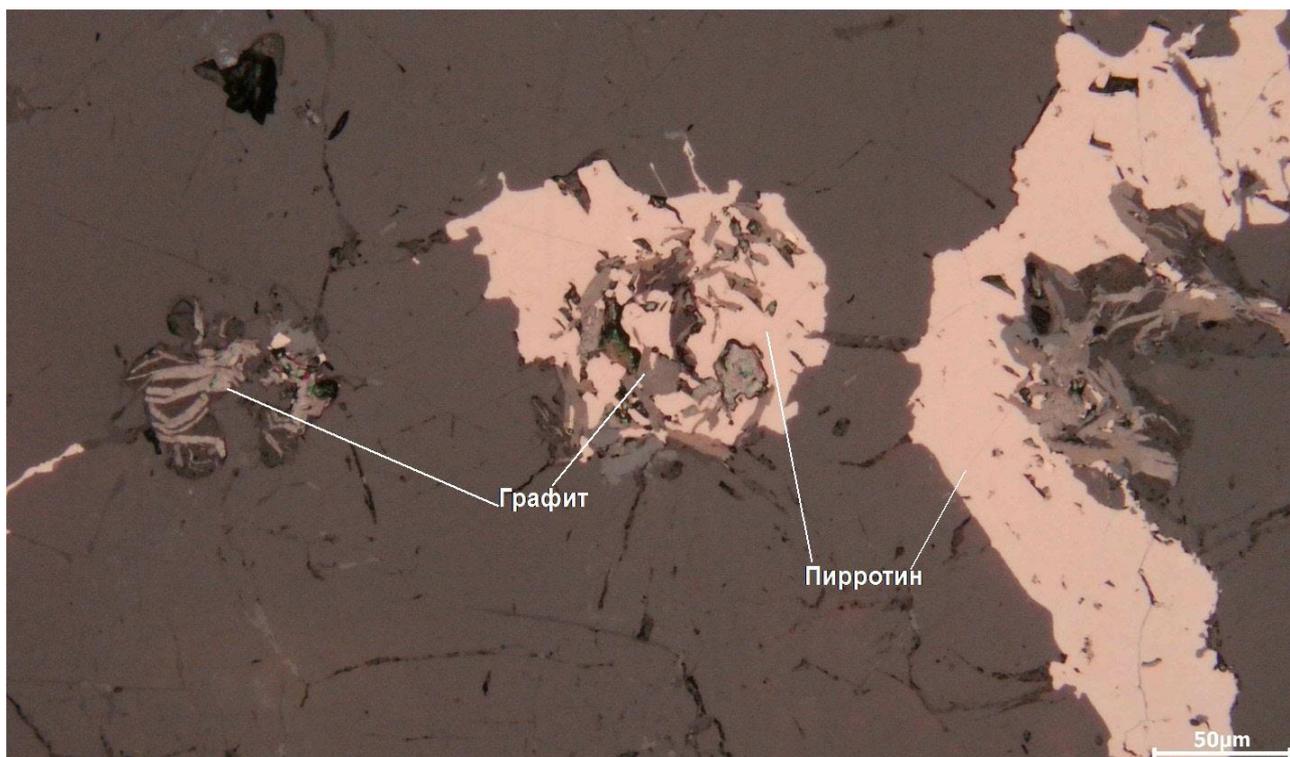


Рис.3.68 – Графит развивается в пирротине. Анш. 2. Горизонт 600м

Фазы палладия

Минералы палладия обнаружены в сульфидных скоплениях Кия-Шалтырского месторождения впервые. В аншлифе 10-3, отобранном из метасоматитов, был выявлен минерал садбериит.

Садбериит PdSb – Редкий минерал сульфидного комплекса. Обнаружен в составе агрегата аллоклазита в сростании с галенитом (рис.3.69 А). Кроме галенита и садбериита, в аллоклазите присутствуют мелкие реликты пирротина и леллингита (см. рис. 3.69. Б). В свою очередь, скопления аллоклазитовых зерен и сростков располагаются в агрегате пирротина.

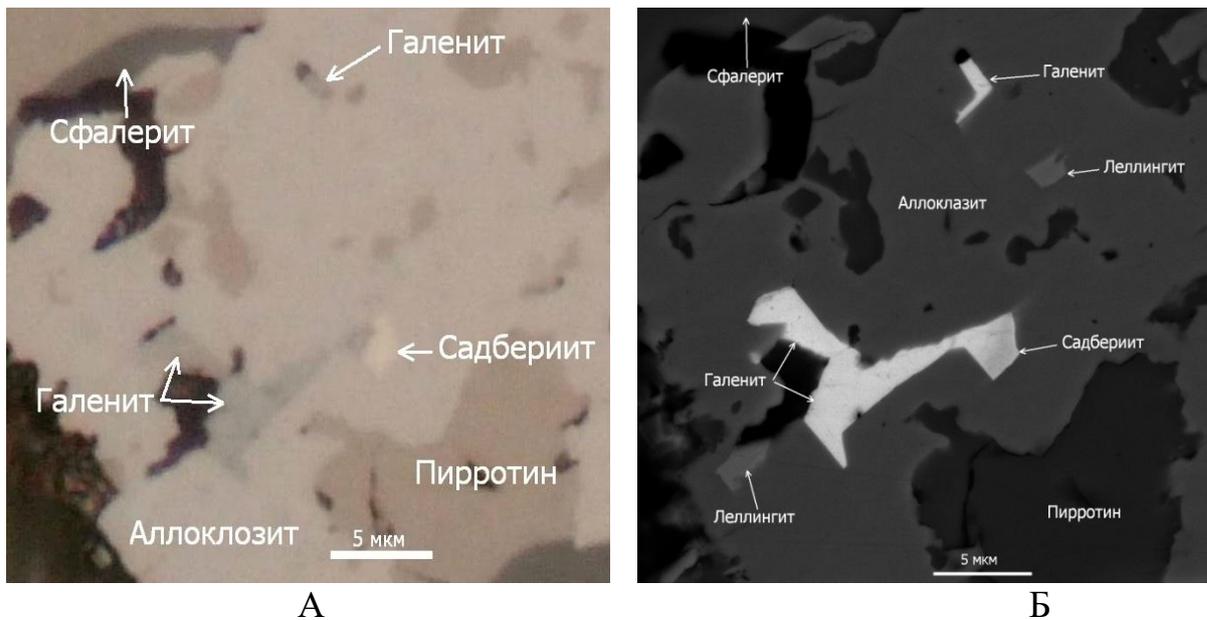


Рис.3.69 – Зерно садбериита в срastании с галенитом в агрегате аллоклазита. А – отраженный свет. Б – обратно-рассеянные электроны. Анш. 10-3. Горизонт 720м

Судя по взаимоотношениям, предполагается, что галенит замещает зерно садбериита. Размеры зерна садбериита крайне малы и составляют 1,8x3,5мкм. В составе садбериита отмечается достаточно значительная (до 11,9мас. %) примесь висмута. Несмотря на это, результаты анализов достаточно хорошо пересчитываются на теоретическую формулу минерала (таблица 3.19.).

Таблица 3.19 – Химический состав садбериита

| Аншлиф | Спектр | Содержания, мас. % | | | | Сумма | Формула |
|--------|--------|--------------------|-------|-------|----|-------|--|
| | | Pd | Bi | Sb | Pb | | |
| 10-3 | 150 | 44,62 | 9,69 | 45,69 | - | 100,0 | $Pd_{1,00}(Sb_{0,89}Bi_{0,11})_{1,00}$ |
| 10-3 | 154 | 45,30 | 11,90 | 42,80 | - | 100,0 | $Pd_{1,02}(Sb_{0,84}Bi_{0,14})_{0,98}$ |

Таблица 3.20 – схема минералообразования в скарнах

| Минералы | Этапы | | | |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | Магматический | Контактово-метасоматический | Гидротермальный | Вторичные изменения |
| | стадии | | | |
| | Нефелин-плагиоклазовая | Титаномагнетит-гематитовая | Пирит-халькопиритовая | Кобальтин-никелиновая |
| | | | | Графитовая |
| Нефелин | ■ | | | |
| Титан-авгит | ■ | | | |
| Плагиоклаз | ■ | | | |
| Апатит | ■ | | | |
| Титаномагнетит | | ■ | | |
| Ильменит-1 | | ■ | | |
| Ильменит-2 | | ■ | | |
| Магнетит | | ■ | | |
| Гематит-1 | | ■ | | |
| Пирротин | | ■ | | |
| Пентландит | | | ■ | |
| Пирит-1 | | | ■ | |
| Марказит | | | ■ | |
| Пирит-2 | | | ■ | |
| Халькопирит | | | ■ | |
| Кобальтин | | | ■ | |
| Арсенопирит | | | ■ | |
| Герсдорфит | | | ■ | |
| Гессит | | | ■ | |
| электрум | | | ■ | |
| Никелин | | | ■ | |
| Графит | | | | ■ |
| Форма проявления ассоциаций | Зернистые | Зернистые, полосчатые | Прожилки, зернистые зональные | Линзы |
| РН, среда | Основная | Кислая | | |

3.2.3. Диаграммы распределения сульфоарсенидов, диарсендов и распространённость минералов в породах

С результатами анализов спектров минералов в разных типах пород была построена диаграмма по содержанию минералов сульфоарсенидов и диарсенидов для сравнения с результатами ранее проведенных работ Сазоновым, А. М. более 20 лет назад [3]. По экспериментальным данным, были определены температуры образования габбро, йиолитов, уртитов и скарнов по содержаниям в них сульфоарсенидов и диарсенидов. [8]

3.2.3.3. Сульфоарсениды

Группа кобальтин CoAsS – арсенопирит FeAsS – герсдорфит NiAsS .

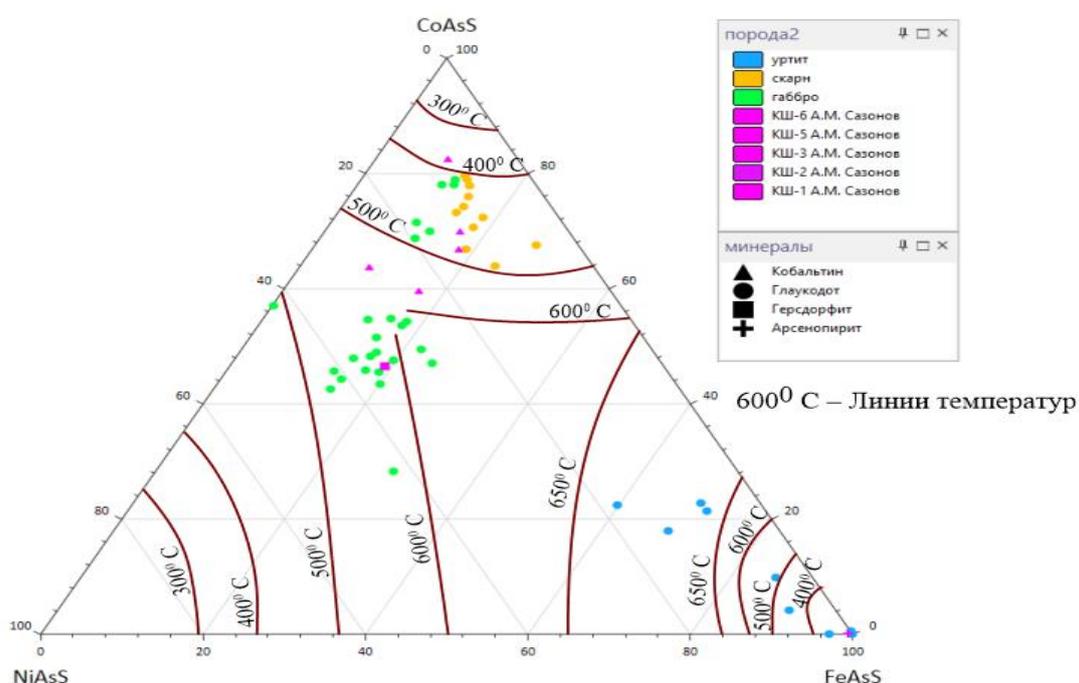


Рис.3.70 – Диаграмма распределения сульфоарсенидов в габбро, скарнах и уртитах. Температурные линии приведены по экспериментальным работам [6,7,8].

Выводы

В уртитах с повышением содержания кобальта и никеля в сульфоарсенидах, растёт температура минералообразования до 650°C .

Данная группа минералов в уртитах располагается локально и отделена от других типов пород высоким содержанием (от 70%) минала арсенопирита.

В скарнах сульфоарсениды образуют локальную группу в интервале от 60 до 80% минала кобальтина с температурой образования в интервале $400-500^{\circ}\text{C}$.

В габбро нижних горизонтов массива, сульфоарсениды распределены менее равномерно и характеризуются повышенным содержанием минала

герсдорфита (повышенной никеленностью), в отличие от данных Сазонова А.М. [3].

Исходя из линий температур, нанесенных согласно экспериментальным работам, выясняется, что уртиты самые высокотемпературные; температура их образования находится в интервале от 300 до 650⁰ С. Температуры образования скарнов и габбро находятся в интервале от 400 до 600⁰ С. В целом полученные авторские данные хорошо соответствуют данным Сазонова А.М. [3,6,7,8].

3.2.3.4. Диарсениды

Группа саффролит $CoAs_2$ – лёллингит $FeAs_2$ – раммельсбергит $NiAs_2$.

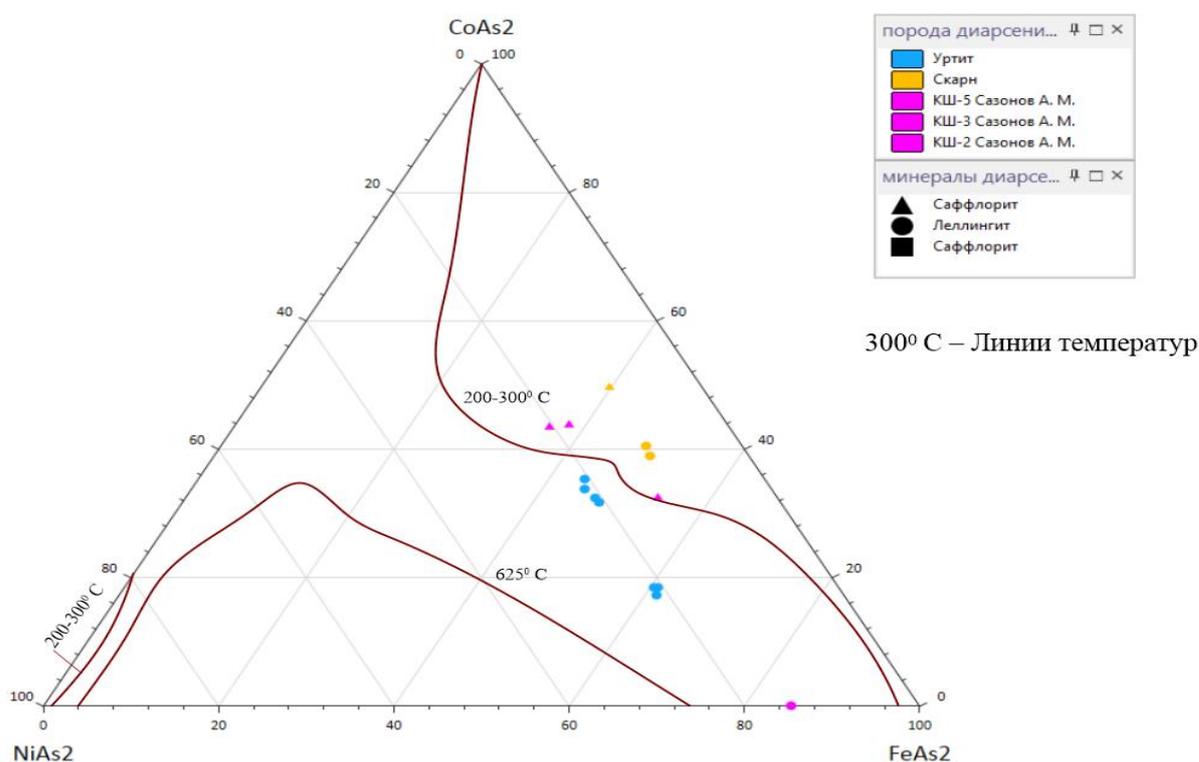


Рис.3.71 – Диаграмма распределения диарсенидов в скарнах и уртитах. Температурные линии даны по экспериментальным работам [8].

Выводы

В уртитах и скарнах картина распределения арсенидов аналогично, но, отличаются по следующим параметрам:

- по содержанию для уртитов от 40% до 60% минала лёллингта, для скарнов от 40% до 50%.

По содержанию минала саффорита до 30% в уртитах, а в скарнах на 10% больше.

Исходя из линий температур, нанесенных согласно [6,7,8]: выясняется, что уртиты самые высокотемпературные, температура их образования от 200-300⁰ С до 625⁰ С. Температура образования скарнов колеблются до 200-300⁰ С.

В целом сопоставление данных автора и полученных Сазоновым. А.М. находится на одном уровне. [3,6,7,8]

| Минералы | | | породы | | | | | | | |
|----------|----------------|--|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|
| № П/П | Название | формулы | Габбро | | Уртиты | | Йиолит | | Скарны | |
| | | | Этап | Распространённость, % | этапы | Распространённость, % | Этапы | Распространённость, % | Этапы | Распространённость, % |
| 1 | Титаномагнетит | Fe(FeTi) ₂ O ₄ | А | 1,5 | А | 2,0 | А | 2,0 | А | 1,5 |
| 2 | Ильменит-2 | FeTiO ₃ | А | 0,1 | А | 0,1 | А | 0,1 | Б | 0,5 |
| 3 | Гематит-1 | Fe ₂ O ₃ | А | 0,1 | А | 0,1 | А | 0,05 | Б | 0,1 |
| 4 | Гематит-2 | Fe ₂ O ₃ | А | 0,1 | А | 0,2 | А | 0,05 | Б | 0,1 |
| 5 | Магнетит | FeFe ₂ O ₄ | А | 0,1 | А | 0,1 | А | 0,01 | Б | 0,1 |
| 6 | Пирротин | Fe _{x-1} S _x | А | 2 | А | 1,5 | А | 1,2 | Б | 2 |
| 7 | Пентландит | (Fe, Ni, Co) ₉ S ₈ | А | 0,01 | А | 0,1 | А | 0,05 | Б | 0,1 |
| 8 | Пирит-1 | FeS ₂ | С | 0,1 | Б | 0,2 | Б | 0,2 | Б | 0,1 |
| 9 | Марказит | FeS ₂ | С | 0,01 | Б | 0,01 | Б | 0,01 | Б | 0,01 |
| 10 | Пирит-2 | FeS ₂ | С | 0,1 | Б | 0,2 | Б | 0,2 | Б | 0,1 |
| 11 | Халькопирит | CuFeS ₂ | С | 0,05 | Б | 0,1 | Б | 0,05 | Б | 0,1 |
| 12 | Арсенопирит | FeAsS | С | 0,01 | Б | 0,01 | Б | 0,01 | Б | 0,02 |
| 13 | Галенит | PbS | С | 0,01 | Б | 0,01 | | | Б | 0,01 |
| 14 | Сфалерит | ZnS | С | | Б | | Б | 0,01 | Б | 0,01 |
| 15 | Графит | С | С | 0,5 | Б | 0,3 | Б | 0,8 | Б | 0,2 |
| 16 | Кобальтин | CoAsS | С | 0,1 | С | 0,02 | С | 0,01 | С | 0,01 |
| 17 | Электрум | Au, Ag | С | 0,01 | | | | | С | 0,01 |
| 18 | Герсдорфит | NiAsS | С | 0,1 | С | 0,01 | С | 0,01 | С | 0,01 |
| 19 | Гессит | Ag ₂ Te | С | 0,01 | С | 0,01 | С | 0,01 | С | 0,05 |
| 20 | Никелин | NiAsS | С | 0,01 | | | С | 0,01 | С | 0,01 |
| 21 | Лёллингит | FeAs ₂ | С | 0,01 | С | 0,01 | | | С | 0,01 |
| 22 | Сафлорит | CoAs ₂ | | | | | | | С | 0,01 |
| 23 | Аллоклазит | (Co, Fe) AsS | | | | | | | С | 0,1 |
| 24 | Кубанит | CuFe ₂ S ₃ | С | 0,01 | | | | | | |
| 25 | Глаукодот | (Co, Fe) AsS | С | 0,1 | | | | | | |
| 26 | Садберит | PdSb | С | 0,01 | | | | | С | 0,01 |
| 27 | Полярит | PdBi | С | 0,01 | | | | | С | 0,01 |
| 28 | Молибденит | MoS ₂ | | | С | 0,005 | | | | |
| 29 | Цумоит | BiTe | С | 0,01 | | | | | | |
| 30 | Джерфшерит | K ₆ (Fe, Cu, Ni) ₂₄ S ₂₆ Cl | С | 0,01 | | | | | | |

А – магматический этап

Б – Контактново-метасоматический этап

С – Гидротермальный этап

Рис.3.72 – распространённость минералов в типах пород

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы была охарактеризована геология Кия-Шалтырского массива свойства, по которым он заинтересовал ученых. Были перечислены кондиционные параметры многократных разведок, охарактеризованы стратифицированные и интрузивные образования, а также предложена последовательность образования самого массива вместе с своими комплексами.

Строение Кия-Шалтырского массива относится ко второй категории сложности, что указывает на наличие неоднородности в рудном теле.

Неоднородность обусловлена наличием, во-первых, интрузивных образований, например дайки разных составов, прорывающие рудное тело во всех направлениях, а во-вторых, неравномерным распределением глинозёма в рудном теле. В связи с этим установлена дифференциация первоначальной щелочно - базальтовой магмы, а затем внутриочаговая дифференциация.

Вторичные изменения (сульфидизация, сканирование, ороговикование, графитизация), процессы внедрения по разломам, зонам трещиноватости и раздробленным зонам служат источником внедрения вместе и распределения сульфидов в пределах массива.

Рудные минералы, например сульфиды, макроскопически встречаются во всех интрузивных породах массива, в том числе в дайках.

По анализам типов пород, выяснилось, что, рудные присутствуют и оказывают влияние на долю глинозёма в уртитях. Построенные нами диаграммы показывают, что рост содержания серы и железа занижает содержание глинозёма.

Рудные минералы делятся на раннемагматические и постмагматические ассоциации:

Раннемагматические (титаномагнетит, ильменит, магнетит и гематит) сформированные распадом твердого раствора титаномагнетитового состава.

Постмагматические (пирротин, пентландит, халькопирит, пирит, сфалерит и др.) сформировались в результате ликвации расплава на силикатную и сульфидную фацию. Они широко распространены в магматических, сканированных вмещающих толщах в виде вкрапленников.

В результате анализов типов пород, были обнаружены многие разные рудные минералы, из которых заинтересовали сульфиды источники благородных металлов как золото, серебро, минералы палладия.

Выяснилось, что, в скарнах и габброидах большие концентрации сульфидных минералов.

Показания позволяют сделать о возможной попутной добычи этих благородных элементов взяв в пример месторождение Лулекоп с содержанием 7мг / т золота, которое добывается попутно.

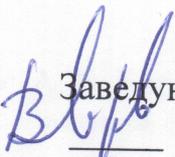
По химическим анализам были построены диаграммы сульфоарсенидов и диарсенидов которые позволили экспериментальным путем определить температуру образования габбро, скарнов, уртитов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР

1. Барсегян В.Е., Голубев А.В. и др. Кия-Шалтырское месторождение нефелиновых руд: отчет о доразведке в 2009-2012 гг. с подсчетом запасов по состоянию на 01.01.2011 г. технический проект по состоянию на 01.01.2011 г. – Красноярск, 2012. – 234 с
2. Егоров В.К., Новиков Г.В., Соколов Ю.А. пирротины – г. Москва, 1988 г., 184 стр.
3. Сазонов А.М., О.М. Гринев, Леонтьев С.И., Звягина Е.А., В.С., Чекушин М.Я. Бетхер/ Геология и золотоплатиноносность нефелиновых пород Западной Сибири. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2000. – 248 с.
4. Сазонов А.М., Гринев О.М., Шведов Г.И., Сотников В.И. Нетрадиционная платиноидная минерализация Средней Сибири. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 148с.
5. Тихонов А.А., Ляхова Н.Е., Копанцева Г.Д. Технический проект на разработку кия-Шалтырского месторождения нефелиновых руд – том 1
6. Gervilla F., Ronsbo J. New data on (Ni, Fe, Co) diarsenides and sulfarsenides in chromite-niccolite ores from the Malaga Province, Spain. - Neues Jahrbuch für Mineralogie. Monatsh. 1992. H.5. S. 193-206.
7. Gervilla F., Leblanc M., Torres-Ruiz J., Hach-Ali P.F. Immiscibility between arsenide and sulphide melts: A mechanism for the concentration of noble metals. - Canadian Mineralogist. 1996. Vol. 34, p. 3. P. 485-502.
8. Klemm D. Synthesen und Analysen in den Dreiecksdiagrammen FeAsS-CoAsS-NiAsS und FeS₂-CoS₂-NiS₂. - Neues Jahrbuch für Mineralogie. Abhandlungen. 1965. Bd. 103, H.3.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов
институт
Геологии месторождений и методики разведки
кафедра

 УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.А. Макаров
подпись инициалы, фамилия
«15» 06 2024 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

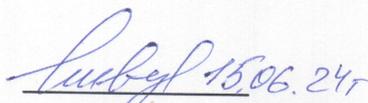
21.05.02. Прикладная геология
код и наименование специальности

21.05.02.01 Геологическая съёмка, поиски и разведка месторождений
полезных ископаемых
код и наименование специализации

Рудная минерализация интрузивных пород Кия-Шалтырского месторождения
тема

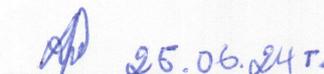
Пояснительная записка

Руководитель


подпись, дата

Г. И. Шведов
инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

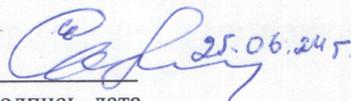
Л. Т. Кулему
инициалы, фамилия

Красноярск 2024

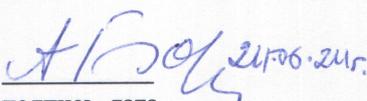
Продолжение титульного листа ДР по теме: «Рудная минерализация интрузивных пород Кия-Шалтырского месторождения»

Консультанты по
разделам:

Геологическая часть
наименование раздела


подпись, дата 25.06.2024 г. А. М. Сазонов
инициалы, фамилия

Геоинформатика
наименование раздела


подпись, дата 21.06.2024 г. А. Б. Бородушкин
инициалы, фамилия

Нормоконтролер


подпись, дата 21.06.2024 г. М.Н. Киселева
инициалы, фамилия