

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

Институт горного дела, геологии и геотехнологий

институт

Геологии месторождений и методики разведки

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.А. Макаров

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2022 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.02 «Прикладная геология»

код и наименование специальности

21.05.02.01 «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений

ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

код и наименование специализации

Геология и платиноносность Аккаргинского месторождения хромитов

(тема)

Пояснительная записка

Выпускник

подпись, дата

М.А. Хитров

инициалы, фамилия

Руководитель

подпись, дата

доцент

должность, ученая степень

Г.И. Шведов

инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Продолжение титульного листа ДР по теме: «Геология и платиноносность Аккаргинского месторождения хромитов».

Консультанты по
разделам:

Геологическая часть
наименование раздела

подпись, дата

Г.И. Шведов
инициалы, фамилия

Специальная часть
наименование раздела

подпись, дата

Г.И. Шведов
инициалы, фамилия

Методическая часть
наименование раздела

подпись, дата

Г.И. Шведов
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

Д.А. Внуков
инициалы, фамилия

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

Институт горного дела, геологии и геотехнологий

институт

Геологии месторождений и методики разведки

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В. А. Макаров

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2022 г.

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

Студенту: Хитрову Михаилу Алексеевичу

Группа: ГГ17-02РМП

Специальность: 21.05.02.01 «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых»

Тема выпускной квалификационной работы: «Геология и платиноносность Аккаргинского месторождения хромитов (Южный Урал)».

Утверждена приказом по университету.

Руководитель ВКР: Г.И. Шведов.

Исходные данные для ВКР: каменный материал по двум производственным практикам, геологический отчет ООО «ГеоТех» о проведенных работах на Аккаргинском месторождении, геологические отчеты ранее проведенных работ.

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР): геологическая часть, специальная часть.

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов: Государственная геологическая карта Российской Федерации издание второе Южно-Уральская серия «Карта дочетвертичных образований», масштаб 1:200000; геологоразведочный план Аккаргинского месторождения, масштаб 1:1000; схематичный геологоразведочный план Главной рудной залежи, северная часть, масштаб 1:200; схематичный геологоразведочный план Главной рудной залежи, центральная часть, масштаб 1:200

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК
выполнения ВКР

| Наименование и содержание этапа (раздела) | Срок выполнения |
|---|-----------------------|
| Геологическая часть | 01.04.2022-02.04.2022 |
| Специальная часть | 02.04.2022-19.06.2022 |

«__» _____ 2022г.

Руководитель ВКР
(подпись)

Г.И. Шведов

Задание принял к исполнению
(подпись)

М.А. Хитров

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Геология и платиноносность Аккаргинского месторождения хромитов (Южный Урал)» содержит 54 страницы текстового документа, 14 использованных источников, 4 листа графического материала.

Геологическое задание, геологическая характеристика района работ, геологическое строение месторождения, методика исследований, минералогия включений, сравнительная характеристика с МПГ аналогами

Объект работ: центральная и северная часть главной рудной зоны Аккаргинского месторождения хромитов.

Цель работы: изучение вещественного состава хромитовых руд на предмет наличия или отсутствия платиноидов, а также установления их минеральной формы залегания.

Содержание

| | |
|--|---|
| РЕФЕРАТ | 6 |
| Список графических приложений | 8 |
| Список текстовых приложений | 9 |
| Список иллюстраций | 10 |
| Список таблиц в тексте..... | 12 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 13 |
| 1. История изучения платиноносности Аккаргинского месторождения..... | 14 |
| 2. Геологическое строение Аккаргинского месторождения | 16 |
| 2.1 Геология района | 16 |
| 2.2 Структурная позиция месторождения..... | 17 |
| 2.3 Форма рудных тел..... | 18 |
| 2.4 Петрография вмещающих пород..... | 18 |
| 2.5 Хромитовые руды | 23 |
| 3. Методика исследований | 31 |
| 4. Минералогия включений..... | 35 |
| 4.1 Оксиды | 35 |
| 4.2 Сульфиды | 36 |
| 4.3 Арсениды | 41 |
| 4.4 Минералы платиновой группы | 42 |
| 4.4.1 Самородные элементы..... | 42 |
| 4.4.2 Сульфиды МПГ | 45 |
| 4.4.3 Сульфоарсениды | 48 |
| 5. Сравнительная характеристика МПГ с аналогами | 49 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | Ошибка! Закладка не определена. 52 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 53 |

Список графических приложений

| Лист | Наименование приложений | Масштаб | Кол-во листов |
|------|--|----------|---------------|
| 1 | Приложение А. Государственная геологическая карта лист М-41-(II), VIII | 1:200000 | 1 |
| 2 | Приложение Б. Геологоразведочный план Аккаргинского месторождения | 1:1000 | 1 |
| 3 | Приложение В. Схематичный геологоразведочный план Главной рудной залежи. Северная часть | 1:200 | 1 |
| 4 | Приложение Г. Схематичный геологоразведочный план Главной рудной залежи. Центральная часть | 1:200 | 1 |

Список текстовых приложений

| № п/п | Наименование приложения | Кол-во страниц |
|-------|---|----------------|
| 1 | Приложение 1. Заказ на исследования от ООО «Аккаргинские хромиты» | 2 |

Список иллюстраций

| № п/п | Наименование рисунка | Стр. |
|-------|---|------|
| 2.1 | Дунит с массивной текстурой, Аккаргинское месторождение | 19 |
| 2.2 | Прожилок серпентинита (светлое) пересекает зерно магнетита (темное). Увеличение 60X | 20 |
| 2.3 | Гарцбургит с псевдопорфировой структурой, Аккаргинское месторождение | 21 |
| 2.4 | Структура дробления оливина. В прожилках серпентинит. Увеличение 60X | 22 |
| 2.5 | Панидиоморфнозернистая структура гарцбургита. Прожилки серпентинита (светло-розовое) в оливиновой массе (темно-серое). Увеличение 60X | 23 |
| 2.6 | Внешний вид рябчиковой хромитовой руды | 24 |
| 2.7 | Внешний вид густовкрапленной хромитовой руды | 24 |
| 2.8 | Внешний вид мелкозернистой хромитовой руды | 25 |
| 2.9 | Внешний вид среднезернистой хромитовой руды | 25 |
| 2.10 | Внешний вид крупнозернистой хромитовой руды | 26 |
| 2.11 | Внешний вид массивной хромитовой руды | 26 |
| 2.12 | Гипидиоморфнозернистая структура хромита (серое), магнетит (темно-серое) заполняет трещины. Анш. Р-2. Увеличение 75X | 27 |
| 2.13 | Текстура дробления хромита (светло-серое), по трещинам серпентинит (темно-серое). Анш. М-1. Увеличение 75X | 28 |
| 2.14 | Треугольная диаграмма состава хромшпинелидов из пород разных массивов | 30 |
| 3.1 | Внешний вид спектрографа «Горный поток» | 33 |
| 4.1 | Магнетитовые каймы вдоль контактов хромита. Анш. Г-1 | 35 |
| 4.2 | Развитие магнетита вдоль прожилка хлорита. Анш. С-1 | 35 |
| 4.3 | Гематит замещает магнетит вдоль границ хромита. Анш. М-1 | 36 |
| 4.4 | Замещение магнетитового агрегата метакристаллом гематита. Анш. МЛ-2 | 36 |
| 4.5 | Срастание миллерита и хизлевудита внутри хромита. Отраженный свет. Анш. Г-1 | 37 |
| 4.6 | Срастание миллерита и хизлевудита внутри хромита. Обратнорассеянные электроны. | 37 |
| 4.7 | Кристалл миллерита в хромите. Отраженный свет. Анш. С-2 | 37 |
| 4.8 | Кристалл миллерита в хромите. Обратнорассеянные электроны. | 37 |
| 4.9 | Кристалл хизлевудита на краю включения хлорита. Отраженный свет. Анш. С-2 | 38 |
| 4.10 | Кристалл хизлевудита на краю включения хлорита. Обратнорассеянные электроны. | 38 |
| 4.11 | Мелкое включение пирита в хромите. Отраженный свет. Анш. Г-1-2 | 39 |
| 4.12 | Мелкое включение пирита в хромите. Обратнорассеянные электроны | 39 |
| 4.13 | Срастание иридосмина с фазой Cu-S. Отраженный свет. Анш. МЛ-1 | 40 |
| 4.14 | Срастание иридосмина с фазой Cu-S. Обратнорассеянные электроны | 40 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.15 | Фаза Cu-S в сростании с хлоритом и лауритом. Отраженный свет. Анш. МЛ-1 | 40 |
| 4.16 | Фаза Cu-S в сростании с хлоритом и лауритом. Обратнорассеянные электроны | 40 |
| 4.17 | Диаграмма сравнения обнаруженных минералов системы Cu-S и фактических составов минералов по Гоблу | 41 |
| 4.18 | Включение орселита в хромите. Отраженный свет. Анш. С-2 | 42 |
| 4.19 | Включение орселита в хромите. Обратнорассеянные электроны | 42 |
| 4.20 | Сростание самородного осмия с лауритом и миллеритом. Отраженный свет Анш. С-2 | 43 |
| 4.21 | Сростание самородного осмия с лауритом и миллеритом. Обратнорассеянные электроны | 43 |
| 4.22 | Кристалл самородного осмия в хромите. Отраженный свет. Анш. Г-1-2 | 43 |
| 4.23 | Кристаллы самородного осмия в хромите. Обратнорассеянные электроны | 43 |
| 4.24 | Треугольная диаграмма самородных минералов системы Os-Ir-Ru | 44 |
| 4.25 | Сростание самородного иридия с лауритом в хромите. Отраженный свет. Анш. С-2 | 45 |
| 4.26 | Сростание самородного иридия с лауритом в хромите. Обратнорассеянные электроны | 45 |
| 4.27 | Кристалл самородного иридия в хромите. Отраженный свет. Анш. С-2 | 45 |
| 4.28 | Кристалл самородного иридия в хромите. Обратнорассеянные электроны | 45 |
| 4.29 | Кристалл лаурита в хромите. Отраженный свет. Анш. С-1 | 46 |
| 4.30 | Кристалл лаурита в хромите. Обратнорассеянные электроны | 46 |
| 4.31 | Зерно лаурита с включениями ирарсита. Отраженный свет. Анш. Г-1-2 | 47 |
| 4.32 | Зерно лаурита с включениями ирарсита. Обратнорассеянные электроны | 47 |
| 4.33 | Купроиридсит в сростании с неизвестной фазой. Отраженный свет. Анш. М-1 | 47 |
| 4.34 | Купроиридсит в сростании с неизвестной фазой. Обратнорассеянные электроны. Анш. М-1 | 47 |
| 5.1 | Треугольная диаграмма состава МПГ Красногорского и Аккаргинского массивов | 51 |

Список таблиц в тексте

| № п/п | Наименование таблицы | Стр. |
|-------|--|------|
| 1.1 | Результаты АСС определения Pt, Pd, Au, Ag в месторождениях, связанных с ультрамафитовыми массивами Оренбургской области, (м/г) | 14 |
| 2.1 | Фазовый состав образцов, мас.% | 28 |
| 2.2 | Химический состав хромитов Аккаргинского месторождения | 29 |
| 3.1 | Реестр образцов, отобранных в центральной части главной рудной зоны | 31 |
| 3.2 | Реестр образцов, отобранных в северной части главной рудной зоны | 32 |
| 3.3 | Результат рентгенофазового анализа | 33 |
| 4.1 | Химический состав сульфидных минералов-включений в хромитах Аккаргинского месторождения | 37 |
| 4.2 | Химический состав минералов системы Cu-S Аккаргинского месторождения (анш. МЛ-1) | 39 |
| 4.3 | Фактические составы минералов системы Cu-S | 40 |
| 4.4 | Химический состав орселита Аккаргинского месторождения (анш. С-2) | 42 |
| 4.5 | Химические составы самородных элементов МПГ Аккаргинского месторождения | 43 |
| 4.6 | Химический состав лаурита Аккаргинского месторождения | 46 |
| 4.7 | Химические составы сложных сульфидов ЭПГ Аккаргинского месторождения (анш. М-1) | 48 |
| 4.8 | Химические составы ирарсита Аккаргинского месторождения | 48 |
| 5.1 | Распространённость различных МПГ в хромитах гарцбургитового блока (по количеству выявленных зерен) | 49 |
| 5.2 | Химические составы лауритов из хромитов альпинотипных ультрамафитов Корякского нагорья, мас.% | 50 |

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом использование МПГ в различных отраслях (особенно в электронном и инвестиционном секторе) возрастает, то следует более детально исследовать уже имеющиеся месторождения МПГ, открытием новых и пересмотром месторождений, которые так или иначе связаны с МПГ и могут быть попутно добываемы [9].

Основанием для выполнения дипломной работы послужило письменное обращение от компании ООО «Аккаргинские хромиты» с просьбой изучить платиноносность Аккаргинского месторождения хромитов.

Автор провел первую производственную практику на этом месторождении, где отобрал богатый каменный материал, на основе которого была выполнена курсовая работа по минераграфии и впервые был изучен минеральный состав платиноидов.

В настоящее время хромиты Аккаргинского месторождения отрабатываются компанией-заказчиком, т.е. ООО «Аккаргинские хромиты»

1. История изучения платиноносности Аккаргинского месторождения

Впервые о возможной платиноносности хромитов Аккаргинского месторождения написала Пономарева Г.А. в своей работе «Региональные закономерности распределения платиноидов в Оренбургской части Южного Урала» [8].

Ею были отобраны 6 проб хромитов. Эти образцы были проанализированы на содержание четырех благородных металлов – платину, палладий, золото и серебро. Анализ выполнен в лаборатории физических методов исследования кафедры геологии Оренбургского государственного университета методом атомно-абсорбционной спектрометрии (АСС) с электротермическим атомизатором.

В хромовых рудах Аккаргинского месторождения в результате проведенных исследований были обнаружены следующие металлы: платина, палладий, серебро и золото. Для сравнения в таблице 1.1 приведены данные, полученные Пономаревой Г.А. по содержанию благородных металлов в рудах силикатного никеля Буруктальского и в хризотил-асбестовых рудах Киембаевского ультраосновных массивов.

Таблица 1.1 – Результаты АСС определения Pt, Pd, Au, Ag в месторождениях, связанных с ультрамафитовыми массивами Оренбургской области, (м/г)

| № п/п | Месторождение (число проб) | Тип | Pt | Pd | Au | Ag | ΣPtPd | ΣБМ |
|--|----------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------|------|
| 1 | Киембаевское (11) | Хризотил-асбестовое | $\frac{44 - 1421}{531}$ | $\frac{2 - 179}{51}$ | $\frac{2 - 3831}{1360}$ | $\frac{27 - 2799}{476}$ | 582 | 2791 |
| 2 | Аккаргинское (6) | Хромиты | $\frac{14 - 2150}{971}$ | $\frac{9 - 960}{288}$ | $\frac{5 - 169}{41}$ | $\frac{0,6 - 108}{23}$ | 1259 | 1325 |
| 3 | Буруктальское (6) | Силикатный никель | $\frac{10 - 32}{14}$ | $\frac{10 - 77}{47}$ | $\frac{3 - 59}{24}$ | $\frac{1 - 101}{27}$ | 63 | 114 |
| В числителе указан размах содержаний, в знаменателе – среднее значение | | | | | | | | |

На основе полученных данных, Пономарева Г.А. делает вывод, что благородная специализация Аккаргинского месторождения палладиево-платиновая, (на основании средних значений): Pt>Pd>Au>Ag, при соотношении Pt/Pd~3.

Данный вывод подвергается сомнению компанией-заказчиком ООО «Аккаргинские хромиты», поскольку МПГ в хромитах офиолитовых комплексов, чаще всего тяготеют к Os-Ir-Ru минерализации, а также не представительная выборка (всего 6 образцов) не дает полной картины по МПГ на месторождении. Поэтому компания и обратилась к выпускнику с просьбой более детального изучения МПГ в хромитах Аккаргинского месторождения.

2. Геологическое строение Аккаргинского месторождения

2.1 Геология района

Геологическое строение этой территории определяют две крупные структуры первого порядка Троицко-Буруктальская и Денисовская зоны, разделенные между собой Тобольским глубинным разломом. Территория представляет собой довольно плоскую часть Урало-Тобольского плато с холмисто-увалистым рельефом и абсолютными высотами от 228 м на востоке территории до 361 м на западе [6].

Площадь района работ находится в северной части Буруктальской структурно-фациальной подзоны Восточно-Уральского прогиба (Троицко-Буруктальская СФЗ), ограниченного с запада Сары-Обинским глубинным разломом, и с востока – Аккаргинским глубинным разломом, и охватывает площадь 34 км².

В геологическом строении площади принимают участие осадочные и вулканогенные образования нижнедевонского – верхнекаменноугольного возраста, гранитоидами Коскольского и Шалкарского массивов, гипербазитами Буруктальского, Карашакольского и Аккаргинского массивов (граф. прил А).

Буруктальская структурно-формационная подзона (Буруктальский синклиорий) сложена осадочными и вулканогенными образованиями нижнедевонско-нижне-каменноугольного возраста, гранитоидами Коскольского и Шалкарского массивов, гипербазитами Буруктальского, Карашакольского и Аккаргинского массивов. Одной из характерных черт синклиория является широкое развитие гипербазитов, хромитоносным в которых является дунит-гарцбургитовый комплекс Аккаргинского массива, а коры выветривания по гипербазитам образуют промышленные концентрации кобальт-никелевых силикатных руд. Хромитоносность установлена только в Аккаргинском массиве.

Аккаргинский массив расположен на восточном крыле Буруктальского синклиория, приурочен к одноименному разлому. В пределах Оренбургской области он вытянут в меридиональном направлении вдоль Аккаргинского глубинного разлома на 40 км при средней ширине 3 км. Площадь массива 150 км². Его вмещающими породами являются с запада верхнедевонские осадочные отложения, с востока нижнекаменноугольные терригенные образования верхней подтолщи аккаргинской толщи. Южную часть массива обрамляют габброиды, кварцевые диориты, гранодиориты Коскольской интрузии.

Для выяснения глубинной формы массива специальных работ не проводилось. По магнитометрии падение массива - западное, глубина его 1 км. По восточному контакту устанавливается сброс. Гипербазиты Аккаргинского массива принадлежат к группе альпинотипных офиолитовых ассоциаций с дунит-гарцбургитовым типом разреза.

2.2 Структурная позиция месторождения

Аккаргинское месторождение (граф. прил. Б) приурочено к одноименному массиву, а значит его структурная позиция напрямую зависит от него. Район Аккаргинского месторождения характеризуется чрезвычайно сложной тектоникой, т.к. приурочен к одноименному геологическому разлому.

Породы Аккаргинского массива сильно перемяты с образованием брекчий, глыб, линз и рассланцеванием пород. Выделяются широтные трещины отдельности с падением к северу и югу. Диагональная система трещин СЗ и СВ направлений имеет падение на СВ и ЮВ, в возрастном отношении она древнее широтной отдельности. Наиболее древняя - это система меридиональных трещин отдельности западного падения. В согласии с простиранием и падением этой трещиноватости находятся рудные тела, которые более молодыми системами трещин широтными и диагональными разбиты на блоки различных размеров. Нарушения имеют сбросово-

сдвиговый характер, устанавливаются по сильной перемятости и брекчированию пород, по штрихам скольжения, приуроченности к ним жильных пород.

2.3 Форма рудных тел

Для рудных тел характерна жиллообразная, линзовидная, иногда серповидная и изометричная форма с раздувами и пережимами. Текстуры руд массивные и вкрапленные, намного реже - нодулярные, рябчиковые. Структуры преимущественно среднезернистые; встречаются крупно и мелкозернистые.

2.4 Петрография вмещающих пород

Поскольку хромиты данного месторождения приурочены к офиолитам (далее это подтвердится), то и вмещающими породами будут являться дуниты и гарцбургиты, разной степени подверженные вторичным изменениям.

Наиболее широко распространены дуниты (рисунок 2.1) с наложенной серпентинизацией (часто проявлена в виде корок или небольших прожилков серпентинита). Породы темно-зеленого цвета. Текстура массивная, нарушаемая неравномерным распределением хромита (если речь идет о хромитовых рудах).



Рисунок 2.1 – Дунит с массивной текстурой, Аккаргинское месторождение

В составе основную массу составляет оливин (примерно 90-95%), как акцессорная примесь присутствует хромит и магнетит. При чем, чем больше проявлена серпентинизация, тем больше хромитовых зерен будет замещено магнетитом (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Прожилочек серпентинита (светлое) пересекает зерно магнетита (темное). Увеличение 60^X

Хромит всегда присутствует в виде идиоморфных кристаллов, магнетит часто наоборот, в ксеноморфных выделениях, отчего структура получается сидеронитовая.

Немного в меньшей степени, чем дуниты, на месторождении распространены гарцбургиты (рисунок 2.3). Эти породы отличаются от дунитов отчетливо различными кристаллами пироксена, которые блестят на свежем сколе, при вращении образца. Текстура – массивная. Структура – псевдопорфировая, за счет блестящих выделений ортопироксена на фоне неразличимо зернистой массы оливина.



Рисунок 2.3 – Гарцбургит с псевдопорфировой структурой, Аккаргинское месторождение

В качестве основной массы выступает оливин (75%) и ортопироксен (15-20%) (рисунок 2.4).

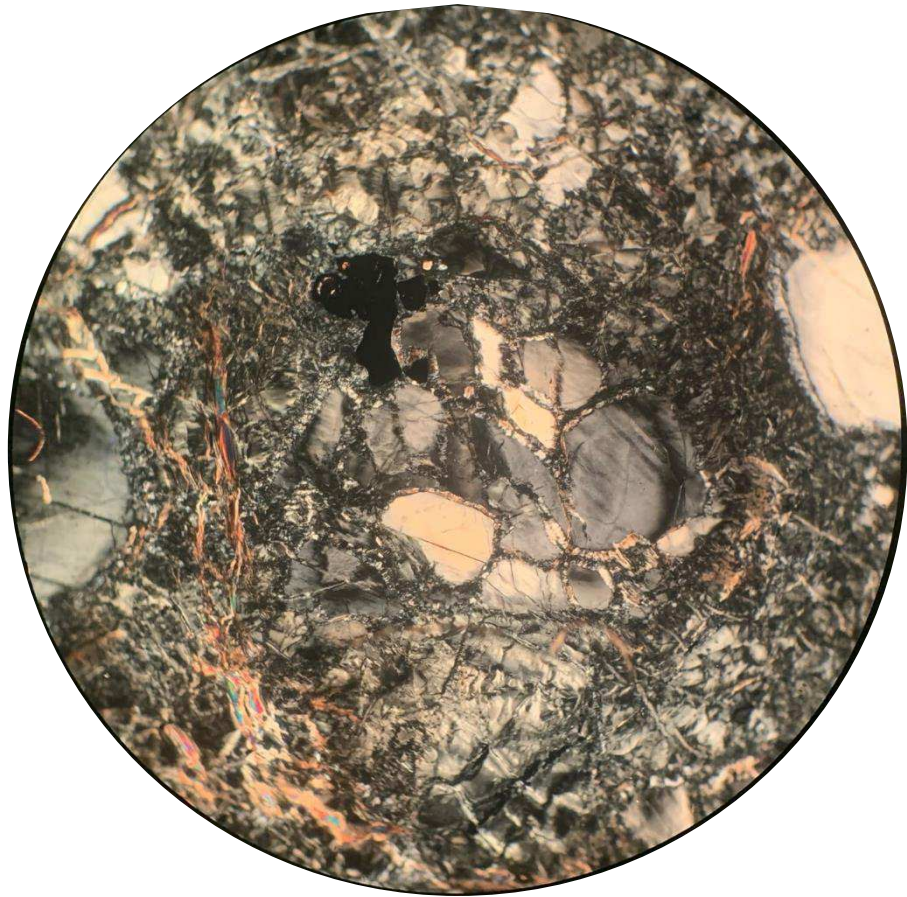


Рисунок 2.4 – Структура дробления оливина. В прожилках серпентинит. Увеличение 60^{\times}

Ортопироксен содержит пластинчатые вроски диопсида (5-8%). Вторичные минералы представлены серпентинитом и магнетитом, редко тальком и карбонатами (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Панидиоморфнозернистая структура гарцбургита. Прожилки серпентинита (светло розовое) в оливиновой массе (темно-серое). Увеличение 60^{\times}

Микроструктура гарцбургитов – панидиоморфнозернистая.

2.5 Хромитовые руды

Все хромитовые руды Аккаргинского месторождения отличаются частотой или густотой хромитовых зерен в дунитах-гарцбургитах. Так наименьшая частота встречаемости в рябчиковых хромитовых рудах (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Внешний вид рябчиковой хромитовой руды

Внешне эти руды напоминают окрас рябчиков, отсюда и название. В противоположность рябчиковым рудам, на месторождении присутствуют густовкрапленные руды (рисунок 2.7), в которых «просветы» вмещающих пород либо минимальны, либо сведены к нулю.



Рисунок 2.7 – Внешний вид густовкрапленной хромитовой руды

Помимо частоты встречаемости хромитовых зерен, руды Аккаргинского месторождения разделяют и по размерам зерен. Если в хромитовой руде зерна хромита имеют максимальный размер до первых миллиметров, то такие руды называются мелкозернистыми (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Внешний вид мелкозернистой хромитовой руды

Руды, в которых размер зерен варьируется от одного до четырех-пяти миллиметров, называются среднезернистыми (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Внешний вид среднезернистой хромитовой руды

Если же размер превышает 5 миллиметров, то такие руды называются крупнозернистыми (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Внешний вид крупнозернистой хромитовой руды
Особый вид крупнозернистых руд – массивные руды (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – Внешний вид массивной хромитовой руды

В таких рудах установить размерность зерен не представляется возможным, поскольку хромит представляет собой сплошную массу, без выделения отдельных зерен.

Из всех видов руд были сделаны шлифы и аншлифы, а также протоочки, для рентгенофазового анализа.

В ходе изучения шлифов и аншлифов было установлено, что зерна хромита имеют неправильную изометричную форму, довольно часто замещенные магнетитом (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Гипидиоморфнозернистая структура хромита (серое). Аншлиф Р-2.

Увеличение 75^{\times}

Причем, чем ближе к поверхности был отобран образец, тем больше хромит был замещен магнетитом и тем больше была развита серпентинизация по оливину (рисунок 2.13).

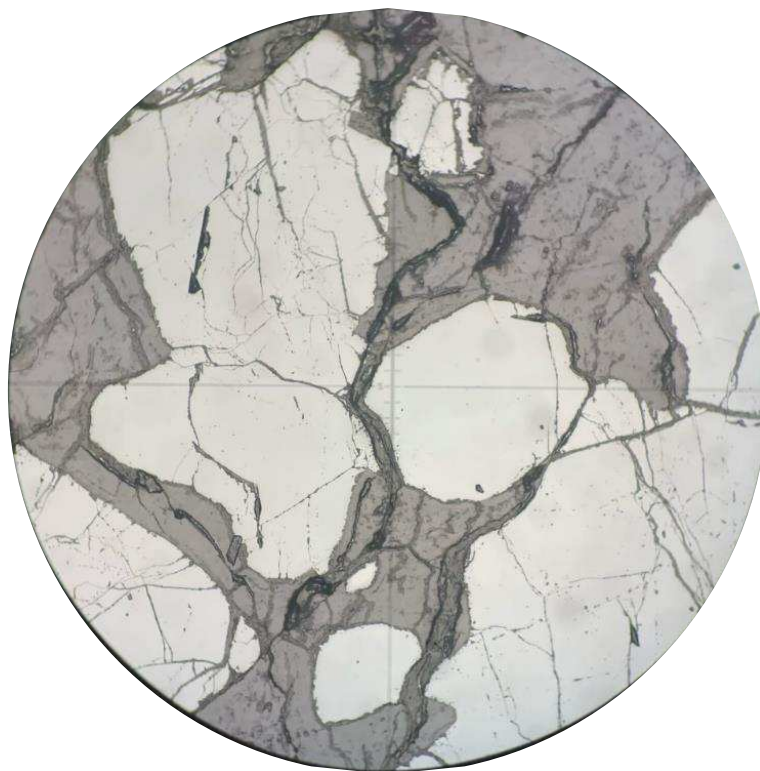


Рисунок 2.13 – Текстура дробления хромита (светло серое), по трещинам серпентинит (темно серое). Аншлиф М-1. Увеличение 75^х

Результаты рентгенофазового анализа протолок, подтвердили наличие серпентинита и талька в хромитовых рудах, а также присутствие клинохлора, кальцита, хризотила и пирротина и приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Фазовый состав образцов, мас. %

| Формула | Название минерала | Название образца | | | | |
|---|--------------------|------------------|------|------|------|------|
| | | Ряб | МЗ | СЗ | ГВ | СПЛ |
| $(Mg,Al)_3((Si,Fe)_2O_5)(OH)_4SiO_2$ | Лizardит | 34,2 | 24,2 | 35,8 | 11,6 | 0 |
| $CaCO_3$ | Кальцит | 1,63 | 1,92 | 2,66 | 1,3 | 1,63 |
| $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ | Хризотил | 3,26 | 4,93 | 3,41 | 2,32 | 0 |
| $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ | Тальк | 0 | 0 | 0 | 6,98 | 0 |
| $Mg_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$ | Клинохлор | 0 | 0 | 0 | 11,6 | 48,8 |
| $(Fe_{8.79}Ni_{0.118})S_{10}$ | Пирротин | 0 | 0 | 1,25 | 0 | 0 |
| $(Fe_{0.52}Mg_{0.48})(Cr_{0.72}Al_{0.28})_2O_3$ | Хромит магниальный | 58.7 | 34.6 | 47.9 | 65.3 | 48.9 |

По результатам фазового анализа, можно сделать вывод, что наибольшее содержание хромита приходится на густовкрапленные руды.

С помощью электронного микроскопа был определен химический состав хромитов, результат приведен в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Химический состав хромитов Аккаргинского месторождения

| №№ п/п | №№ ан- фы | Содержание элементов, в мас.% | | | | | Сумма | Формула |
|-----------|-----------------|-------------------------------|------|------|-------|-------|--------|--|
| | | O | Mg | Al | Cr | Fe | | |
| 1 | Г-1 | 32.75 | 8.53 | 4.35 | 44.36 | 9.77 | 99.76 | $(Mg_{0,68}Fe_{0,34})_{1,02}(Cr_{1,66}Al_{0,32})_{1,98}O_{4,00}$ |
| 2 | М-1 | 32.37 | 8.61 | 4.63 | 42.99 | 9.85 | 98.36 | $(Mg_{0,71}Fe_{0,35})_{1,02}(Cr_{1,63}Al_{0,33})_{1,98}O_{4,00}$ |
| 3 | С-1 | 32.97 | 8.14 | 4.38 | 44.84 | 10.57 | 100.9 | $(Mg_{0,66}Fe_{0,37})_{1,02}(Cr_{1,67}Al_{0,31})_{1,98}O_{4,00}$ |
| 4 | С-2 | 31.24 | 4.95 | 1.79 | 47.86 | 14.99 | 100.63 | $(Mg_{0,42}Fe_{0,55})_{1,02}(Cr_{1,89}Al_{0,14})_{1,98}O_{4,00}$ |

Из химического анализа хромитов, можно сделать вывод, что исследованные хромиты, не зависимо от текстурных особенностей, относятся к хромпикотиту.

Путем сравнения анализов химического состава хромитов из Аккаргинского месторождения, Нижне-Тагильского, Кытлымского, Хабарнинского массивов (Центральный Урал) [9] и массива Рай-Из (Полярный Урал) [13], было установлено, что данные хромовые руды относятся к офиолитовым комплексам, а не к зональным дунит-клинопироксенит-габбровым (рисунок 2.14).

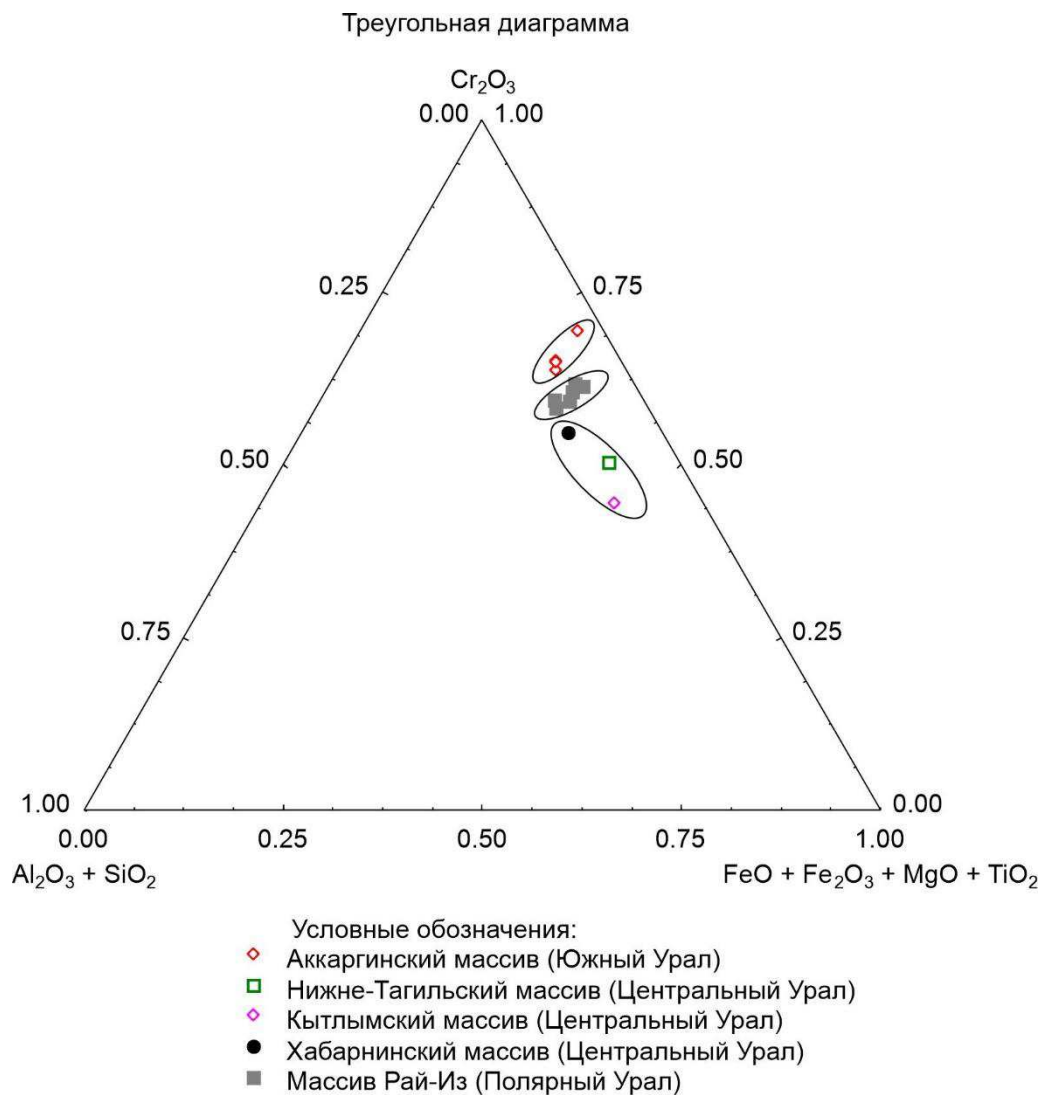


Рисунок 2.14 – Треугольная диаграмма состава хромшпинелидов из пород разных массивов

3 Методика исследований

Для решения поставленных задач, необходимо отобрать представительный каменный материал, затем изготовить протоочки для рентгенофазового анализа, а также изготовить шлифы и аншлифы, для более детального изучения состава включений.

Первым этапом был отобран каменный материал с двух участков месторождения. Всего было отобрано 43 образца. 28 из которых по центральной части главной рудной залежи (граф. прил. Г, таблица 3.1)

Таблица 3.1 – Реестр образцов, отобранных в центральной части главной рудной зоны

| № п/п | № Образца | Название |
|-------|-----------|--|
| 1 | 1.1 | Хлоритизированный серпентинит |
| 2 | 2.1 | Сплошной хромит |
| 3 | 2.2 | Сплошной хромит с корками и щетками уваровита (+осколок) |
| 4 | 3.1 | Дунитовый серпентинит |
| 5 | 3.2 | Гарцбургит |
| 6 | 4.1 | Сланец |
| 7 | 5.1 | Сильно хлоритизированный серпентинит с асбестом |
| 8 | 6.1 | Окремненная порода |
| 9 | 6.2 | Окремненная порода |
| 10 | 7.1 | Гарцбургит |
| 11 | 7.2 | Гарцбургит |
| 12 | 8.1 | Слюдяной сланец |
| 13 | 8.2 | Слюдяной сланец |
| 14 | 9.1 | Густовкрапленный хромит переходящий в сплошной |
| 15 | 9.2 | Густовкрапленный хромит |
| 16 | 9.3 | Густовкрапленный хромит |
| 17 | 9.4 | Дунит |
| 18 | 9.5 | Гарцбургит |
| 19 | 10.1 | Сплошной хромит |
| 20 | 10.2 | Густовкрапленный хромит переходящий в сплошной |
| 21 | 10.3 | Густовкрапленный хромит переходящий в сплошной |
| 22 | 10.4 | Густовкрапленный хромит |
| 23 | 11.1 | Средне- и густовкрапленный хромит |
| 24 | 11.2 | Густовкрапленный хромит |
| 25 | 11.3 | Густовкрапленный хромит |
| 26 | 12.1 | Сплошной хромит с флогопитом |
| 27 | 13.1 | Среднекрапленный хромит |
| 28 | 13.2 | Средне- и густовкрапленный хромит |
| 29 | 13.3 | Лиственит |

А 15 образцов было отобрано в северной части центральной рудной залежи (граф. прил. В, таблица 3.2)

Таблица 3.2 – Реестр образцов, отобранных в северной части главной рудной зоны

| № п/п | № образца | Название |
|-------|-----------|--|
| 1 | 1 | Аподунитовый серпентинит с магнезитовым прожилкованием |
| 2 | 2 | Апогарцбургитовый серпентинит |
| 3 | 3 | Аподунитовый серпентинит |
| 4 | 4 | Хромит густовкрапленный |
| 5 | 5 | Хромит сплошной |
| 6 | 6 | Аподунитовый серпентинит |
| 7 | 7 | Хромит густовкрапленный |
| 8 | 8 | Хромит сплошной |
| 9 | 9 | Апогарцбургитовый серпентинит |
| 10 | 10 | Хромит меланжированный |
| 11 | 11 | Хромит убоговкрапленный полосчатый |
| 12 | 12 | Хромит густовкрапленный |
| 13 | 13 | Хромит убоговкрапленный полосчатый |
| 14 | 14 | Прослой хромита в аподунитовом серпентините |
| 15 | 15 | Хромит сплошной |

Вторым этапом, согласно классификации видов хромитовых руд на Аккаргинском месторождении, часть образцов была отобрана для рентгенофазового анализа.

В начале было отобрано по одному представительному образцу руды на каждый тип руд, а именно: мелкозернистые (МЗ), среднезернистые (СЗ), массивные (СПЛ), рябчиковые (Ряб), густовкрапленные (ГВ). Затем каждый образец был раздроблен на более мелкие части на щековой дробилке, а уже мелкие части были истерты в стрежневой мельнице до гомогенной тонкозернистой фракции (размер частиц не превышал 0,04 мм).

Полученные навески были отправлены для анализа в аналитическую лабораторию ОО ЦГИ «Прогноз». Анализ проводился на спектральном комплексе «Горный поток» (рисунок 3.1) на 21 элемент, результат приведен в таблице 3.3.



Рисунок 3.1 – Внешний вид спектрографа «Горный поток»

Таблица 3.3 – Результат рентгенофазового анализа

| Элемент/образец | МЗ | СЗ | ГВ | СПЛ | Ряб |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| O | 46,3360 | 44,7350 | 40,8929 | 43,4582 | 41,2795 |
| Mg | 17,3807 | 15,4479 | 4,1169 | 15,4358 | 14,9890 |
| Si | 15,8277 | 13,2977 | 6,9206 | 9,1317 | 8,4579 |
| Cr | 3,6805 | 12,7900 | 23,2751 | 16,2240 | 21,6111 |
| Fe | 6,2336 | 6,5804 | 7,0959 | 6,4689 | 6,5684 |
| Al | 1,4815 | 2,7558 | 5,6259 | 6,5764 | 4,3437 |
| C | 1,3218 | 1,5886 | 1,0065 | 1,1894 | 1,1737 |
| Ca | 0,6316 | 1,2437 | 0,2797 | 0,6803 | 0,4210 |
| Ni | 0,3577 | 0,2906 | 0,2336 | 0,1607 | 0,2698 |
| S | 0,3027 | 0,5576 | 0,0831 | 0,1716 | 0,2616 |
| F | 0,1272 | 0,1423 | 0,2878 | 0,1825 | 0,2538 |
| Cu | 0,0809 | 0,1437 | 0,0253 | 0,0441 | 0,0667 |
| Na | 0,0719 | 0,1488 | - | 0,0918 | 0,0988 |
| K | 0,0531 | 0,1068 | - | 0,0403 | 0,0541 |
| Ti | 0,0299 | 0,0491 | 0,0757 | 0,0468 | 0,0536 |
| Co | 0,0282 | 0,0286 | 0,0245 | 0,0252 | 0,0253 |
| Zn | 0,0246 | 0,0286 | 0,0256 | 0,0322 | 0,0219 |
| V | 0,0154 | 0,0204 | 0,0308 | 0,0314 | 0,0280 |
| P | 0,0077 | 0,0110 | - | - | 0,0078 |
| Pb | 0,0072 | 0,0303 | - | 0,0085 | 0,0149 |
| Sr | - | 0,0029 | - | - | - |

По результатам анализа можно сказать, что наибольшее процентное содержание у хрома – больше 20%, магния – 15%, кислорода – 42%, а также в значительных количествах присутствует стронций, никель и титан.

Третьим этапом является изучение полированных и прозрачных шлифов под микроскопом. Для этого так же были отобраны самые представительные образцы по вмещающим породам, по всем видам руд, а также вторично измененные.

Все изготовленные шлифы и аншлифы были изучены под микроскопом Axioskop 40 A Pol, а аншлифы были дополнительно изучены под электронным микроскопом Tescan Vega III SBH (аналитик Лобастов Б.М., лаборатория R&D-центр ГМК «Норильский никель») с интегрированной системой Oxford X-Act при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе зонда 2,1 нА (на чаше Фарадея); накопление спектров производилось из точки до шкалы в 300 тыс. импульсов. При анализе использованы образцы химически чистых элементов и соединений стандартов MAC (Micro-Analysis Consultants Ltd, Великобритания; рег. № 11192): альбит (Na); волластонит (Ca); ортоклаз (K); Al₂O₃ (Al); MgO (Mg); Fe (Fe); Ni (Ni); NaCl (Cl); а также собственные стандартные образцы: кварц (Si, O); хромит (Cr). Измерение тока зонда производилось на стандарте металлического кобальта MAC (рег. № 9941). Напыление токопроводящим слоем углерода толщиной 20 нм производилось при помощи автоматической системы напыления с контролем толщины напыляемого слоя Quorum 150 RES.

Результаты анализов будут представлены далее.

4. Минералогия включений

4.1 Оксиды

Магнетит (FeFe_2O_4) является одним из самых распространенных (кроме хромита) оксидных минералов. Минерал образует многочисленные узкие каймы вдоль контактов хромитов с породообразующими минералами. Также характерны тонкие каймы магнетита, развитые вдоль микротрещин хромитов (рисунки 4.1, 4.2).

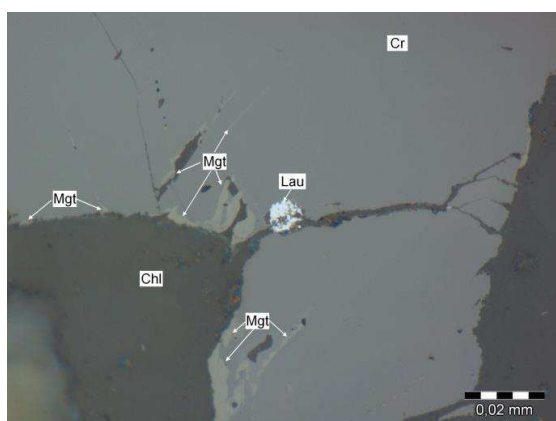


Рисунок 4.1 – Магнетитовые каймы контактов хромита. Анш. Г-1

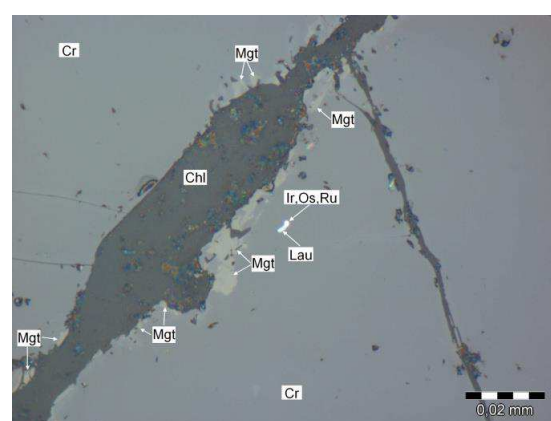


Рисунок 4.2 – Развитие магнетита вдоль прожилка хлорита. Анш. С-1

Размеры зерен магнетита, в целом, небольшие и редко превышают $0,012 \times 0,016$ мм. Часто зерна магнетита частично замещаются гематитом.

Гематит (Fe_2O_3) кристаллизуется за счет замещения магнетитовых зерен и агрегатов с образованием бесформенных зерен или идиоморфных метакристаллов (рисунки 4.3, 4.4).

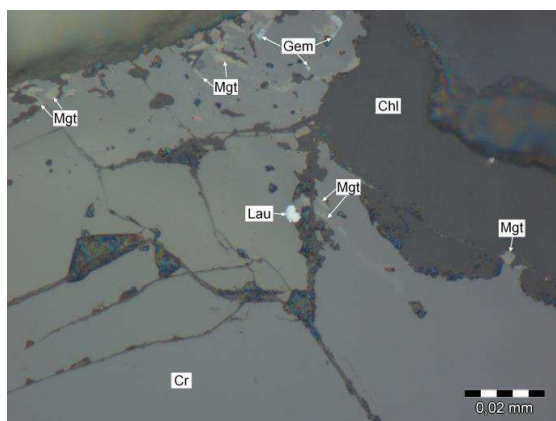


Рисунок 4.3 – Гематит замещает магнетит вдоль границ хромита. Анш. М-1



Рисунок 4.4 – Замещение магнетитового агрегата метакристаллом гематита. Анш. МЛ-2

4.2 Сульфиды

Миллерит (NiS) является одним из наиболее распространенных сульфидных минералов, обнаруженных в составе хромитов Аккаргинского месторождения. В первую очередь, миллерит, как и большинство остальных сульфидов, располагается не в самих хромитах, а в составе прожилков или включений нерудных минералов, таких как хлорит или серпентин. Наибольшее количество мелких зерен миллерита было выявлено в составе аншлифов Г-1 («густовкрапленные») и С-2 («средневкрапленные»), где миллерит находится в сростании с другими сульфидами (хизлевудитом) (рисунки 4.5, 4.6). Встречаются также самостоятельные призматические кристаллы миллерита (рисунки. 4.7, 4.8).



Рисунок 4.5 – Срастание миллерита и хизлеудита внутри хромита. Отраженный свет. Анш. Г-1

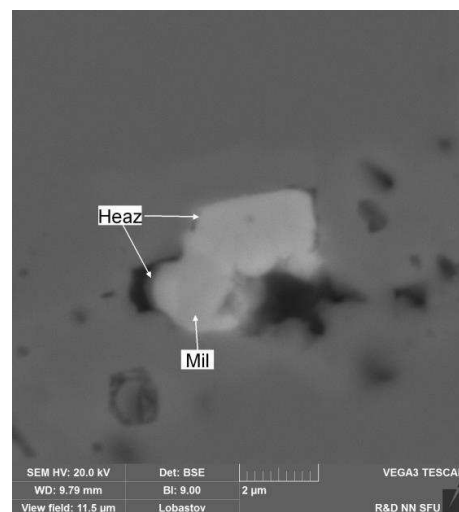


Рисунок 4.6 – То же. Обратнорассеянные электроны

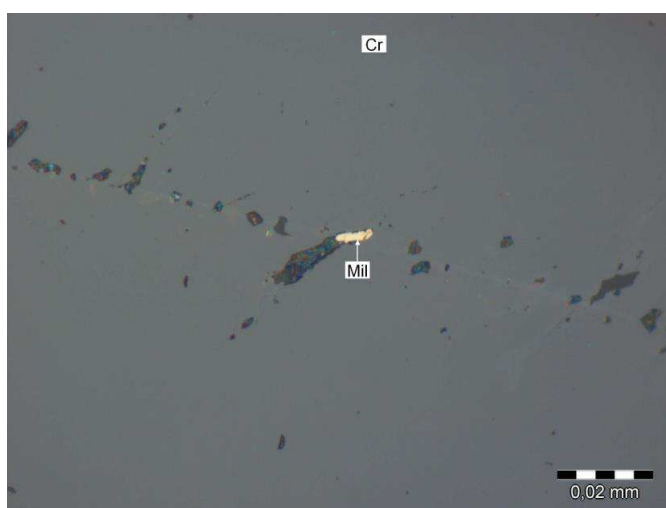


Рисунок 4.7 – Кристалл миллерита в хромите. Отраженный свет. Анш. С-2



Рисунок 4.8 – То же. Обратнорассеянные электроны

Размеры зерен минерала незначительные, до 2,0x7,5µкм.

Химический состав миллерита представлен в таблице 4.1, анализы 1-6.

Таблица 4.1 – Химический состав сульфидных минералов-включений в хромитах Аккаргинского месторождения.

| № п/п | № ан-фа | № спектра | Содержания в мас. % | | | Сумма | Минерал | Кристаллические формулы |
|-------|---------|-----------|---------------------|------|-------|--------|----------|-------------------------|
| | | | S | Fe | Ni | | | |
| 1 | Г-1 | 33 | 32,47 | 0,00 | 67,53 | 100,00 | Миллерит | $Ni_{1,06}S_{0,94}$ |
| 2 | С-2 | 75 | 33,23 | 0,00 | 61,43 | 94,65 | Миллерит | $Ni_{1,00}S_{1,00}$ |

Окончание таблицы 4.1

| | | | | | | | | |
|----|-------|-----|-------|-------|-------|--------|------------|---------------------------------------|
| 3 | С-2 | 76 | 34,55 | 0,00 | 65,45 | 100,00 | Миллерит | $Ni_{1,02}S_{0,98}$ |
| 4 | С-2 | 87 | 33,43 | 4,56 | 55,49 | 93,49 | Миллерит | $(Ni_{0,91}Fe_{0,08})_{0,99}S_{1,01}$ |
| 5 | С-2 | 88 | 34,38 | 4,64 | 56,38 | 95,40 | Миллерит | $(Ni_{0,91}Fe_{0,08})_{0,99}S_{1,01}$ |
| 6 | С-2 | 92 | 37,04 | 8,76 | 54,20 | 100,00 | Миллерит | $(Ni_{0,91}Fe_{0,08})_{0,99}S_{1,01}$ |
| 7 | Г-1 | 31 | 27,39 | 0,93 | 69,51 | 97,83 | Хизлевудит | $(Ni_{0,91}Fe_{0,08})_{0,99}S_{1,01}$ |
| 8 | Г-1 | 32 | 26,44 | 0,00 | 73,56 | 100,00 | Хизлевудит | $Ni_{3,02}S_{1,98}$ |
| 9 | С-2 | 69 | 27,50 | 0,00 | 72,50 | 100,00 | Хизлевудит | $Ni_{2,95}S_{2,05}$ |
| 10 | С-2 | 115 | 24,38 | 2,52 | 65,49 | 92,39 | Хизлевудит | $(Ni_{2,90}Fe_{0,12})_{3,02}S_{1,98}$ |
| 11 | С-2 | 116 | 24,54 | 0,00 | 65,51 | 90,05 | Хизлевудит | $Ni_{2,97}S_{2,03}$ |
| 12 | С-2 | 118 | 25,04 | 2,22 | 67,50 | 94,77 | Хизлевудит | $(Ni_{2,92}Fe_{0,10})_{3,02}S_{1,98}$ |
| 13 | С-2 | 119 | 24,87 | 2,44 | 67,95 | 95,26 | Хизлевудит | $(Ni_{2,93}Fe_{0,11})_{3,04}S_{1,96}$ |
| 14 | С-2 | 120 | 23,41 | 3,15 | 64,08 | 90,64 | Хизлевудит | $(Ni_{2,91}Fe_{0,15})_{3,06}S_{1,94}$ |
| 15 | Г-1-2 | 200 | 52,19 | 47,81 | 0,00 | 100,00 | Пирит | $Fe_{1,03}S_{1,97}$ |

Хизлевудит (Ni_3S_2) также значительно распространенный сульфид никеля. Минерал отмечается внутри хромитов как самостоятельными образованиями, так и в сростании с другими сульфидами (см. рисунки 4.5, 4.6). Хизлевудит иногда образует идиоморфные кристаллы различной формы, располагаясь на контакте хромита и включения в нем хлорита (рисунки 4.9, 4.10).



Рисунок 4.9 – Кристалл хизлевудита на краю включения хлорита. Отраженный свет. Анш. С-2

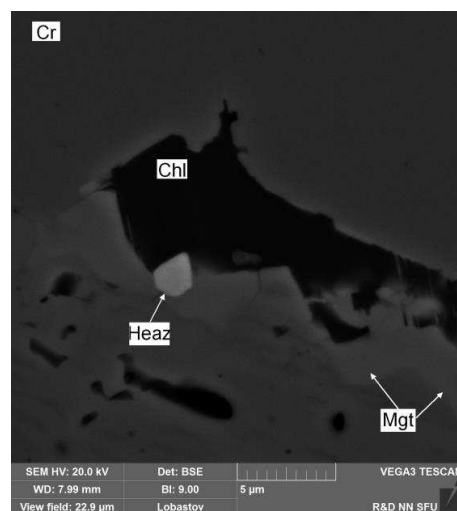


Рисунок 4.10 – То же. Обратнорассеянные электроны.

Пирит (FeS_2) относится к редким сульфидным минералам в составе хромитов Аккаргинского месторождения. Выявлен в единственном случае в составе аншлифа Г-1-2 («густовкрапленные»). Минерал также размещается

внутри включения хлорита в составе хромита (рисунки 4.11, 4.12). Химический состав пирита представлен в таблице 1 (анш. Г-1-2).



Рисунок 4.11 – Мелкое включение пирита в хромите. Отраженный свет. Анш. Г-1-2

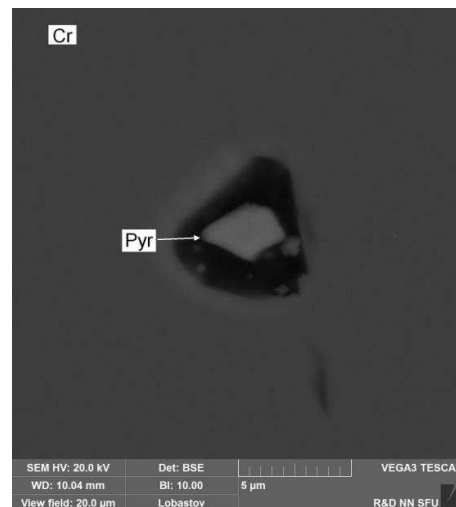


Рисунок 4.12 – То же. Обратнорассеянные электроны

Минералы системы Cu-S. Двухфазные минералы, состоящие из меди и серы, были выявлены только в одном аншлифе – МЛ-1 («мелкозернистые»). В первом случае, данный минерал срощиваются с самородным Ir, располагаясь на его внешней стороне в составе хромита (рисунки 4.13, 4.14). Во втором случае, близкая по составу фаза срощивается с включением хлорита и лаурита (рисунки 4.15, 4.16). Размеры исследованных фаз небольшие, от 2х2мкм до 1х6мкм. Химические составы этих фаз приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Химический состав минералов системы Cu-S Аккаргинского месторождения (анш. МЛ-1)

| № п/п | № спектра | Содержания в мас. % | | Сумма | Формула | Ассоциации |
|-------|-----------|---------------------|-------|-------|---------------------|-----------------|
| | | S | Cu | | | |
| 1 | 171 | 22,96 | 77,04 | 100,0 | $Cu_{1.69}S_{1.00}$ | С самородным Ir |
| 2 | 172 | 22,92 | 77,08 | 100,0 | $Cu_{1.70}S_{1.00}$ | С самородным Ir |
| 3 | 177 | 26,90 | 73,10 | 100,0 | $Cu_{1.37}S_{1.00}$ | С лауритом |
| 4 | 178 | 28,66 | 71,34 | 100,0 | $Cu_{1.26}S_{1.00}$ | С лауритом |



Рисунок 4.13 – Срастание самородного Ir с фазой Cu-S. Отраженный свет. Анш. МЛ-1

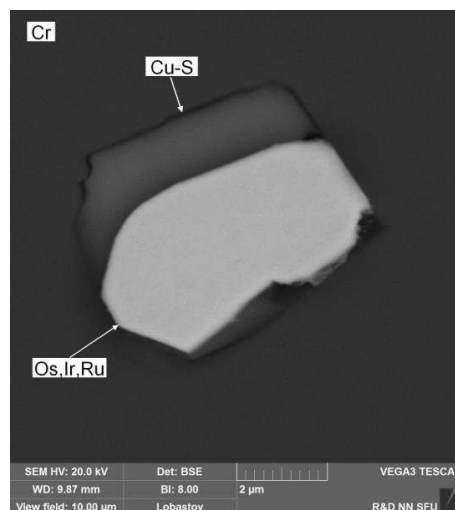


Рисунок 4.14 – То же. Обратнорассеянные электроны

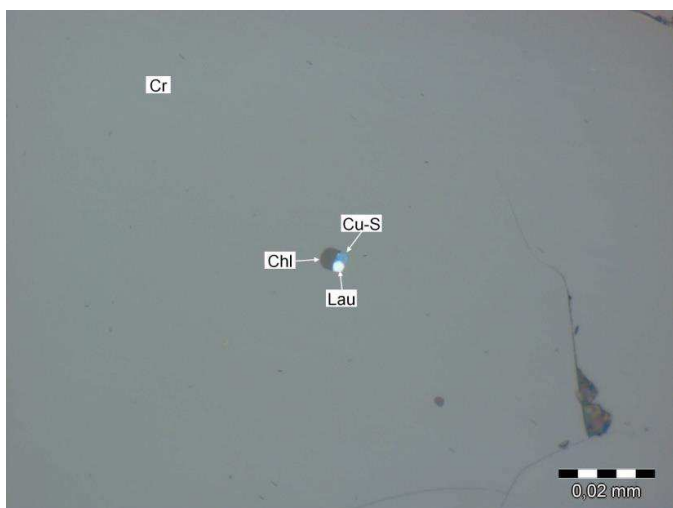


Рисунок 4.15 – Фаза Cu-S в срастании с хлоритом и лауритом. Отраженный свет. Анш. МЛ-1

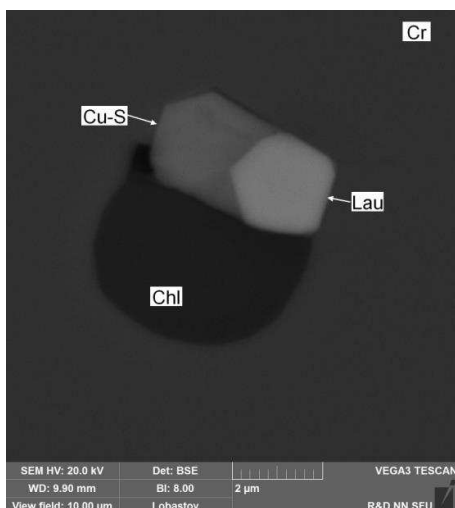


Рисунок 4.16 – То же. Обратнорассеянные электроны

Согласно исследованиям Гобла [14], все фазы системы Cu-S разделяются по составу на следующие минералы (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Фактические составы минералов системы Cu-S

| Минерал, формула | Фактический состав | Верхний предел устойчивости, T°C |
|--|---------------------------------|----------------------------------|
| Халькозин Cu_2S | $\text{Cu}_{1,99-2,00}\text{S}$ | 103,5 |
| Джарлеит $\text{Cu}_{49}\text{S}_{25}$ | $\text{Cu}_{1,93-1,97}\text{S}$ | 93 |
| Дигенит Cu_9S_5 | $\text{Cu}_{1,75-1,80}\text{S}$ | 83 |
| Анилит Cu_7S_4 | $\text{Cu}_{1,75-1,80}\text{S}$ | 70 |
| Гирит Cu_8S_5 | $\text{Cu}_{1,5-1,6}\text{S}$ | ? |
| Спионкопит $\text{Cu}_{39}\text{S}_{28}$ | $\text{Cu}_{1,3-1,5}\text{S}$ | 157 |
| Яроуит Cu_9S_8 | $\text{Cu}_{1,0-1,2}\text{S}$ | 157 |
| Ковеллин Cu_2S_2 | $\text{Cu}_{1,00}\text{S}$ | 507 |

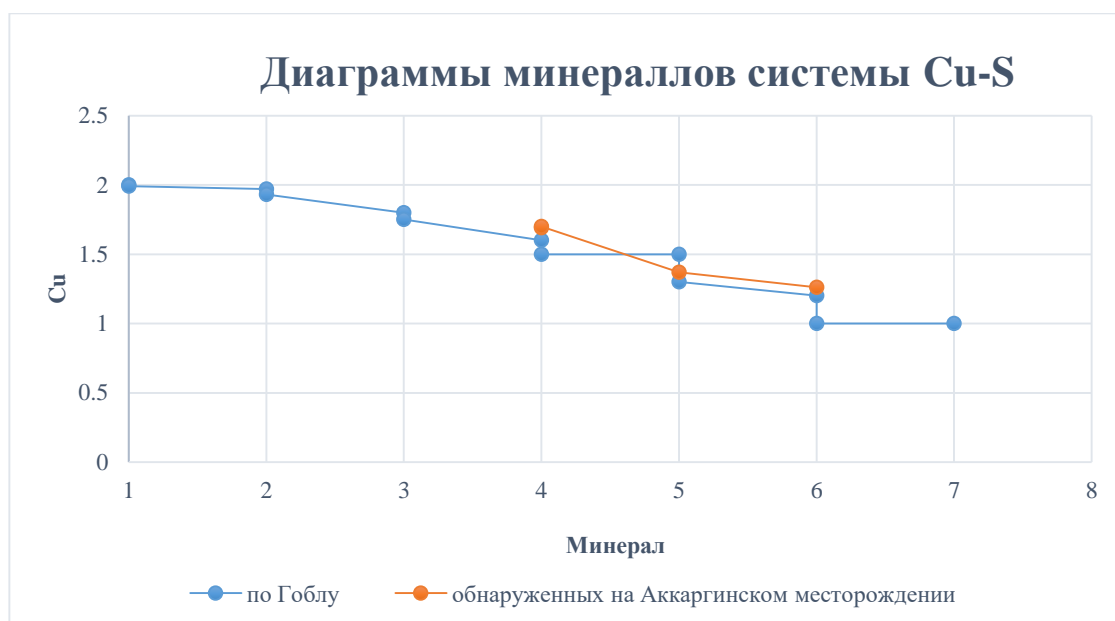


Рисунок 4.17 – Диаграмма сравнения обнаруженных минералов системы Cu-S и фактических составов минералов по Гоблу.

Примечание: 1-2 – Халькозин, 2-3 – джарлеит, 3-4 – дигенит и анилит, 4-5 – гирит, 5-6 – спионкопит, 6 – ярроуит, 6-7 – ковеллин.

Сравнение полученных результатов анализов минералов системы Cu-S Аккаргинского месторождения с этими данными позволяет предполагать, что изученные фазы могут относиться, предположительно, к составам анилита или спионкопита. В любом случае, эти фазы являются низкотемпературными, как и хлорит, и, вероятно, заместили ранее существовавшие фазы меди.

4.3 Арсениды

Орселит ($Ni_{5-x}As_{2,0}$) обнаружен только в составе одного аншлифа, С-2 в виде изогнутого зерна, разбитого трещинами на фрагменты (рисунки 4.18, 4.19). Размеры зерна составляют 0,003,5x0,013,5мм.

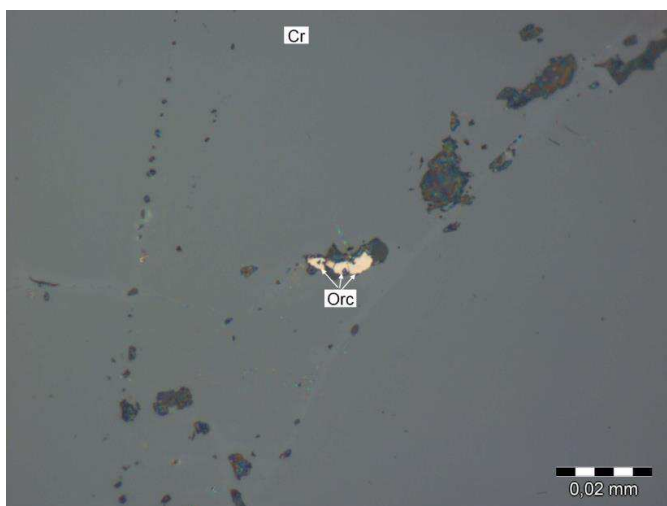


Рисунок 4.18 – Включение орселита в хромите. Отраженный свет. Анш. С-2



Рисунок 4.19 – То же. Обратнорассеянные электроны.

Химический состав минерала представлен в таблице 4.4

Таблица 4.4 – Химический состав орселита Аккаргинского месторождения (анш. С-2)

| № п/п | № спектра | Содержания в мас. % | | | Сумма | Кристаллохимические формулы |
|-------|-----------|---------------------|-------|-------|--------|---|
| | | Fe | Ni | As | | |
| 1 | 121 | 0,89 | 63,41 | 37,91 | 102,21 | $(\text{Ni}_{4,27}\text{Fe}_{0,07})_{4,34}\text{As}_{2,00}$ |
| 2 | 122 | 0,88 | 63,00 | 37,77 | 101,65 | $(\text{Ni}_{4,27}\text{Fe}_{0,06})_{4,32}\text{As}_{2,00}$ |
| 3 | 123 | 0,90 | 65,34 | 38,44 | 104,68 | $(\text{Ni}_{4,34}\text{Fe}_{0,06})_{4,40}\text{As}_{2,00}$ |
| 4 | 124 | 0,90 | 59,87 | 39,53 | 100,30 | $(\text{Ni}_{3,87}\text{Fe}_{0,06})_{3,93}\text{As}_{2,00}$ |

4.4 Минералы платиновой группы

4.4.1 Самородные элементы

Самородный осмий (Os) обнаружен в нескольких аншлифах: Г-1, Г-1-2 и С-2. Минерал встречается как самостоятельными, идеальной огранки мелкими кристаллами, так и в сростании с другими МПГ и сульфидами (рисунки 4.20-4.23, 4.24).

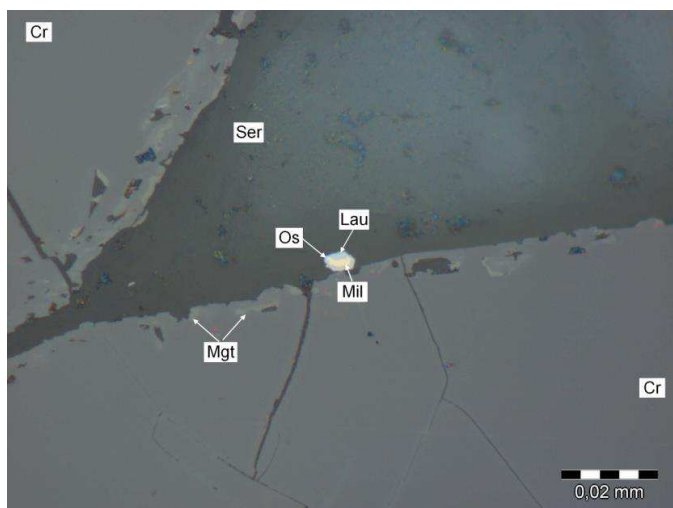


Рисунок 4.20 – Срастание самородного осмия с лауритом и миллеритом. Отраженный свет.

Анш. С-2

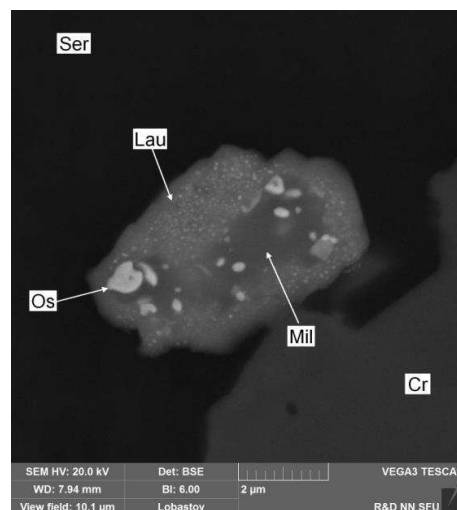


Рисунок 4.21 – То же. Обратнорассеянные электроны

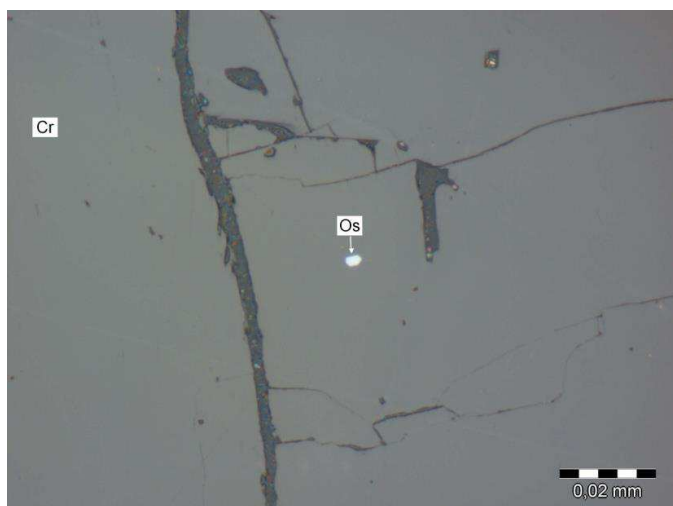


Рисунок 4.22 – Кристалл самородного осмия в хромите. Отраженный свет. Анш. Г-1-2

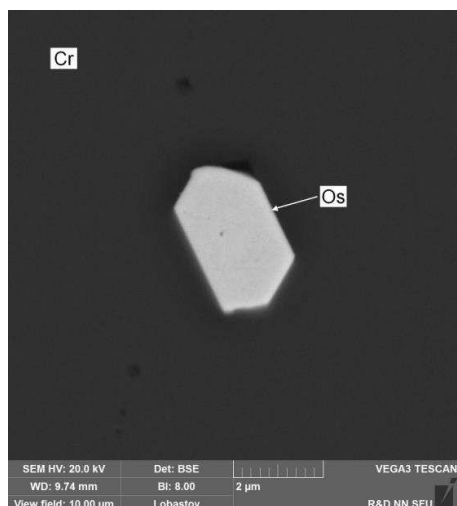


Рисунок 4.23 – То же. Обратнорассеянные электроны

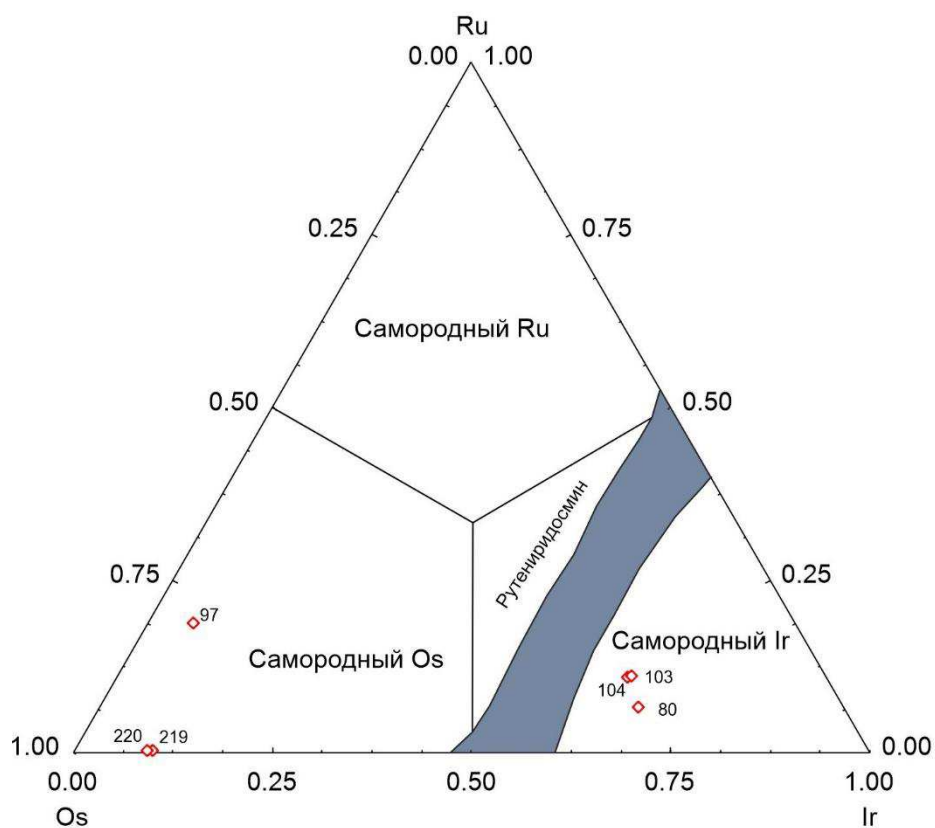
Химический состав самородных осмия, иридия представлен в таблице

4.5. Анализы 1-3.

Таблица 4.5 – Химические составы самородных элементов МПГ Аккаргинского месторождения

| № п/п | № анфа | № спектра | Содержания в мас. % | | | | | Сумма | Кристаллохимическая формула |
|-------|--------|-----------|---------------------|-------|-------|------|------|--------|---------------------------------------|
| | | | Os | Ru | Ir | Rh | Pt | | |
| 1 | С-2 | 97 | 76,50 | 17,69 | 5,80 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | $Os_{0.4}Ru_{0.18}Ir_{0.03}$ |
| 2 | Г-1-2 | 219 | 91,99 | 0,00 | 9,96 | 0,00 | 0,00 | 101,95 | $Os_{0.48}Ir_{0.05}$ |
| 3 | Г-1-2 | 220 | 91,69 | 0,00 | 9,14 | 0,00 | 0,00 | 100,82 | $Os_{0.14}Ir_{0.05}$ |
| 4 | С-2 | 80 | 27,25 | 5,63 | 61,20 | 5,92 | 0,00 | 100,00 | $Os_{0.14}Ru_{0.06}Ir_{0.32}Rh_{0.1}$ |
| 5 | С-2 | 103 | 27,43 | 9,87 | 60,12 | 0,00 | 2,57 | 100,00 | $Os_{0.14}Ru_{0.1}Ir_{0.31}Pt_{0.01}$ |
| 6 | С-2 | 104 | 26,87 | 10,21 | 60,76 | 0,00 | 2,15 | 100,00 | $Os_{0.14}Ru_{0.1}Ir_{0.31}Pt_{0.01}$ |

Диаграмма системы Os-Ir-Ru



Условные обозначения:

◇⁹⁷ МПГ системы Os-Ir-Ru и его номер спектра

Рисунок 4.24 – Треугольная диаграмма самородных минералов системы Os-Ir-Ru

Самородный иридий (Ir) выявлен в составах трех аншлифов: Г-1-2, С-1 и С-2. Также, как и самородный осмий, иридий встречается и самостоятельными кристаллами в составе хромитов, а также в сростании с другими МПГ, например, лауритом (рисунки 4.24, 4.25-4.28).

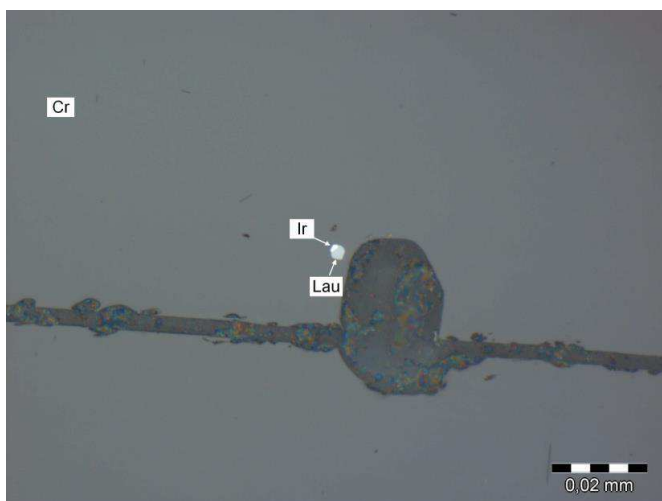


Рисунок 4.25 – Срастание самородного иридия с лауритом в хромите. Отраженный свет. Анш. С-2

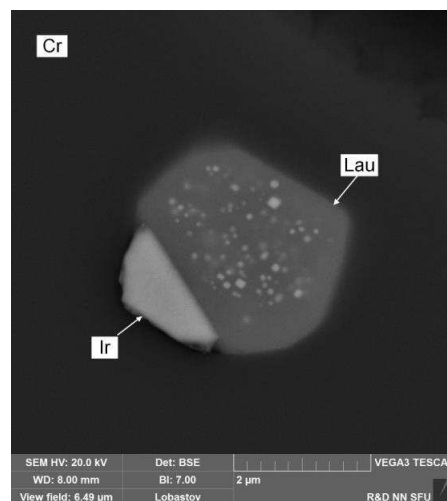


Рисунок 4.26 – То же. Обратнорассеянные электроны

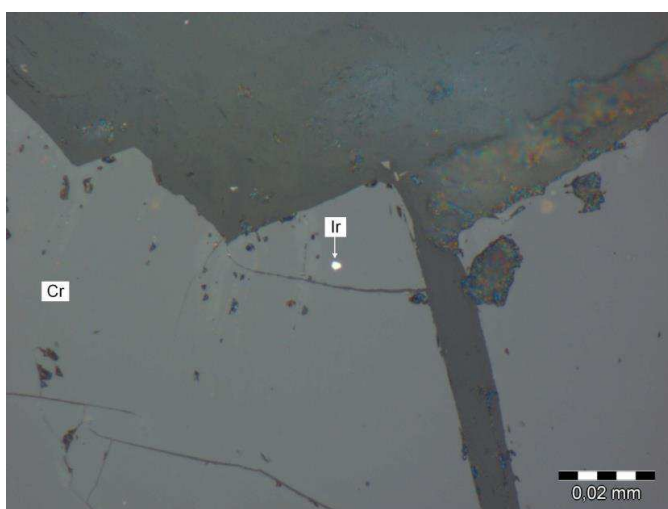


Рисунок 4.27 – Кристалл самородного иридия в хромите. Отраженный свет. Анш. С-2

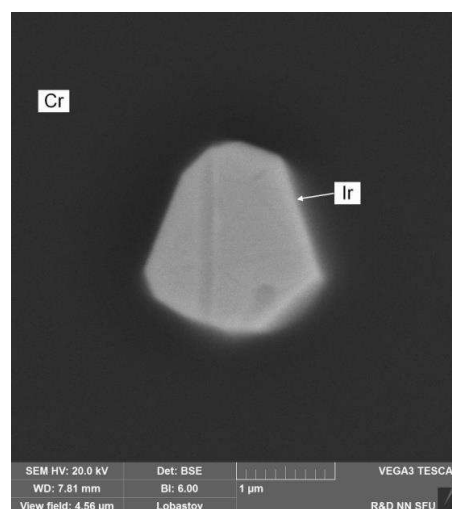


Рисунок 2.28 – То же. Обратнорассеянные электроны

4.4.2 Сульфиды МПГ

Лаурит (RuS_2) является наиболее распространенным минералом платиновой группы в составе хромитовых руд Аккаргинского месторождения. Он встречается практически в каждом исследованном аншлифе. Количество его определений в электронном микроскопе превышает 30 анализов. Лаурит распространен самостоятельными зернами и кристаллами, а также часто имеет срастания с другими МПГ и сульфидными минералами (см. рисунки 4.1-4.3,

4.15,4.16,4.20,4.21,4.24,4.25). Для минерала обычным является идиоморфная форма кристаллов (см. рисунки 4.15,4.16, 4.28, 4.29). Зерна лаурита имеют обычно каплевидную или округлую форму и характеризуются неоднородным строением. Химические составы лаурита характеризуются обычными примесями других минералов платиновой группы, но некоторые его зерна часто содержат примесь мышьяка (таблица. 4.6).

Таблица 4.6 – Химический состав лаурита Аккаргинского месторождения

| № ан-фа | № спек-тра | Содержания в мас.% | | | | | | Сумма | Кристаллохимическая формула |
|---------|------------|--------------------|-------|-------|------|------|-------|--------|---|
| | | S | As | Ru | Rh | Os | Ir | | |
| Г-1 | 40 | 25,89 | 7,29 | 40,08 | 2,28 | 9,28 | 15,16 | 100,00 | $(Ru_{0,82}Ir_{0,16}Os_{0,10}Rh_{0,05})_{1,13}(S_{1,67}As_{0,20})_{1,87}$ |
| Г-1 | 41 | 27,35 | 6,14 | 41,21 | 2,90 | 6,91 | 13,05 | 97,56 | $(Ru_{0,83}Ir_{0,14}Os_{0,07}Rh_{0,06})_{1,10}(S_{1,73}As_{0,17})_{1,90}$ |
| М-1 | 3 | 25,33 | 11,17 | 34,08 | 6,64 | 6,31 | 14,90 | 100,00 | $(Ru_{0,69}Ir_{0,16}Os_{0,07}Rh_{0,13})_{1,05}(S_{1,62}As_{0,42})_{1,95}$ |
| С-2 | 63 | 35,70 | 0,00 | 54,34 | 0,00 | 6,13 | 3,84 | 100,00 | $(Ru_{0,95}Ir_{0,04}Os_{0,06})_{1,04}S_{1,96}$ |
| С-2 | 64 | 35,67 | 0,00 | 56,71 | 0,00 | 4,18 | 3,44 | 100,00 | $(Ru_{0,98}Ir_{0,03}Os_{0,04})_{1,05}S_{1,95}$ |

При значительном увеличении становится ясно, что в составе лаурита присутствуют мельчайшие частицы самородного иридия (см. рисунки 4.25), а также включения ирарсита (рисунки 4.31,4.32).

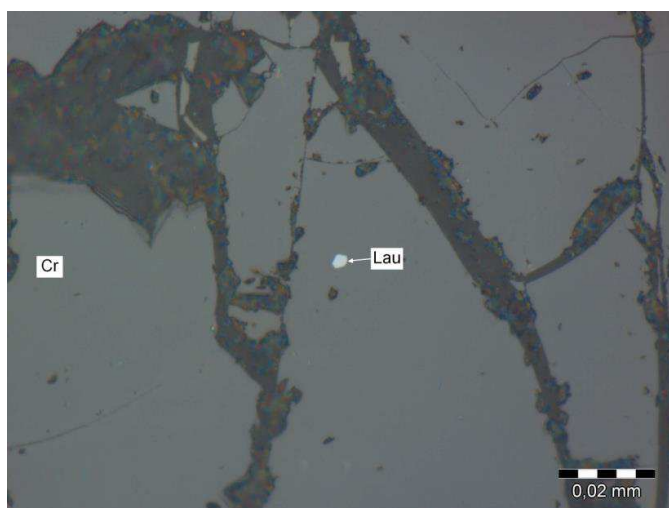


Рисунок 4.29 – Кристалл лаурита в хромите. Отраженный свет. Анш. С-1

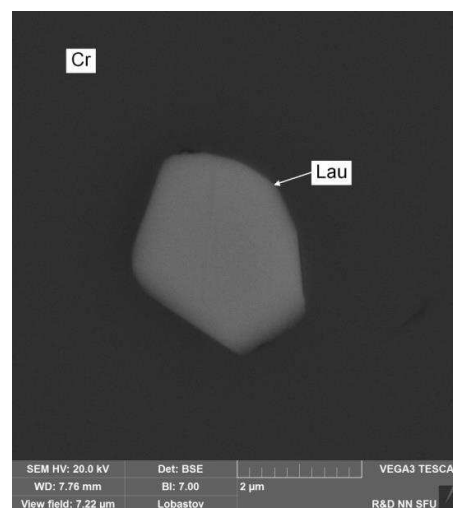


Рисунок 4.30 – То же. Обратнo-рассеянные электроны

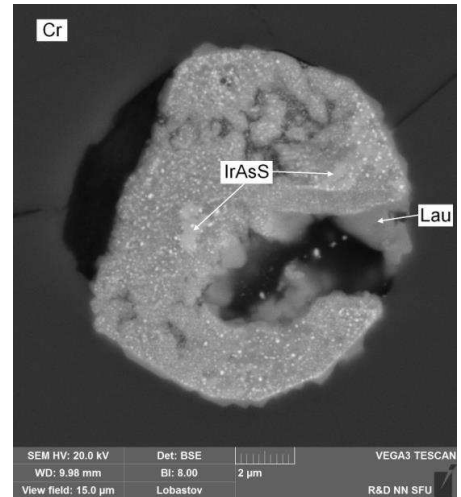
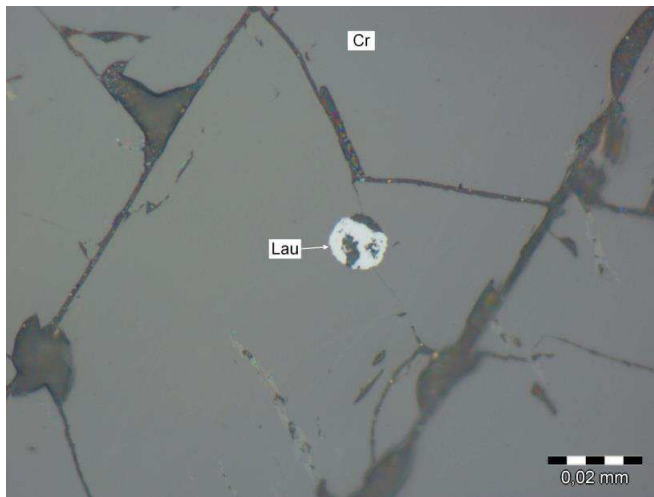


Рисунок 4.31 – Зерно лаурита с включениями ирарсита. Отраженный свет. Анш. Г-1-2

Рисунок 4.32 – То же. Обратнорассеянные электроны

Купроиридсит CuIr_2S_4 и неизвестная фаза состава $\text{Ir}_5(\text{Ni,Cu})_8\text{S}_{16}$ обнаружены в составе аншлифа М-1. Минералы тесно срачиваются друг с другом, имеют резкую, хорошо выраженную границу раздела (рис. 4.33, 4.34). Размеры зерен мизерные, поэтому не исключено, что при анализе часть элементов одной фазы попала в состав другой фазы (таблица 4.7).

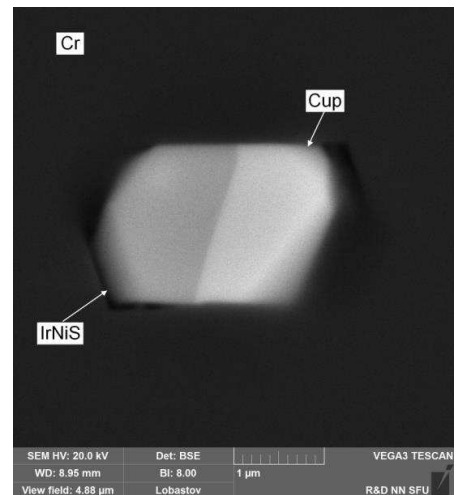
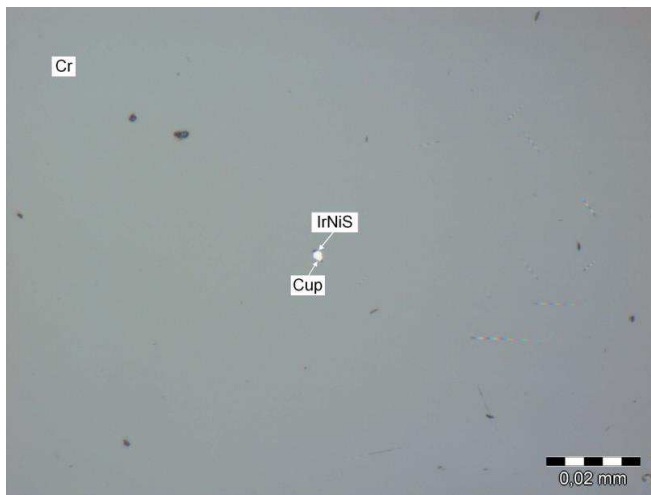


Рисунок 4.33 – Купроиридсит в срастании с неизвестной фазой. Отраженный свет. Анш. М-1

Рисунок 4.34 – То же. Обратнорассеянные электроны

Таблица 4.7 – Химические составы сложных сульфидов ЭПГ Аккаргинского месторождения (анш М-1)

| № п/п | № спектра | Содержание в мас.% | | | | | | Сумма | Кристаллохимическая формула |
|-------|-----------|--------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|--|
| | | S | Fe | Ni | Cu | Rh | Ir | | |
| 1 | 14 | 25,29 | 0,00 | 0,86 | 10,64 | 1,72 | 61,50 | 100 | $(\text{Cu}_{0.90}\text{Ni}_{0.08})_{0.98}(\text{Ir}_{1.71}\text{Rh}_{0.09})_{1.80}\text{S}_{4.22}$ |
| 2 | 17 | 26,17 | 1,11 | 0,00 | 10,34 | 0,00 | 62,39 | 100 | $(\text{Cu}_{0.86}\text{Fe}_{0.11})_{0.97}\text{Ir}_{1.72}\text{S}_{4.32}$ |
| 3 | 15 | 26,44 | 0,00 | 17,12 | 6,38 | 0,00 | 49,26 | 100 | $(\text{Ir}_{5.02}\text{Rh}_{0.15})_{5.17}(\text{Ni}_{5.71}\text{Cu}_{1.97})_{7.68}\text{S}_{16.15}$ |
| 4 | 18 | 27,24 | 0,00 | 17,53 | 6,48 | 0,00 | 28,77 | 100 | $\text{Ir}_{4.89}(\text{Ni}_{5.76}\text{Cu}_{1.96})_{7.72}\text{S}_{16.39}$ |

4.4.3 Сульфоарсениды

Ирарсит (IrAsS) – один из наиболее распространенных сульфоарсенидов ЭПГ. Обнаружен в составах аншлифов Г-1, Г-1-2, С-1, МЛ-2. Минерал образует, как правило, мелкие зерна, часто реликтовые в сростании с другими МПГ (см. рисунок 4.31). Химический состав минерала характеризуется присутствием небольшого количества сурьмы (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Химические составы ирарсита Аккаргинского месторождения

| № анфа | № спектра | Содержания в мас.% | | | | | | | | Сумма | Кристаллохимическая формула |
|--------|-----------|--------------------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|--------|---|
| | | S | Ni | As | Ru | Rh | Sb | Os | Ir | | |
| Г-1 | 28 | 9,88 | 0,00 | 27,77 | 0,00 | 0,00 | 3,16 | 0,00 | 59,17 | 100 | $\text{Ir}_{0.91}(\text{As}_{1.10}\text{Sb}_{0.08})_{1.18}\text{S}_{0.91}$ |
| Г-1 | 29 | 10,10 | 0,00 | 22,13 | 0,00 | 0,00 | 4,15 | 0,00 | 63,62 | 100 | $\text{Ir}_{1.02}(\text{As}_{0.91}\text{Sb}_{0.10})_{1.01}\text{S}_{0.97}$ |
| Г-1-2 | 229 | 18,02 | 0,00 | 16,43 | 5,37 | 5,37 | 0,77 | 8,45 | 30,18 | 98,04 | $(\text{Os}_{0.05}\text{Ru}_{0.05}\text{Rh}_{0.05}\text{Ir}_{0.16})_{0.31}(\text{As}_{0.22}\text{Sb}_{0.01})_{0.23}\text{S}_{0.56}$ |
| Г-1-2 | 230 | 18,76 | 0,53 | 16,39 | 8,17 | 8,17 | 1,65 | 7,63 | 30,99 | 102,33 | $(\text{Ru}_{0.08}\text{Rh}_{0.08}\text{Os}_{0.04}\text{Ir}_{0.16})_{0.36}(\text{Ni}_{0.01}\text{As}_{0.22}\text{Sb}_{0.01})_{0.24}\text{S}_{0.59}$ |
| МЛ-2 | 165 | 14,72 | 0,80 | 25,16 | 14,69 | 14,69 | 0,94 | 0,00 | 36,30 | 100 | $(\text{Ru}_{0.14}\text{Rh}_{0.14}\text{Ir}_{0.19})_{0.47}(\text{Ni}_{0.01}\text{As}_{0.34}\text{Sb}_{0.01})_{0.36}\text{S}_{0.46}$ |
| МЛ-2 | 166 | 13,95 | 0,00 | 25,57 | 15,86 | 15,86 | 0,89 | 0,00 | 41,04 | 100 | $(\text{Ru}_{0.15}\text{Rh}_{0.15}\text{Ir}_{0.21})_{0.51}(\text{As}_{0.34}\text{Sb}_{0.01})_{0.35}\text{S}_{0.44}$ |

5. Сравнительная характеристика МПГ с аналогами

Как уже упоминалось ранее, наличие мышьяка в лаурите и ряде других минералов – это не ошибка лаборатории или обычная примесь, а особенность данного месторождения и конкретно этих хромитов. Такая же особенность наблюдается на другом месторождении, а именно в Красногорском массиве Корякского нагорья (Дальний Восток, Камчатка)

Среди всех изученных альпинотипных ультрамафитов Корякского нагорья [12] и ряда других регионов этот массив представляет исключительный интерес в связи с высокой насыщенностью хромитовых рудопроявлений МПГ и их широким разнообразием.

Немногочисленные платиноносные рудопроявления хромита в пределах существенно гарцбургитового, структурно нижнего, горизонта массива характеризуется крайне неустойчивыми ассоциациями различных МПГ. Здесь присутствуют руды с разной геохимической специализацией – собственно платиновой, осмий-иридий-рутениевой и смешанной (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Распространенность различных МПГ в хромитах гарцбургитового блока (по количеству выявленных зерен)

| Минерал | Образец рудопроявления | | | | | | Всего | |
|--|------------------------|-----|-----|-----|------|-----|-------|-------|
| | 118 | 240 | 239 | 248 | 046a | 241 | n | % |
| (Os,Ir) | 6 | 23 | 6 | 11 | - | 13 | 59 | 22.6 |
| (Ir, Os) | 4 | - | 1 | 1 | - | 1 | 7 | 2.7 |
| (Ru, Os, Fe) | - | - | 1 | 7 | - | - | 8 | 3.1 |
| (Ir, Fe) | - | - | - | - | 1 | - | 1 | 0.4 |
| (Rh, Fe) | - | - | - | - | - | - | - | - |
| RuS ₂ | 17 | 3 | 2 | 102 | - | - | 124 | 47.4 |
| (Ir, Os)S | - | - | - | 1 | - | - | 1 | 0.4 |
| (Ru, Os, Ir) ₂ S ₃ | - | - | - | 2 | - | - | 2 | 0.8 |
| (Rh, Ir) ₂ S ₃ | - | - | - | - | - | - | - | - |
| (Fe, Ni, Rh) ₂ S | - | - | - | - | - | - | - | - |
| (Fe, Ni, Rh)S | - | - | - | - | - | - | - | - |
| IrAsS | 10 | 4 | 3 | 3 | - | - | 20 | 7.6 |
| (Rh, Pd) ₂ As | - | - | - | - | - | - | - | - |
| (Rh, Ni) ₂ As | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pt ₃ Fe | - | 16 | 18 | - | - | - | 43 | 13.0 |
| PtFe | - | 1 | - | - | - | - | 1 | 0.4 |
| (Pt, Fe) | - | - | 2 | - | - | - | 2 | 0.8 |
| PtAs ₂ | - | 1 | 1 | - | - | - | 2 | 0.8 |
| Всего | 37 | 48 | 34 | 127 | 1 | 14 | 261 | 100.0 |

В рудопроявлениях с осмий-иридий-рутениевой специализацией преобладают сульфидные и сульфоарсенидные формы выделений ЭПГ, а в хромитах из небольшого тела дунитов в этом горизонте – самородные. В целом же поданным пяти рудопроявлений, преобладающими МПГ являются сульфиды и сульфоарсениды Os, Ir, и Ru.

Значительное количество мышьяка в сульфиде рутения (лаурит) роднит хромиты и МПГ Красногорского массива, с хромитами и МПГ Аккаргинсокого месторождения одноименного массива (таблица 5.2)

Таблица 5.2 – Химические составы лауритов из хромитов альпинотипных ультрамафитов Корякского нагорья, мас. %

| № Обр. | № з. | Мин. | Pt | Ir | Os | Ru | Rh | Pd | Cu | Ni | Fe | S | As | Сумма |
|--------|------|------------------------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|
| 118 | 5 | RuS ₂ | 0.5 | 12.5 | 32.9 | 18.9 | 1.1 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 28.8 | 3.4 | 98.4 |
| | 8 | RuS ₂ | 0.1 | 16.4 | 45.0 | 6.2 | 1.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 23.7 | 6.2 | 98.8 |
| | 9 | RuS ₂ | 0.4 | 12.5 | 18.9 | 29.5 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 28.9 | 7.4 | 100.6 |
| | 18 | RuS ₂ | 0.1 | 13.1 | 45.9 | 7.8 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 24.3 | 7.2 | 99.3 |
| | 19 | Ru(S, As) ₂ | 1.2 | 15.0 | 11.5 | 30.4 | 3.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 27.3 | 11.0 | 99.9 |
| | 21 | Ru(S, As) ₂ | 4.0 | 22.5 | 14.4 | 15.8 | 6.0 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 20.9 | 16.9 | 101.1 |
| | 22 | Ru(S, As) ₂ | 2.6 | 15.4 | 15.0 | 24.3 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 25.6 | 12.3 | 99.8 |
| | 24 | RuS ₂ | 0.0 | 3.7 | 18.5 | 38.0 | 2.2 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 34.0 | 2.2 | 99.3 |
| 239 | 24 | RuS ₂ | 0.6 | 7.2 | 38.1 | 21.6 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 29.3 | 2.1 | 99.7 |
| | 25 | RuS ₂ | 0.8 | 16.8 | 27.1 | 21.4 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 29.3 | 2.9 | 98.7 |
| 248 | 4 | RuS ₂ | 0.0 | 10.4 | 18.4 | 33.3 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 31.9 | 1.9 | 96.8 |
| | 64 | RuS ₂ | 0.0 | 4.4 | 46.4 | 18.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 28.6 | 1.2 | 99.2 |
| | 103 | RuS ₂ | 0.0 | 4.0 | 44.9 | 19.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 28.9 | 1.6 | 98.9 |
| 48a | 10 | RuS ₂ | 1.2 | 4.0 | 7.4 | 48.0 | .2 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 35.9 | 1.4 | 99.2 |
| 1 | 32 | RuS ₂ | 0.3 | 19.3 | 15.7 | 30.1 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 25.7 | 5.3 | 98.8 |
| | 34 | RuS ₂ | 1.5 | 21.4 | 40.2 | 5.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 22.7 | 7.5 | 98.5 |
| | 41 | RuS ₂ | 0.0 | 6.5 | 7.3 | 48.3 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 34.1 | 2.6 | 100.1 |
| | 50 | RuS ₂ | 1.4 | 3.8 | 1.1 | 53.6 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 36.4 | 2.0 | 98.6 |
| | 61 | RuS ₂ | 0.3 | 4.4 | 25.3 | 34.9 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 32.8 | 1.1 | 99.2 |
| 26 | 11 | RuS ₂ | 0.6 | 7.2 | 57.4 | 0.2 | 3.3 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 24.4 | 3.3 | 96.5 |
| 28 | 8 | RuS ₂ | 1.0 | 15.0 | 39.9 | 12.7 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 26.3 | 3.8 | 99.1 |
| 243 | 151 | RuS ₂ | 0.2 | 0.7 | 0.2 | 56.5 | 1.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 36.3 | 1.7 | 97.5 |
| 1a | 18 | RuS ₂ | 0.4 | 10.5 | 14.3 | 36.1 | 2.2 | 0.0 | 0.1 | 0.6 | 0.4 | 28.9 | 3.0 | 96.5 |
| | 70 | RuS ₂ | 0.0 | 7.5 | 14.1 | 39.6 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 32.9 | 2.3 | 98.0 |
| | 71 | RuS ₂ | 0.6 | 18.4 | 17.0 | 26.6 | .2 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 31.7 | 3.8 | 99.7 |
| | 102 | Ru(S, As) ₂ | 0.1 | 37.8 | 5.6 | 13.8 | 4.7 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 22.4 | 17.3 | 101.8 |
| | 103 | RuS ₂ | 0.1 | 12.7 | 11.6 | 37.7 | 0.2 | 0.0 | 0.6 | 0.3 | 0.0 | 32.3 | 4.3 | 100.3 |
| 72 | 1 | RuS ₂ | 1.5 | 1.9 | 18.3 | 39.5 | 4.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 34.0 | 2.0 | 101.7 |

На рисунке 5.1 наглядно демонстрируется близость по химическому составу МПГ Аккаргинского месторождения и Красногорского массива

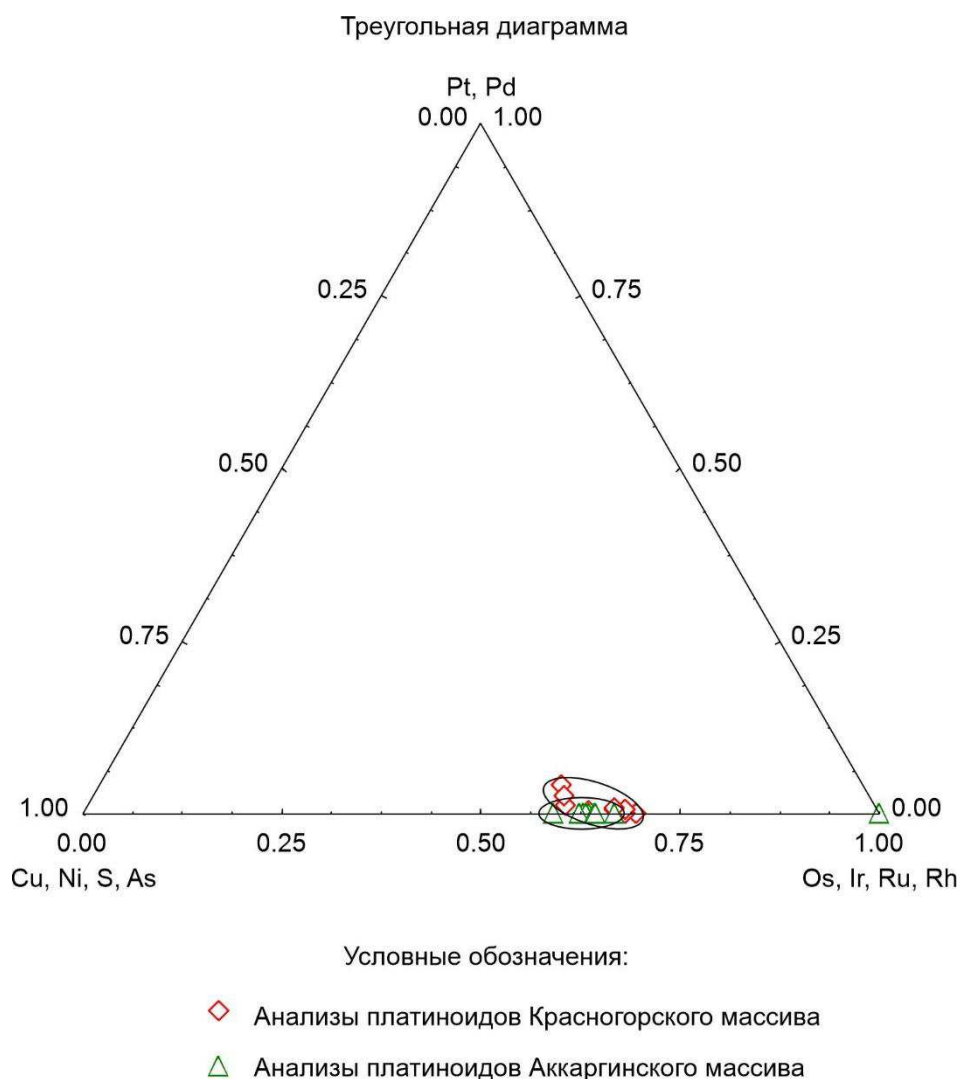


Рисунок 5.1 – Треугольная диаграмма состава МПГ Красногорского и Аккаргинского массивов

Таким образом Красногорский массив может являться аналогом, при дальнейшем более детальном изучении МПГ Аккаргинского месторождения хромитов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлось изучение вещественного состава хромитовых руд на предмет наличия или отсутствия платиноидов, а также установления их минеральной формы залегания.

В геологической части работы были рассмотрены особенности строения и вещественного состава хромитовых руд Аккаргинского месторождения.

В специальной части работы была описана методика отбора каменного материала и его дальнейший анализ, а также были определены изучены минералы-включения в хромите. И вот какие выводы можно сделать:

1. Впервые на Аккаргинском месторождении хромитов (Южный Урал) были выявлены минералы платиновой группы.

2. МПГ представлены самородными элементами (Os, Ir), сульфидами (лаурит, купроиридсит), сульфоарсенидами (ирарсит).

3. Сравнение хромитов месторождения и МПГ с хромитами и МПГ зональных дунит-клинопироксенит-габбровых и офиолитовых массивов Урала и Камчатки показало принадлежность хромитовых руд и МПГ Аккаргинского месторождения к офиолитовым комплексам.

4. Для того чтобы говорить о каких-либо прогнозных ресурсах и запасах, необходимо провести дополнительные исследования с отбором представительных проб и анализов, но не на Pt-Pd (как ранее считалось), а на Os-Ir-Ru.

Данные анализов и выводы по ним будут переданы компании ООО «Аккаргинские хромиты» для дальнейшего изучения и возможной корректировки работ.

Как итог, можно сказать, что месторождение представляет не только практический интерес как месторождение хрома, но и научный, в качестве поля для изучения платиноносности офиолитовых комплексов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Фондовые

1. Посталовский М.А. Отчет о проведении поисковых работ на хромиты в пределах центральной части Аккаргинского массива в 1990-1995 гг. – р/п Домбаровский, 1995.
2. Посталовский М.А. Отчет о проведении поисковых работ на хромиты в пределах Аккаргинского гипербазитового массива в 1978-1980 гг. – р/п Домбаровский, 1980.
3. Бахтин Д.Ф. Отчет о геологических работах проведенных на Аккаргинском хромитоом месторождении в 1937 г. – Свердловск, 1937.
4. Алешин М.И. Геологическое строение и хромитоносность южной части Аккаргинского ультраосновного массива на южном Урале. – 1938.
5. ООО «Аккаргинские хромиты». Проект на выполнение работ по объекту. Проведение разведочных работ на хромовые руды в границах Аккаргинского участка. – Красноярск, 2018.

Изданные

6. Лядский П.В., Чен-Лен-Сон Б.И., Кваснюк Л.Н. Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе, Южно-Уральская серия, Лист N-41-VIII (Косоколь) с клапаном М-41-II– М.: МФ ВСЕГЕИ, 2018.
7. Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М., ГКЗ, 2006, 17 с.
8. Пономарева Г.А., Региональные закономерности распределения платиноидов в Оренбургской части южного Урала. Автореферат. – Екатеринбург, 2013. 26с.
9. Додин Д.А., Чернышов Н.М. Платина России (результаты и направления работ по программе «Платина России»). – СПб.: ВНИИ Океангеология, 2004. 129 с.

10. Абакумова Л.Н., Березнер О.С., Гусев Г.С. и др. Изучение офиолитовых комплексов при геологическом картировании. – Москва, 1994, 254 с.
11. Козлов А.П., Чантурия В.А. Платиносодержащие дунитовые руды и их обогатимость. – М.: УРАН ИПКОН РАН, 2009, 148 с.
12. Дмитриенко Г.Г. Минералы платиновой группы альпинотипных ультрамафитов. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994, 134с.
13. Гурская Л.И. и др. Платиноиды хромитоносных массивов Полярного Урала. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2004. 306 с. + 16 вкл. (Администрация ЯНАО, МПР России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ»).
14. Goble R.I. The leaching of copper from anilite and the production of a metastable copper sulfide structure. – Canadian Mineralogist, 1981, v. 19, p, 583-591.

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

Институт горного дела, геологии и геотехнологий
институт
Геологии месторождений и методики разведки
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.А. Макаров
подпись инициалы, фамилия
« 14 » 06 2022 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

21.05.02 «Прикладная геология»

код и наименование специальности

21.05.02.01 «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений
полезных ископаемых»

код и наименование специализации

Геология и проект на доразведку глубоких горизонтов золоторудного
месторождения Герфед – Южный участок (Енисейский кряж)

(тема)

Структурная и вещественная зональность месторождения

(специальная часть)

Пояснительная записка

Руководитель

23.07.22
подпись, дата

доцент, к.г.-м.н.
должность, ученая степень

П.Н. Самородский
инициалы, фамилия

Выпускник

А.Р. Волгина
подпись, дата

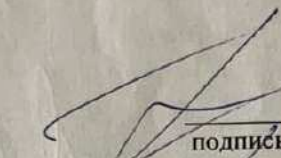
А.Р. Волгина
инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Продолжение титульного листа ДП по теме: «Геология и проект на доразведку глубоких горизонтов золоторудного месторождения Герфед – Южный участок (Енисейский кряж)» со специальной частью «Структурная и вещественная зональность месторождения».

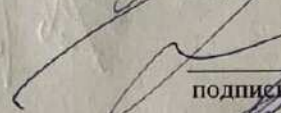
Консультанты по
разделам:

Геологическая часть
наименование раздела

 23.05.22
подпись, дата

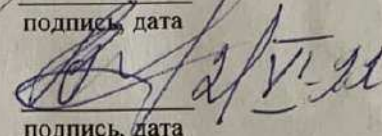
П.Н. Самородский
инициалы, фамилия

Специальная часть
наименование раздела

 23.05.22.
подпись, дата


П.Н. Самородский
инициалы, фамилия

Методическая часть
наименование раздела

 21.05.22
подпись, дата

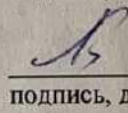
В.Г. Михеев
инициалы, фамилия

Буровые работы
наименование раздела

 31.05.22
подпись, дата

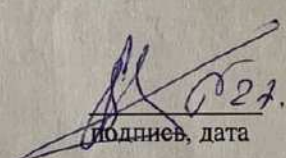
М.С. Попова
инициалы, фамилия

Экономическая часть
наименование раздела

 10.06.22
подпись, дата


Л.Н. Кузина
инициалы, фамилия

Охрана труда и
окружающей среды
наименование раздела

 27.05.22
подпись, дата

А.В. Галайко
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 14.06.22
подпись, дата

Д.А. Внуков
инициалы, фамилия