

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

На правах рукописи



Канимбуе Людмила Салете

**ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ, СОСТАВА РУД
И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ХАРАЕЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА
НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА**

Специальность 1.6.10 Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
доктор геолого-минералогических наук
Таловина Ирина Владимировна

Санкт-Петербург – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА	12
ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ХАРАЕЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА	19
2.1. Краткая характеристика геологической позиции Норильского района	19
2.2. Геологическое строение Хараелахского рудоносного интрузива	22
ГЛАВА 3. ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	26
3.1. Материалы исследования.....	26
3.2. Методы исследования химического состава пород	26
3.3. Методы исследования состава минералов	27
ГЛАВА 4. СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ХАРАЕЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА	29
4.1. Петрографическая характеристика пород.....	31
4.2. Состав породообразующих минералов	35
4.3. Состав второстепенных и акцессорных минералов	42
4.4. Геохимическая характеристика интрузивных пород	47
ГЛАВА 5. СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ХАРАЕЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА	53
5.1. Классификация сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд Хараелахского интрузива	53
5.2. Минералогия сульфидного оруденения.....	54
ГЛАВА 6. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РУДАХ ХАРАЕЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА.....	63
6.1. Особенности химического состава сульфидных руд	63
6.2. Благороднометалльная минерализация в сульфидных рудах.....	69

6.3. Физико-химические параметры формирования сульфидных руд	79
6.4. Модель формирования центральной части Хараелахского интрузива	82
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	88
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	89
ПРИЛОЖЕНИЕ А	105
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	115
ПРИЛОЖЕНИЕ В	128

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Норильский рудный район является основой минерально-сырьевой базы меди, никеля и платиновых металлов России, занимая лидирующие позиции на мировом рынке. Рудный потенциал определяется месторождениями сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд мирового масштаба, которые генетически связаны с дифференцированными базит-гипербазитовыми интрузиями.

Наиболее важными типами руд, разрабатываемыми в настоящее время, являются богатые массивные и «медистые» руды, локализующиеся в нижних экзоконтактной и эндоконтактной зонах интрузивов. В условиях истощения запасов богатых руд изучение вкрапленного оруденения в пикритовых и такситовых габбро-долеритах приобретает особую актуальность. Стоит отметить, что вкрапленные руды содержат свыше 70 % запасов благородных металлов норильских месторождений [Годовой отчет ПАО «ГМК «Норильский никель», 2023], однако, в настоящее время отработка данного типа руд крайне ограничена. В связи с этим весьма перспективной представляется малоизученная центральная часть Хараелахского интрузива, характеризующаяся наибольшей мощностью горизонта вкрапленных руд.

За длительный период эксплуатации норильских месторождений в результате селективной разработки накопился большой объем отходов производства, состоящих в первую очередь из неотработанных вкрапленных руд, а также из хвостов обогащения богатых руд, «лежалых» пирротиновых концентратов. Сформировавшиеся месторождения техногенного сырья содержат запасы и прогнозные ресурсы ЭПГ в несколько сотен тон, что позволяет рассматривать их в качестве дополнительного источника цветных и благородных металлов [Гурская и др., 2016; Государственный доклад..., 2022]. Существует необходимость в усовершенствовании технологий переработки руд для большего вовлечения вкрапленных руд в производство.

Несмотря на высокую степень изученности Норильского района, механизмы концентрации и распределения цветных и благородных металлов остаются

предметами дискуссий, имея не только фундаментальное, но и прикладное значение. Изучение Хараелахского интрузива и приуроченного к нему Октябрьского месторождения играет важную роль в решении генетических проблем ЭПГ-Cu-Ni руд в связи с тем, что на их примере были разработаны основные модели формирования норильских месторождений [Годлевский, 1960; Золотухин, 1971; Лихачев, 1982; Дистлер и др., 1988; Радько, 1991].

Анализ пород и руд Хараелахского интрузива с применением комплекса современных аналитических методов позволил уточнить устоявшиеся модели рудообразования, а также выявить закономерности концентрации цветных и благородных металлов во вкрапленных и массивных рудах.

Степень разработанности темы исследования

Хараелахский интрузив активно изучается с момента открытия Октябрьского месторождения в начале 1960-х годов. С тех пор, многочисленные работы были посвящены вопросам геологического строения, морфологии интрузива и связанного с ним медно-никелевого оруденения [Годлевский, 1960; Додин и др., 1971; Золотухин и др., 1975; Zenko, Czamanske, 1994; Stekhin, 1994; Туровцев, 2002; Лихачев, 1998, 2006; Sluzhenikin et al., 2014; Krivolutskaya et al., 2019, 2021; Никулин, 2020] и многих других.

Детальные исследования минералов платиновых металлов, золота и серебра в рудах Талнахского рудного узла и, в частности, Хараелахского интрузива в разное время были выполнены А.Д. Генкиным, М.Н. Годлевским, О.Е. Звягинцевым, Г.Б. Роговером, Э.А. Кулаговым, М.Ф. Смирновым, В.В. Дистлером, О.А. Дюжиковым, А.А. Филимоновой, В.А. Ковалкером, Т.Л. Евстигнеевой, И.А. Наторхиным, О.Е. Юшко-Захаровой, Е.Н. Сухановой, Л.В. Разиным, В.Д. Бегизовым, Э.М. Спиридоновым, С.Ф. Служеникиным, А. Вымазаловой и другими исследователями.

Стоит отметить, что ранее изучение благороднометалльной минерализации проводилось преимущественно в массивных сульфидных и малосульфидных рудах, как в наиболее богатых типах, и единичные работы посвящены исследованию минералов благородных металлов во вкрапленных рудах [Генкин,

1968; Distler et al., 1999; Komarova et. al., 2002; Tolstykh et al., 2021], что обусловлено редкой встречаемостью этих минералов в данных рудах и мелкими размерами их выделений.

Объектом исследования является Хараелахский дифференцированный интрузив с уникальным сульфидным платиноидно-медно-никелевым Октябрьским месторождением.

Предмет исследования – геологическое строение и закономерности изменения состава пород и руд в центральной части Хараелахского интрузива.

Цель работы – установить особенности геологического строения и закономерности накопления благороднометалльной минерализации во вкрапленных и массивных рудах центральной части Хараелахского интрузива.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

1. Изучить геологические разрезы центральной части Хараелахского интрузива.
2. Определить петрографические, минералогические и геохимические особенности пород и руд центральной части Хараелахского интрузива.
3. Выявить минеральные формы нахождения благородных металлов в сульфидных рудах.
4. Выявить закономерности, определяющие характер распределения благороднометалльной минерализации в сульфидных рудах.
5. Определить физико-химические условия формирования сульфидного оруденения и благороднометалльной минерализации центральной части Хараелахского интрузива.

Научная новизна работы:

1. Выделены Северная и Южная интрузивные ветви центральной части Хараелахского интрузива, отличающиеся последовательностью залегания в вертикальном разрезе лейкогаббро и верхних такситовых габбро-долеритов, а также составом сульфидной вкрапленной минерализации.
2. Выявлены особенности минерального, петрохимического и

микроэлементного состава пород центральной и периферических частей Хараелахского интрузива, позволяющие предполагать его многоэтапное становление.

3. Установлена обратная зависимость температуры кристаллизации минералов благородных металлов от фугитивности серы в рудообразующей системе во вкрапленных рудах и обратная зависимость от степени фракционирования в массивных рудах пределах центральной части Хараелахского интрузива.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Детально изучен состав вкрапленных руд в пикритовых и такситовых габбро-долеритах центральной части Хараелахского интрузива, являющихся весьма перспективным источником металлов платиновой группы. Проведен сравнительный анализ сульфидной и благороднометалльной минерализации в центральной части Хараелахского интрузива. Результаты диссертационного исследования, а именно выявленные различия в минеральном составе сульфидных руд, в распределении, формах нахождения и размерах минералов благородных металлов, играют важнейшую роль для усовершенствования гравитационно-флотационных схем обогащения вкрапленных медно-никелевых руд месторождений Норильского района и других регионов.

Методология и методы исследования

Диссертационная работа основана на результатах изучения пород и сульфидных руд центральной части Хараелахского интрузива. В основу работы положен фактический и аналитический материал из коллекции ведущего научного сотрудника ГЕОХИ РАН, д.г.-м.н. Криволицкой Н.А. Также в диссертации использован материал, предоставленный сотрудниками ООО «Норникель Технические Сервисы».

В ходе исследования был описан керновый материал 7 скважин, проанализировано 150 проб, изготовлено и изучено 220 шлифов и 60 аншлифов горных пород и руд. Выполнено более 1800 локальных измерений состава минералов методами сканирующей электронной микроскопии (Институт

Карпинского, ГЕОХИ РАН) и более 790 измерений рентгеноспектральным микроанализом (ГЕОХИ РАН, ИГМ СО РАН). Анализ валового состава проб проведен в Центральной лаборатории Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского. Концентрации петрогенных элементов в образцах определены методом рентгеноструктурного фазового анализа. Содержания редких, редкоземельных элементов и благородных металлов измерены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Определения массовых долей Ni, Cu, Co выполнены методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Обработка и визуализация аналитических данных проводилась с использованием программного обеспечения: Excel, Statistica 10, WinPyrox, Corel DRAW 2020.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Центральная часть Хараелахского рудоносного интрузива имеет сложное строение, сформировавшееся в результате многоимпульсного внедрения магматического расплава.

2. Массивные талнахитовые руды залежи С-4 центральной части Хараелахского интрузива сформировались при высокой степени фракционирования и имеют повышенные содержания легкоплавких ЭПГ, золота и серебра по сравнению с массивными пентландит-халькопирит-пирротиновыми рудами залежи С-3, обогащенными тугоплавкими ЭПГ.

3. Вкрапленные пентландит-халькопирит-пирротиновые и кубанит-халькопирит-троилитовые руды центральной части Хараелахского интрузива образовались на более ранних стадиях по отношению к массивным пентландит-халькопирит-пирротиновым рудам залежи С-3 и талнахитовым рудам залежи С-4, внедрившихся на заключительном этапе эволюции интрузива.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 1.6.10. Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения по пункту 1 «Условия образования месторождений твердых полезных ископаемых» по следующим подпунктам:

- геодинамические, геологические условия образования, эволюция процессов

рудообразования в истории Земли, эпохи рудообразования, геохронология месторождений и длительность рудообразующих процессов; проблема образования крупных и уникальных месторождений; связь с магматизмом, метаморфизмом и осадконакоплением;

- рудообразующие системы и их генетические модели: магматические, пегматитовые, карбонатитовые, скарновые, грейзеновые, гидротермальные (порфировые, колчеданные, эпитеpmальные и др.);

- структуры и текстуры руд, их происхождение и генетическое значение;

- этапы и стадии рудообразования;

- происхождение металлоносных магм, источники металлов, происхождение и состав минералообразующих флюидов, условия и формы переноса металлов флюидами;

- условия рудообразования по данным флюидных включений, минеральной и изотопной термометрии.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена представительностью каменного материала и проведением аналитических работ в аккредитованных лабораториях современными методами. Новые сведения, полученные в ходе исследования, согласуются с результатами предыдущих работ и дополняют их.

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих конференциях и форумах: XI Российская молодёжная научно-практическая Школа «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, 2022); Международная научно-практическая конференция «Менделеевские чтения. Химические процессы в недрах Земли» (Санкт-Петербург, 2023); XVI Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2023); XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 2023); VIII Всероссийская конференция с международным участием «Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал» (Новосибирск, 2023); Всероссийская конференция

«Минералообразующие системы месторождений высокотехнологических минералов: достижения и перспективы исследований» (Москва, 2023); XIII Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поиска, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» (Москва, 2024).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования, анализе научной литературы по изучаемой проблематике, документации кернового материала. Автор принимал участие в камеральной работе с образцами, пробоподготовке, выполнении лабораторных исследований. Весь объем петрографических и минералогических исследований методом сканирующей электронной микроскопии, а также обработка и визуализация аналитических данных по составу изученных пород и руд выполнены автором лично. Интерпретация, обобщении результатов, формулировка выводов проводились соискателем при участии научного руководителя.

Публикации. Результаты диссертационного исследования освещены в 12 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 6 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 126 наименований, 3 приложений. Диссертация изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунков и 8 таблиц.

Благодарности

Автор выражает благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н. И.В. Таловиной за ценные консультации и поддержку. Автор особенно благодарен д.г.-м.н. Криволицкой Н.А. (ГЕОХИ РАН) за предоставленный материал, всестороннюю поддержку и помощь в подготовке публикаций по теме диссертации. Искренняя признательность выражается сотрудникам ООО

«Норникель Технические Сервисы» Пилюгину А.Г. и Кетрову А.А. за организационную помощь, предоставление материалов, а также за ценные советы. Неоценимую помощь в подготовке минераграфической части диссертации оказали сотрудники отдела минералогических методов анализа Института Карпинского Ляхницкая В.Д., Бильская И.В., Кобзева Ю.В. и доцент кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых Горного университета Воронцова Н.И., за что им выражается огромная благодарность. За детальное проведение электронно-зондовых микроанализов автор признателен аналитикам Грузовой Е.Л. (Институт Карпинского), Демидовой С.И., Коноковой Н.Н. (ГЕОХИ РАН), Королюк В.Н. (ИГМ СО РАН). Отдельная благодарность выражается Гонгальскому Б.И., Бровченко В.Д. (ИГЕМ РАН), Чайка И.Ф. (ИЭМ РАН) за ценные консультации и всестороннюю поддержку.

Работа выполнена при финансовой поддержке Национального института по распределению стипендий Республики Ангола в рамках проекта «Почетный грант» 2022 года.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ НОРИЛЬСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Современная минерально-сырьевая база платиновых металлов России испытывает необходимость в расширении и поиске новых промышленных объектов. В первую очередь это обусловлено снижением производства традиционных источников МПП ввиду постепенного истощения запасов богатых руд и ухудшения их качества. Главную ценность представляют месторождения Норильского рудного района, содержащие свыше 96% разведанных запасов платиновых металлов России.

В дореволюционный период геологические исследования в Норильском районе практически не проводились. Через район прошли отдельные маршруты первопроходцев Великой Северной экспедиции, академика И.Г. Гмелина, Х.П. Лаптева и др. (1733-1742 гг.), в также академика А.Ф. Миддендорфа (1842-1844 гг.). Первые описания геологического строения территории принадлежат А.Ф. Миддендорфу (1860 г.), Ф.Б. Шмидту (1872 г.), Э.В. Толлю (1895 г.), И.А. Лопатину (1897 г.). В 1868 г. А.П. Кытмановым и К. Сотниковым было задокументировано открытие месторождений в Норильском районе. Первые сведения о норильских дифференцированных рудоносных массивах датируются 1919 г., когда Н.Н. Урванцев обнаружил первую рудоносную интрузию Норильск-1. Спустя 7 лет Н.Н. Урванцевым и Б.Н. Рожковым было открыто второе месторождение сульфидных медно-никелевых руд Норильск-2.

Систематические геологические исследования Норильского района были начаты в 1930 г. и связаны с организацией стационарной геологической службы. Материалы маршрутных геологических съемок под руководством Урванцева легли в основу первой геологической карты северной части Туруханского края масштаба 1:200 000, составленной в 1931 г.

Научным фундаментом исследований данного региона стали ранние труды В.К. Котульского, Н.Н. Урванцева, Н.С. Зонтова, В.С. Домарева, М.Н. Годлевского, Г.Б. Роговера, М.Ф. Смирнова, Г.М. Шешуковой, К.И. Куличенко, Е.Г. Багратуни, И.Ф. Григорьева, А.И. Корешкова, А.Н. Розанова, Г.М. Русецкой, Ю.М. Шеймана

и многих других исследователей. В их монографиях охарактеризованы стратиграфия осадочных пород, эффузивная трапповая толща и интрузивные породы, основные особенности структуры и тектоники района, а также впервые приведена детальная информация о рудоносных интрузивах, некоторых особенностях их вещественного состава и вертикальной зональности. основополагающие работы Б.Н. Рожкова «Материалы по металлоносности сибирских траппов» (1933) и В.С. Соболева «Петрология траппов Сибирской платформы» (1936) определили главные направления исследования в области изучения траппового магматизма и ассоциирующегося с ним оруденения. Позднее М.Н. Годлевский наиболее полно охарактеризовал магматизм Норильского района, выделив 4 вулканических цикла: один в перми и три в триасе [Годлевский, 1959].

При участии сотрудников НИИГА, ЗСГУ, ГУСМП, ВАГТ, НКГРЭ с 1937 по 1955 год было проведено крупномасштабное геологическое и геофизическое картирование всего Норильского региона и прилегающих территорий. Составленный комплект карт сыграл большую роль в разработке критериев прогноза и поисков месторождений, выявлении конкретных перспективных объектов [Додин и др., 1971].

Интенсивные геологоразведочные работы, проводившиеся на различных объектах Норильского рудного района в 50-60-х годах, позволили выделить главные особенности условий локализации рудоносных интрузий и контроля их внедрения со стороны крупных долгоживущих разломов. Значимый вклад в изучение геологии и рудоносности Норильского района в этот период внесли В.Ф. Кравцов, Г.Д. Маслов, М.К. Иванов, Е.Н. Суханова, В.С. Нестеровский, Ю.Д. Кузнецов, В.В. Золотухин, Г.И. Кавардин, В.Н. Егоров, М.Л. Шерманов, А.И. Архипова, Д.М. Туровцев, В.К. Степанов, Н.С. Малич, О.А. Дюжиков, В.В. Дистлер, В.А. Люлько, Д.А. Додин, А.А. Филимонова, А.Д. Генкин, Т.Н. Сироткина и другие.

По мере накопления знания обобщались в монографиях «Геологическое строение и минеральные ресурсы Норильского района» (1952), «Траппы и рудоносные интрузии Норильского района» (1959), «Петрология и рудоносность

Талнахских и Норильских дифференцированных интрузий» (1971), «Геология и полезные ископаемые Норильского района» (1971), «Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений» (1981), «Геология и рудоносность Норильского района» (1988) и в многочисленных статьях.

Специализированные геологические работы в регионе сопровождались разносторонними тематическими работами коллективов ведущих научно-исследовательских институтов: НИИГА, ЦНИГРИ, ИМГРЭ, ВСЕГЕИ, ВНИИОкеангеология, МГУ, ИГЕМ, ВНИГРИ, Севморгео, СНИИГГиМС, ИГиГСОАН. Впоследствии было изучено геологическое строение района, выявлено размещение различных видов полезных ископаемых, выполнено палеонтологически обоснованное расчленение отложений от кембрия до перми, триасовых вулканогенных и интрузивных образований, а также четвертичных отложений; разрывные нарушения классифицированы по возрасту, глубинам заложения, выделен ряд пликативных структур различного порядка района [Падерин и др., 2016].

Подведением итогов геолого-съёмочных и поисковых работ в районе было составление и издание в 1957-1959 гг. государственной геологической карты СССР масштаба 1: 1 000 000 по листам R-44, 45 и R-46, 47, а также сводных геологических карт разного содержания масштаба 1: 500 000 и геологической карты Норильского района масштаба 1: 200 000 [Ковригина и др., 2000]. Авторы приводят стратиграфическое расчленение осадочных отложений до ярусов и свит, интрузивный комплекс разделен на недифференцированные, слабодифференцированные и дифференцированные интрузивы.

С 1954 по 1964 г. Западным геофизическим трестом и НИИГА проведена среднемасштабная аэромагнитная съёмка, материалы которой впоследствии изданы в масштабе 1:1 000 000 и 1: 200 000. Район был пересечен несколькими профилями глубинных сейсмических зондирований.

Вся совокупность полученных геолого-геофизических данных способствовала открытию в 1960 г. Талнахской, а затем Хараелахской интрузий, с которыми, как выяснилось позднее, связаны уникальные платиноидно-медно-

никелевые месторождения. При проведении геологической съемки масштаба 1:50 000 совместно с поисковым бурением под руководством Люлько В.А. были выявлены руды Октябрьского месторождения. По итогам работ описана Нижнеталнахская интрузия, изучены стратиграфия, магматизм, тектоника района. Предварительная и детальная разведки на месторождениях Талнахского рудного узла проводились практически без перерывов с 1961 по 1986 г. и завершились подсчетом запасов и постановкой на государственный баланс богатых, медистых и вкрапленных руд. Работы осуществлялись под руководством Егорова В.Н., Кравцова В.Ф., Ваулина Л.Л.

Наличие в массивах богатой платинометалльной минерализации было обнаружено в 1920-х годах Н.К. Высоцким при детальном изучении коллекций пирротиновых долеритов [Рябов, 1994]. Однако первое детальное описание минералов платиновых металлов, их состава, характера выделения было представлено в трудах Генкина А.Д., Евстингнеевой Т.Л., Дистлера В.В., А.Г. Бетехтина [Генкин, 1968; Бегизов, 1977; Генкин и др., 1981; Genkin, Evstigneeva, 1986].

В течение 70-х годов XX века проводились поисковые работы в центральной части Норильской мульды, в пределах Южного и Дудинского Ергалаха, в Боярко-Делканской мульде, на Восточно-Вологочанской мульде, в пределах северо-западных бортов Хараелахской и Вологочанской мульд (Рисунок 1.1.1). Совместное применение геологических и геофизических методов позволили скорректировать положение подошвы базальтов и основных глубинных разломов, являющихся в Норильском районе рудоконтролирующими.

В 1976 году по результатам тематических работ по разбраковке дифференцированных интрузий Норильского района Дюжиковым О.А. произведено расчленение интрузивов по степени их продуктивности с учетом петрографического и минералогического анализов. Федоренко В.А. разработаны критерии поисков медно-никелевых месторождений на основе структурно-фациального анализа вулканогенных отложений пермско-триасового возраста в комплексе с петрологическими исследованиями [Дюжиков и др., 1988].

Тарасов А. В. в результате специальных исследований, проведенных с 1979 по 1989 гг., разработал геолого-структурные модели рудного района, поля и месторождения Норильского типа. Впервые были выделены и обоснованы структурные, петрографические, петрохимические и минерально-геохимические критерии прогноза промышленно-рудноносных интрузивов и залежей богатых руд [Тарасов, 1976]. В этот же период ряд ученых, в том числе Лихачев А.П., Степанов В.К., Туганова Е.В., Шадрин А.М. разработали геологические модели образования месторождений медно-никелевых руд и петрологические критерии разделения рудоносных интрузивов на основе палеотектонических, геолого-структурных, петро-геохимических, петрографо-минералогических, сульфидно-минералогических, рудно-геохимических исследований [Степанов, 1981; Лихачев, 1982; Туганова, 1988].

Вследствие многолетнего анализа геолого-геохимических материалов по никеленосности Норильского района (1975-1995 гг.) Додин Д.А. усовершенствовал методику изучения распределения элементов в коренных породах, рыхлых отложениях, шлихах и водах, а также составление прогнозных геохимических карт масштаба 1:200 000 медно-никелевой рудоносности Норильского рудного района.

В течение 90-х проводились поисковые работы по оценке перспектив глубоких горизонтов и флангов Норильского рудного узла на богатые медно-никелевые руды, а также на поиски дифференцированных интрузий и связанного с ними промышленного оруденения на глубоких горизонтах Талнахского рудного узла.

В конце XX и в начале XXI века НКГРЭ, а затем ПО и ООО «Норильскгеология» выполнили групповую геологическую съемку масштаба 1:50 000 с общими поисками и глубинным геологическим. Детально изучено Октябрьское медно-никелевое месторождение, связанное с Хараелахской рудоносной интрузией. Прослежены зоны разломов, благоприятные для локализации дифференцированных интрузивов с сульфидным платиноидно-медно-никелевым оруденением.

С 2002 г. по 2016 гг. на территории Норильского района специалистами ООО «Норильскгеология» были проведены ревизионные работы, что способствовало увеличению прироста богатых руд на флангах Октябрьского и Талнахского месторождений. По результатам работ было открыто Масловское платиноидно-медно-никелевое месторождение, расположенное в южной части интрузии Норильск-1 [Никулин и др., 2019, 2020].

В последние годы значимый вклад в изучение норильских руд внес научный коллектив под руководством Радько В.А. В результате многолетних исследований впервые были выделены фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района [Радько, 2016]. Предложены усовершенствованные методики локального и регионального прогноза, показавшие положительные результаты на территории Талнахского и Норильского рудного узла.

Таким образом, благодаря всесторонним производственным и научно-исследовательским геологическим работам дифференцированные базит-ультрабазитовые интрузии и рудовмещающие их палеозойско-мезозойские осадочно-вулканические породы Норильского района изучены на высоком уровне.

Механизм происхождения норильских месторождений и концентрации металлов остаются дискуссионным и освещается в работах ведущих специалистов на протяжении многих лет [Годлевский, 1959; Дистлер и др., 1988; Радько, 1991; Naldrett et al., 1992; Li et al., 2009; Малич и др., 2010; Lightfoot, Evans-Lamswood, 2015; Krivolutskaya, 2016; Малич и др., 2018; Barnes et al., 2019; Tolstykh et al., 2019; Krivolutskaya et al., 2019, 2021; Yao et al., 2021; Gritsenko et al., 2022, Крылов и др., 2023]. Среди множества гипотез и моделей образования месторождений Норильского района можно выделить следующие:

1. ликвационно-магматическая (В.К. Котульский, М.Н. Годлевский, А.П. Лихачев, О.А. Дюжиков, В.В. Дистлер и другие);
2. гидротермальная (А.Н. Елисеев);
3. инфильтрационно-метасоматическая (В.В. Золотухин, И.Н. Горяинов, И.А. Наторхин);
4. трансмагматическая (И.А. Зотов, А.А. Маракушев);

5. модель «магматических проводников» (В.А. Радько, А.Дж. Налдретт).

На данный момент доминирующими являются магматическая гипотеза и «магматических проводников». Хараелахский интрузив играет важнейшую роль в построении генетических моделей формирования норильских месторождений. При этом основное внимание уделяется минеральному составу его сульфидных руд, в то время как геологическое строение интрузива, имеющее решающее значение для понимания генезиса руд, менее изучено. Отсутствие достоверной геологической информации негативно сказывается на развитии представлений о происхождении становления рудоносных интрузий.

ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ХАРАЕЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА

2.1. Краткая характеристика геологической позиции Норильского района

Норильский район занимает положение на северо-западной окраине Сибирской платформы в зоне сочленения последней со структурами Енисей-Хатангского рифтогенного прогиба и Западно-Сибирской плиты (Рисунок 2.1.1) [Струнин, 1994]. Район приурочен к Приенисейскому мегаблоку, составляющему крайнюю западную часть Енисейско-Оленекского рудного пояса, что и определило его специфику тектонического режима, особенности глубинного строения, состава позднепалеозойских-раннемезозойских вулканогенных образований, развитие дифференцированных интрузивов и ассоциирующего оруденения.

В современном структурном плане большая часть района обособляется как единый блок, который на севере сопряжен с крупнейшими взаимосвязанными рифтогенными системами, на востоке от сопредельной Тунгусской синеклизы ограничивается зоной транскоровых разломов, на юге – Курейским глубинным разломом, принадлежащим Курейско-Оленекскому линеamentу [Люлько и др, 1994].

Тектоническое строение Норильского района определяется комбинацией разноориентированных пликтивных структур значительной амплитуды и развитием крупных разломов (Рисунок 2.1.2). Дизъюнктивные нарушения принадлежат трем главным системам:

1)северо-северо-восточная (10-30°): разломы Пясинский, Норильско-Хараелахский, Имангдинский и другие;

2)северо-восточная (40-60°): разломы Север-Хараелахский, Абагалдский, Микчандинский и другие;

3)северо-северо-западная (330-350°): разломы Кумгинский, Краевой, Водораздельный и другие [Никулин, 2020].

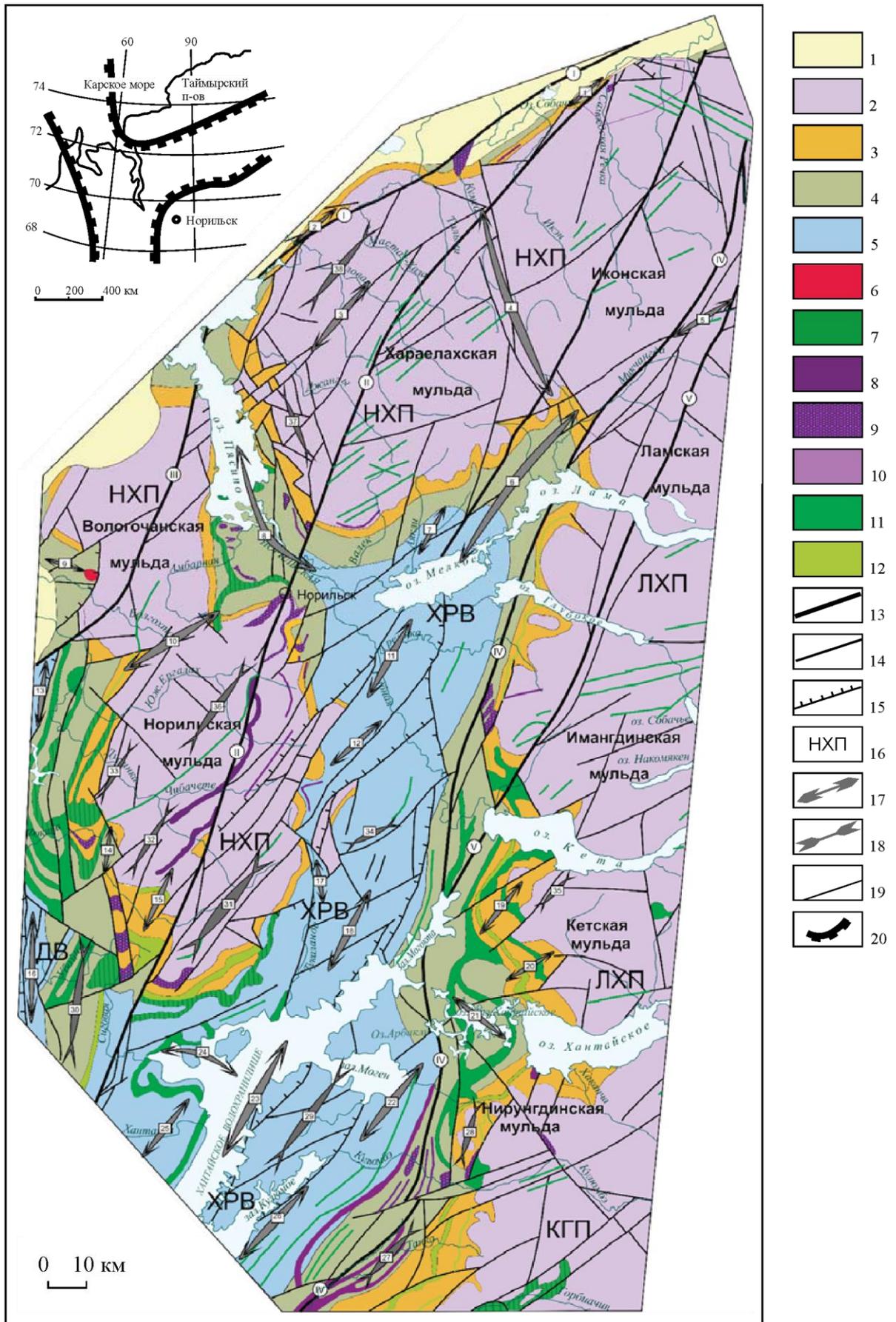


Рисунок 2.1.1 – Схематическая геолого-структурная карта Норильского рудного района [по Струнин и др., 1994].

Структурно-формационные комплексы: 1 – мезозойско-кайнозойский, 2 – верхнепалеозойско-нижнемезозойский, 3 – верхнепалеозойский, 4 – среднепалеозойский, 5 – вендско-раннепалеозойский. Интрузивные комплексы: 6 – гранитоиды болгохтохского комплекса, 7 – габбро-долериты далдыканского комплекса, 8 – дифференцированные интрузии моронговского комплекса, 9 – дифференцированные интрузии норильского комплекса, 10 – дифференцированные интрузии курейского комплекса, 11 – габбро-долериты, долериты катангского комплекса, 12 – умеренно-щелочные долериты ергалахского комплекса. Дизъюнктивные структуры: 13 – глубинные разломы (I - Северо-Хараелахский; II – Норильско-Хараелахский; III - Пясинский; IV – Имангдино-Летнинский; V - Кета-Ирбинский), 14 – прочие разломы, 15 – надвиги. Пликативные структуры: 16 – структуры II порядка (ДВ - Дудинский вал (покровная пластина); НХП – Норильско-Хараелахский прогиб; ХРВ - Хантайско-Рыбнинский вал; ЛХП – Ламско-Хантайский прогиб; КРП – Курейско-Горбиачинский прогиб), 17 – структуры III порядка (антиклинали: 1 – Самоедская, 2 – Чернореченская, 3 – Дьянговская, 4 – Кумгинская (вал), 5 – Аяно-Амбардахский вал, 6 – Микчангдинская, 7 – Аяклинская, 8 – Кайеркано-Пясинская, 9 – Болгохтохская, 10 – Дудинско-Кайерканская, 11 – Гремякинская, 12 – Чопкинская, 13 – Покольская, 14 – Фокинская, 15 – Озернинская, 16 – Енисейская, 17 – Туколандинская, 18 – Могоктинская, 19 – Даптунская, 20 – Каланская, 21 – Верхнехантайская, 22 – Кулюмбинская, 23 – Хантайская, 24 – Сиговская, 25 – Тиховская, 26 – Кулюмбинская), 18 – структуры III порядка (синклинали: 27 – Брусская, 28 – Лево-Могенская, 29 – Могенская, 30 – Убойнинская, 31 – Лонтокойская, 32 – Серебрянская, 33 – Дуновейская, 34 – Лево-Омненская, 35 – Лонгачинская, 36 – Южно-Ергалахская, 37 – Талнахская (зона грабенов), 38 – Таловская (мульда)), 19 – границы структурно-формационных и интрузивных комплексов, 20 - тройное сочленение рифтов (на врезке).

Хараелахская и Норильская мульды определяют положение Талнахского и Норильского рудных узлов, а структура этих узлов связана с системами разрывов северо-восточного и северо-западного простирания [Криволуцкая и др., 2009; Мирошникова, 2019].

Главными магмо- и рудоконтролирующими структурами являются Норильско-Хараелахский и Имангдино-Летнинский глубинные разломы, имеющие северо-северо-восточное простирание, и Северо-Хараелахский, совпадающий с южной границей Енисейско-Хатангского прогиба [Надретт, 2003; Дюжиков, 2015].

Породы консолидированного архейско-протерозойского складчатого

фундамента не вскрыты в эрозионном срезе, разбиты многочисленными разломами. Вулканогенно-осадочный чехол, мощность которого достигает 18 км, смят в системы пологих брахиосинклиналей и более крутых антиклиналей [Спиридонов, 2010].

Стратифицированные комплексы чехла представлены карбонатно-терригенными верхнепротерозойскими отложениями, карбонатно-глинистыми сульфатоносными ниже- и среднепалеозойскими осадками, вулканогенными породами верхнего палеозоя и мезозоя, рыхлыми образованиями мезозоя-кайнозоя [Рябов и др., 2001; Никулин, 2020]. В составе вулканической толщи насчитываются 11 свит, среди которых выделяют покровы спилитов, двуполевошпатовых порфиритов, пикритовых и толеитовых габбро-долеритов, от оливиновых до толеитовых базальтов с подчиненными им туфами и туффитами.

Норильский район характеризуется аномальным магматизмом с широким развитием продуктов глубинной дифференциации, что находит отражение в различии химического состава лав даже в пределах одного вулканического цикла [Зотов, 1979; Додин, 2001].

2.2. Геологическое строение Хараелахского рудоносного интрузива

Хараелахский дифференцированный рудоносный интрузив норильского типа примыкает к западному борту Норильско-Хараелахского разлома и имеет северо-западное падение. Интрузив представляет собой пластинообразное тело площадью около 30 км² с линзовидным строением разреза фронтальной части и резким воздыманием подошвы в бортах. На всей площади развития интрузив локализуется в пределах пологой синклинальной структуры, ограниченной Главным тектоническим швом с востока и Осевым разломом с запада [Золотухин и др., 1975, Дистлер и др., 1988; Туровцев, 2002].

В поперечном сечении интрузив представляет собой линзу, наклоненную в соответствии с падением вмещающих пород к северо-востоку. Средняя мощность составляет 70 метров, однако в ядрах синклинальных структур может достигать 280 метров [Радько, 2016].

Вмещающими породами являются аргиллитовые отложения разведчининской и курейской свит (D₂rz и D₁Kr), во фронтальных частях также галогенно-карбонатно-мергелевыми отложениями мантуровской свиты (D₂mt). В направлении погружения интрузива на северо-восток на отдельных участках переходит в отложения зубовской свиты нижнего девона (D₁zb) (Рисунок 2.2.1) [Дюжиков, 2015].

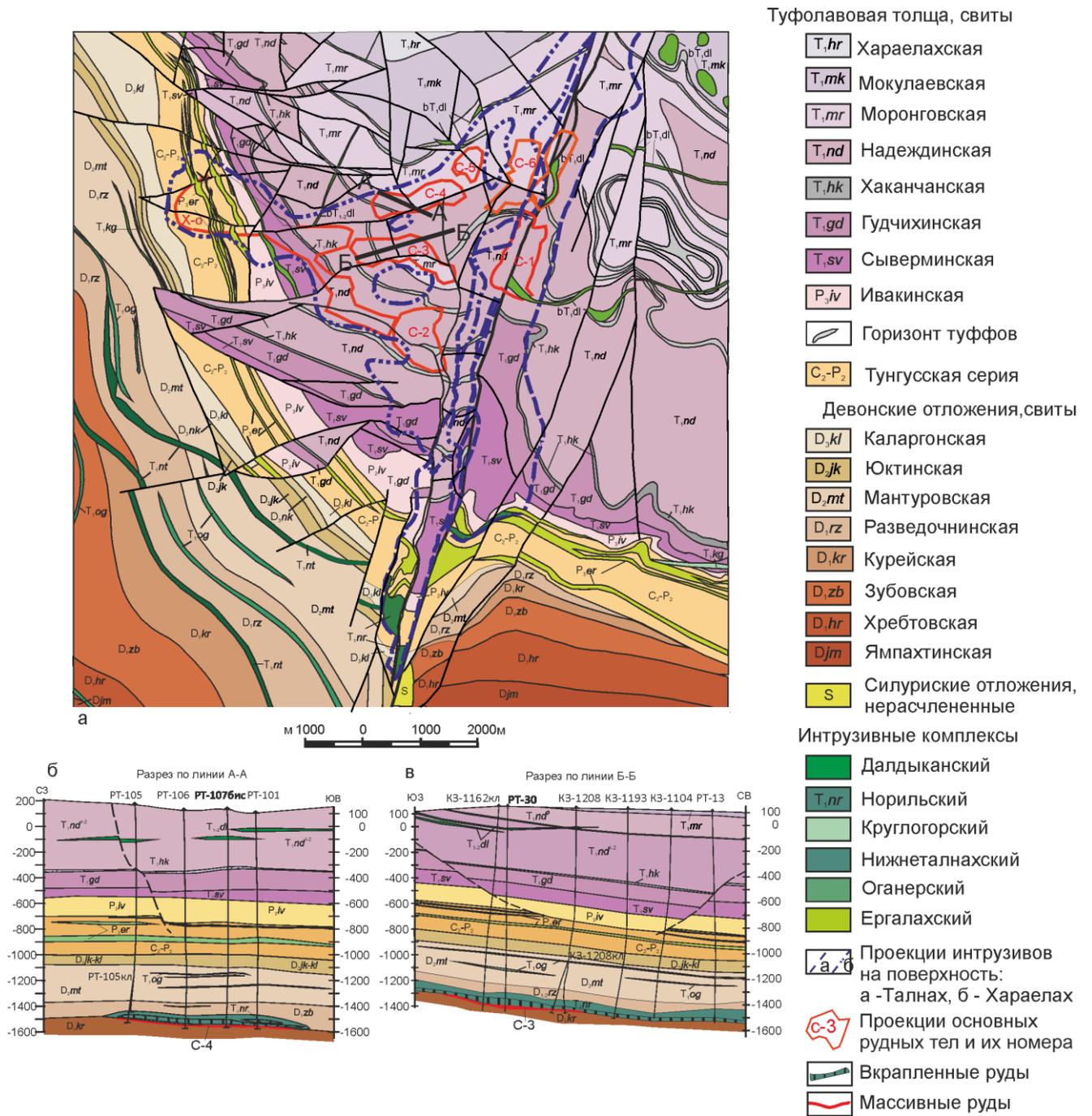


Рисунок 2.2.1 – Геологическая карта (а) и разрезы по рудным залежам С-4 (б) и С-3 (в)

Талнахского рудного узла по [Krivolutskaya et al., 2021].

Интрузив четко дифференцирован, что наиболее проявлено в его центральной части. В разрезе сверху вниз выделяют 3 серии пород. В состав верхней дифференцированной серии входят верхние контактовые габбро-долериты, лейкогаббро, гибридно-метасоматические лейко- и меланократовые породы, такситовидные габбро-долериты. В основную дифференцированную серию входят безоливиновые, оливиносодержащие, оливиновые, пикритовые габбро-долериты со шлирами троктолитов и плагиооливинитов. Данная серия наиболее выдержана по площади и распространена повсеместно. Нижнюю габбровую дифференцированную серию слагают такситовые и контактовые габбро-долериты, гибридно-метасоматические породы.

Во фланговых частях Хараелахский интрузив расщепляется на серии тел, постепенно сменяясь вначале маломощными (10-30 м) дифференцированными линзами габбро-долеритов, а далее – недифференцированными телами плагиопорфировых долеритов и микродолеритов [Туровцев, 2002, Krivolutskaya et al., 2019, 2021]. Также на флангах и во фронтальных зонах происходит выпадание горизонтов пикритовых и такситовых габбро-долеритов, наблюдается брекчирование пород с образованием мощных зон эруптивных брекчий.

Октябрьское месторождение Хараелахского интрузива имеет наиболее мощные рудные залежи и самое высокое содержание сульфидов, которое достигает 30% [Лихачев, 1996]. Позиция Октябрьского месторождения в геологической структуре Норильского района определяется его приуроченностью к центральной части Норильско-Хараелахского прогиба, наличием полнодифференцированного интрузива норильского типа, локализованного в девонском горизонте в юго-западном борту Хараелахской мульды, смежном с северо-восточным крылом Кайеркано-Пясинской брахиантиклинали, по периферии которой сконцентрированы почти все известные в районе промышленные месторождения сульфидных медно-никелевых руд [Мирошникова, 2017].

В пределах Хараелахского интрузива выделяют более 15 интрузивных тел, различных по размеру и составу сульфидной минерализации (Рисунок 2.2.2 а) [Золотухин, 1975; Dyuzhikov et al., 1992]. В данной работе изучены 2 интрузивные

ветви в центральной части Хараелахского интрузива, в которых наблюдается его наиболее полный разрез. Данные ветви названы как Северная и Южная по их взаимному расположению [Криволицкая и др., 2023; Толстых и др., 2023; Канимбур и др., 2024]. К подошвам ветвей приурочены залежи массивных руд Третья Северная (С-3) и Четвертая Северная (С-4), находящиеся в пределах рудника «Таймырский» [Лихачев, 1996; Крылов и др., 2023]. (Рисунок 2.2.2 б). На сегодняшний день этот участок Октябрьского месторождения не отработан.

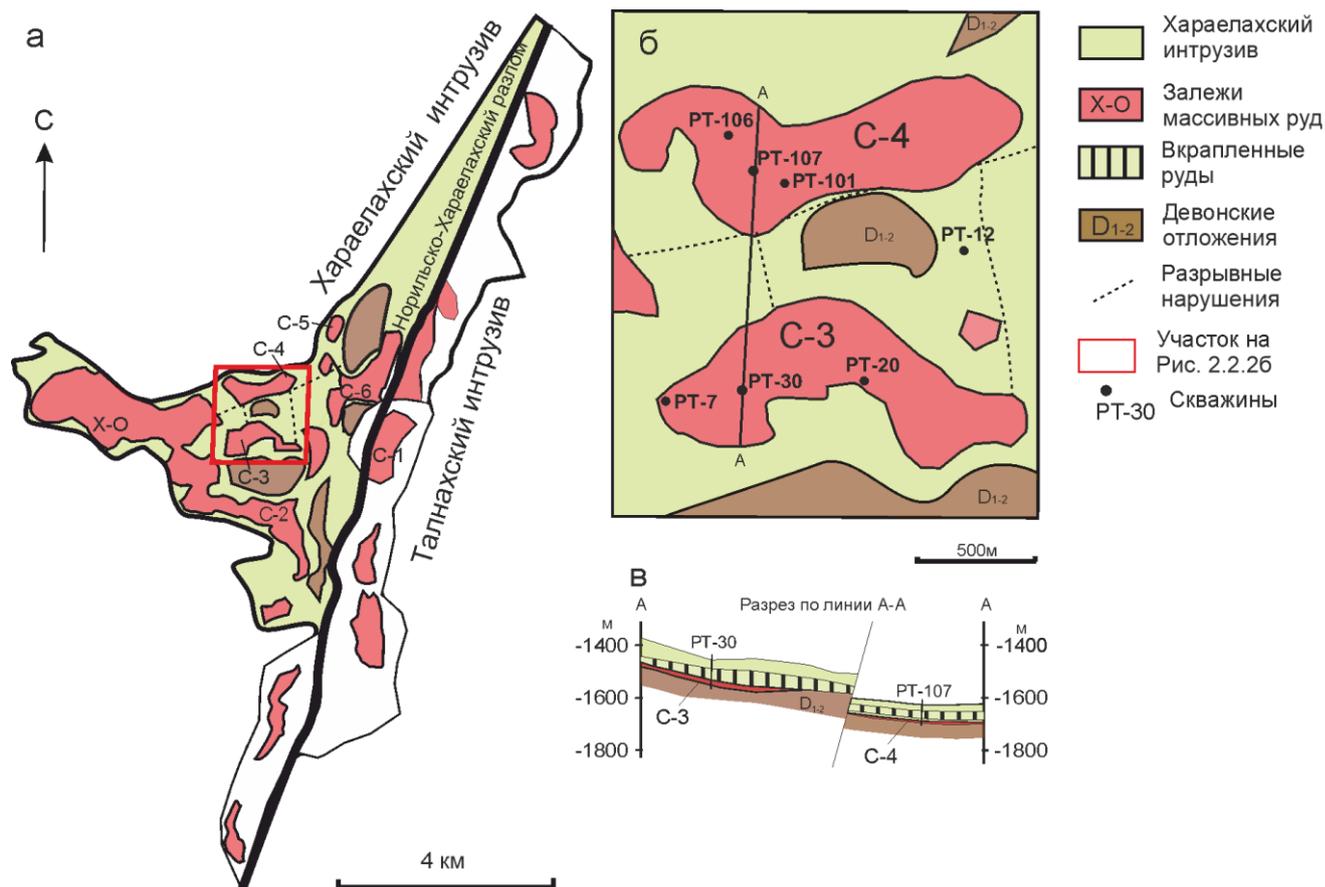


Рисунок 2.2.2 – Проекция Талнахского рудного узла (а); б – участок исследований в центральной части Хараелахского интрузива (б); в – схематический разрез через залежи С-3 и С-4 по [Кравцов и др., 1987].

ГЛАВА 3. ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Материалы исследования

Для решения поставленных задач был изучен керн скважин, пробуренных в центральной части Хараелахского интрузива.

Основная часть фактического материала, использованного в диссертационной работе, любезно предоставлен ведущим научным сотрудником лаборатории магматических и метаморфических пород ГЕОХИ РАН, д.г.-м.н. Криволицкой Н.А. Кроме того, в диссертации использован материал, предоставленный компанией ООО «Норникель Технические Сервисы» (с небольшими изменениями в содержаниях полезных компонентов в рудах для соблюдения требований конфиденциальности). В ходе исследования автором описан керновый материал 7 скважин рудника Таймырский (РТ-7, РТ-12, РТ-20, РТ-30, РТ-101, РТ-106, РТ-107), отобрано 150 образцов горных пород и руд с интервалом отбора не более 5 м. Разрезы по скважинам РТ-30 и РТ-107 были использованы в качестве опорных и наиболее детально изучены. Для петрографических и минераграфических исследований изготовлено и изучено 220 шлифов и 60 аншлифов.

Для уточнения геологического строения изучаемого объекта был собран и изучен обширный картографический и литературный материал по Норильскому району.

3.2. Методы исследования химического состава пород

С целью проведения геохимических исследований были выбраны представительные пробы, которые подвергались дроблению, истиранию и квартованию. Аналитические работы проводились в Центральной лаборатории Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского. Содержание петрогенных элементов в породах определялось методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа на спектрометре ARL 9800 по стандартной методике. Пределы обнаружения составляли: 0,1% для MgO и Na₂O; 0,05% для Al₂O₃ и P₂O₅; 0,02% для SiO₂; 0,01% для TiO₂, Fe₂O₃, MnO, CaO, K₂O; 0,005% для Ba и V.

Определения массовых долей Ni, Cu, Co выполнены методом атомно-эмиссионной спектromетрии с индуктивно-связанной плазмой на атомно-эмиссионном спектрометре с ИСП модели «IRIS Advantage» фирмы «ThermoElemental». Содержание редких и редкоземельных элементов измерено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре ELAN-DRC-6100. Анализ предшествовало истирание проб до пудры и кислотное разложение. Определение содержаний благородных металлов проводилось пробирно-масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой с предварительным пробирным концентрированием, с использованием никелевого штейна в качестве коллектора.

3.3. Методы исследования состава минералов

С целью проведения петрографических и минераграфических исследований было изготовлено 220 прозрачно-полированных шлифа горных пород и 60 аншлифов руд. Детальное описание препаратов проводилось с использованием оптического микроскопа Axio ImagerA2m и микроскопа Leica DM750 M, оборудованных цифровым фотоаппаратом.

Состав породообразующих минералов определен на рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализаторе Camscan SX 100, оснащенный 5 волновыми спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром Bruker XFlash 6 (ГЕОХИ РАН, аналитик Конокова Н.Н.). Анализы проводились при ускоряющем напряжении 20 кВ, силе тока зонда 40 нА. Накопление спектра составляло 10 секунд для главных элементов и 20 секунд для примесей. Выполнено 180 точечных определений.

Состав и морфология силикатных минералов, оксидов, сульфидов и минералов благородных металлов изучен на сканирующем электронном микроскопе Vega3 фирмы Tescan, оснащенный системой энергодисперсионного микроанализа Oxford INCA Energy (Институт Карпинского, аналитик Грузова Е.Л.); на сканирующем электронном микроскопе Tescan Mira3 с автоэмиссионным катодом Шоттки (ГЕОХИ РАН, аналитик Демидова С.И.). Для калибровки интенсивности зонда проводилась оптимизация кобальтовым стандартом при

фокусном расстоянии 15 мм. Анализы осуществлялись при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока зонда 1,8 нА. Продолжительность непосредственного накопления спектра составляла 30 секунд для силикатных минералов, 50 секунд для сульфидных минералов. Обработка данных анализа проводилась с помощью программного обеспечения TESCAN Essence. Всего методом сканирующей электронной микроскопии получено более 1800 точечных анализов. Морфология и характер сростания минералов благородных металлов изучены в 260 микрофотографиях.

Количественная оценка состава сульфидных минералов проводилась на рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализаторе JXA-8230 фирмы JEOL, оснащенный пятью кристалл-дифракционными спектрометрами (ИГМ СО РАН, аналитик Королюк В.Н.). Анализы выполнялись по методике [Лаврентьев и др., 2015] при ускоряющем напряжении 20 кВ, ток 50 нА, время набора сигнала – 30 с. Всего обработано 790 микрозондовых анализов. В качестве стандартов применялись использовались синтетические фазы состава CuFeS_2 , FeS_2 , сплав FeNiCo (53% Fe, 28,8% Ni, 18,2% Co).

Расчет компонентного состава пироксенов и их классификация проведены с использованием программы WinPyrox [Yavuz, 2013]. Обработка и визуализация аналитических данных проводилась с использованием программного обеспечения: Excel, Statistica 10, Corel DRAW 2020.

ГЛАВА 4. СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ХАРАЕЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА

Для исследования строения центральной части Хараелахского интрузива были изучены скважины, вскрывшие Южную ветвь и залежь С-3 (РТ-30, РТ-7, РТ-20), Северную ветвь и залежь С-4 (РТ-101, РТ-107, РТ-106), а также скважина РТ-12, находящаяся между интрузивными телами. В качестве опорных были выбраны скважины РТ-30 и РТ-107, представляющие наиболее полный разрез интрузива.

В центральной части Хараелахского интрузива сверху вниз выделяют верхнюю дифференцированную серию, состоящую из верхних контактовых габбро-долеритов и микродолеритов, крупнозернистых лейкократовых габбро; основную дифференцированную серию, сложенную габбро-долеритами от безоливиновых до оливиновых, а также пикритовыми габбро-долеритами; и нижнюю габбровую дифференцированную серию, в которую входят такситовые, такситовидные и нижние контактовые габбро-долериты.

Детальное изучение скважин центральной части Хараелахского интрузива показало, что в основной части разреза интрузивные ветви имеют сходное строение (Рисунок 4.1). Однако, в Южной ветви верхняя часть разреза содержит лейкогаббро, в то время как в Северной ветви вместо них наблюдаются верхние такситовые габбро-долериты. Расположение такситовых габбро-долеритов в верхней части разреза свидетельствует против кристаллизационной дифференциации, так как богатые оливином породы присутствуют как в верхней, так и в нижней части интрузива.

По скважине РТ-12 Хараелахский интрузив демонстрирует сложное строение, проявляющееся в нарушении порядка залегания дифференциатов. В верхней части разреза наблюдается последовательность от лейкогаббро до контактовых габбро-долеритов, типичная для интрузивов норильского типа. Нижняя часть скважины представляет собой сокращенную последовательность, в которой отсутствуют лейкогаббро и безоливиновые габбро-долериты. Такое строение интрузива может быть результатом двухфазного внедрения

магматического расплава, при котором нижняя часть разреза сформировалась более поздней порцией расплава после полной дифференциации верхней части.

Ранее [Золотухин и др., 1975; Малич и др., 2017; Звездов, 2020] также отмечалось сложное строение интрузива и присутствие 2 горизонтов пикритовых габбро-долеритов в одном разрезе, которое интерпретировалось как свидетельство двухфазного формирования Хараелахского интрузива. Подобное также наблюдается в разрезе интрузива Норильск-1, где такситовые габбро-долериты пересекают пикритовые габбро-долериты [Роговер, 1959].

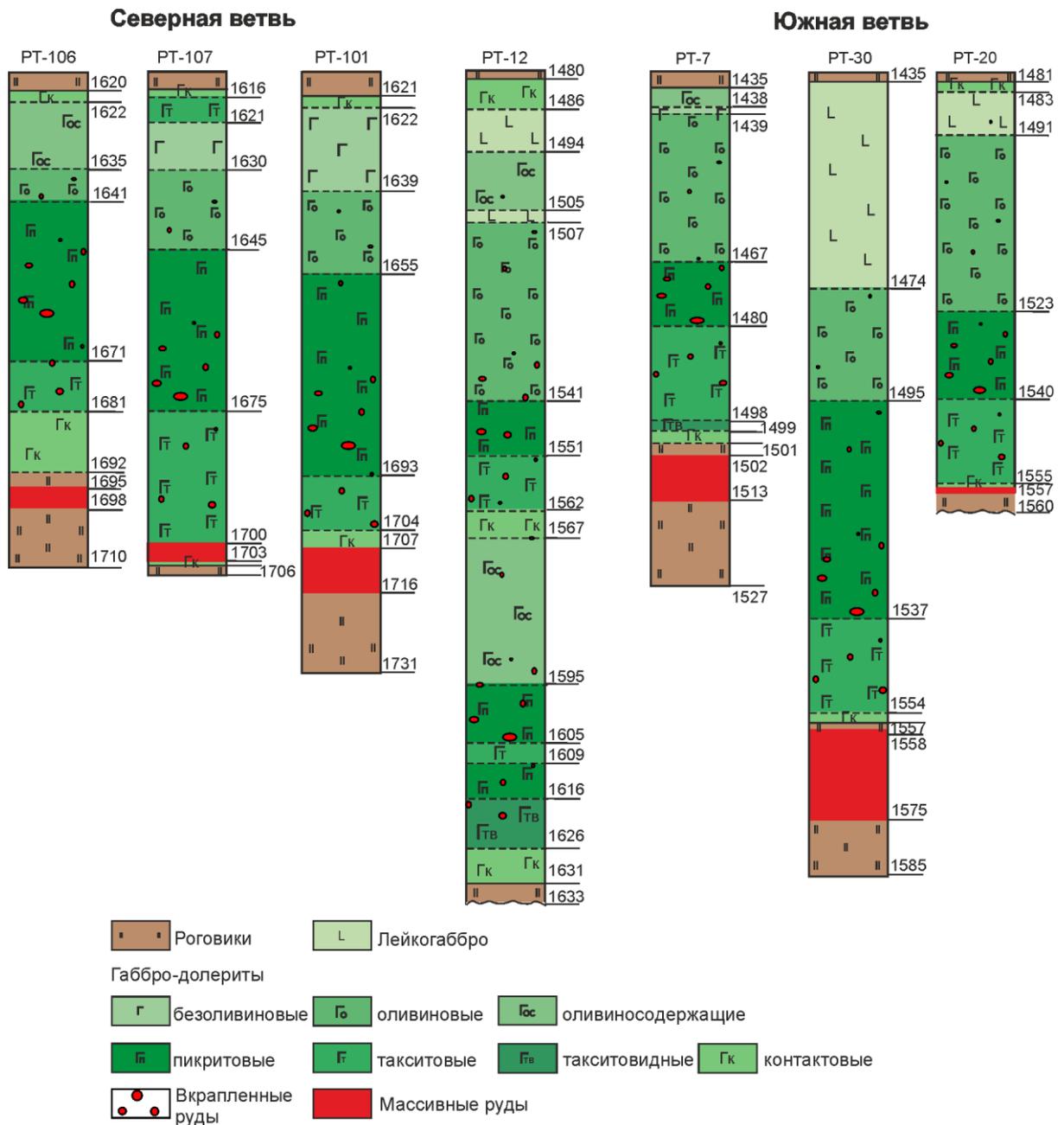


Рисунок 4.1 – Строение центральной части Хараелахского интрузива по скважинам, вскрывшим Северную и Южную ветвь. Расположение скважин показано на рисунке 2.2.2 б.

4.1. Петрографическая характеристика пород

В данном разделе приводится петрографическое описание главных дифференциатов Хараелахского интрузива: лейкогаббро, безоливиновых, оливинсодержащих, оливиновых, пикритовых, такситовых и контактовых габбро-долеритов.

Лейкогаббро представляют собой крупнокристаллические породы, с габбровой и призматически-офитовой структурой, обычно содержащие 50–80% протоплагноклаза. В породах может присутствовать крупный оливин до 5–7%, призматические клино- и ортопироксены, нередко отмечается кварц – в нижней части горизонта до 5%. Часто наблюдаются участки сростаний крупных лейстов плагиоклаза второй генерации и клинопироксена (Рисунок 4.1.1 а). Встречаются ильменит, титаномагнетит, сульфиды до 5 об. %. Мощность горизонта составляет от 2 до 39 м. Переход между лейкократовым габбро и оливиновыми габбро-долеритами четкий. Породы часто хлоритизированы, плагиоклаз сильно замещен агрегатами альбита и пренита.

Безоливиновые и оливинсодержащие габбро-долериты – светло-серые среднезернистые породы, содержащие от 0 до 10% оливина. Структура в основном пойкилоофитовая, участками офитовая, текстура массивная с элементами атакситовой. 50–65% породы слагает плагиоклаз, представленный в виде сдвойникованных и зональных призматических кристаллов размером от 0,2 до 20 мм. Клинопироксен составляет 20–40% породы и формирует пойкилокрсты размером 1,5–2 мм, а также мелкие изометричные зерна. Оливин проявлен в виде зерен неправильных, реже изометричных зерен, замещенных серпентинитом и иддингситом-боулингитом. В породах отмечается присутствие до 1% биотита, роговой обманки, в незначительных количествах апатит и циркон. Рудные минералы формируют от мелких единичных зерен до крупных скоплений и представлены преимущественно халькопиритом, пирротинном, реже пиритом, также наблюдаются мелкие зерна титаномагнетита. Мощность от 9 до 17 м.

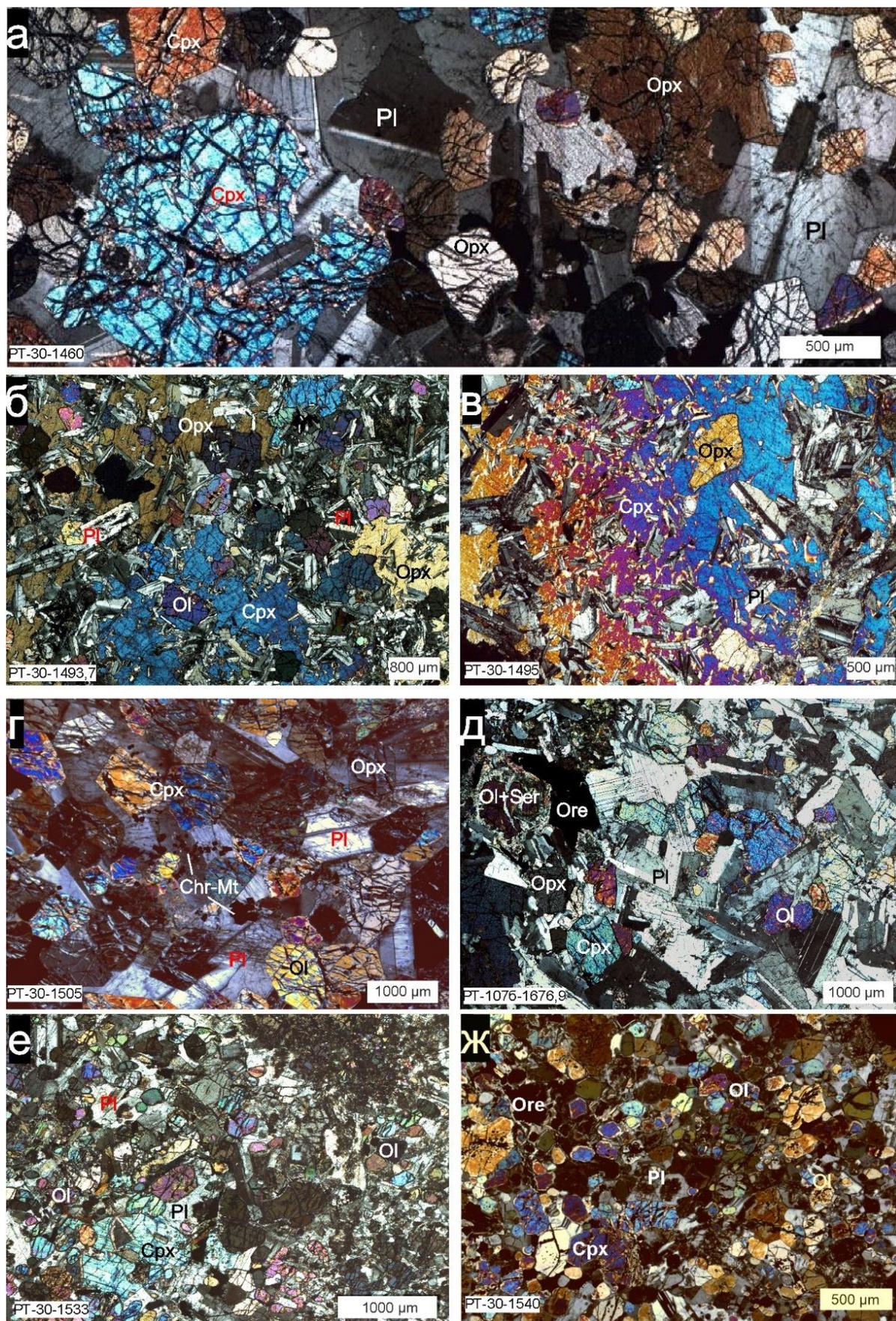


Рисунок 4.1.1 – Микрофотографии основных петрографических дифференциатов Хараелахской интрузии в проходящем свете с анализатором: а – лейкогаббро; б, в – оливиновый габбро-долерит; г, д – пикритовый габбро-долерит; е, ж – такситовый габбро-долерит.

Оливиновые габбро-долериты макроскопически представляют собой крупнозернистые темно-серые породы с массивной текстурой, состоящие из основного плагиоклаза (45–50%), пироксена (35–45%) и оливина (10–35%), в нижней части разреза появляется биотит. Структура пород пойкилоофитовая, реже офитовая: клинопироксен образует крупные (до 7–8 мм) зерна и содержит в себе мелкие изометричные включения плагиоклаза, реже оливина и другого пироксена (Рисунок 4.1.1 б, в). Оливин встречается в виде пойкилокрстов и изометричных кристаллов до 1,5 мм, по трещинам которых часто развивается серпентин и магнетит.

Плагиоклаз формирует призматические кристаллы до 1,5 м, реже 3 мм, в которых отмечается зональное строение и двойникование. Минерал замещается альбитом и пренитом. Магнетит и сульфидные минералы (главным образом халькопирит и пирротин) образуют интерстиционную вкрапленность. Контакт с пикритовыми габбро-долеритами резкий и достаточно четкий. Мощность от 6 до 28 м.

Пикритовые габбро-долериты представляют собой темные, почти черные серпентинизированные породы с редкими крупными светлыми кристаллами плагиоклаза. Состоят из основного плагиоклаза (15–20%), магнезиального оливина (25–60%), пироксена (15–20%), небольшого количества биотит. Оливин присутствует в виде идиоморфных изометричных кристаллов размером до 1 мм, реже в виде мелких зерен размером менее 0,1 мм, замещается илдингситом-боулингитом и пластинчатым серпентинитом. Плагиоклаз представлен крупными таблитчатыми кристаллами размером до 1 см и мелкими призматическими кристаллами до 0,5 мм по удлинению. Пироксены формируют крупные пойкилокрсты с многочисленными включениями плагиоклаза и оливина, нередко замещаются роговой обманкой и биотитом. Последний также присутствует в виде чешуек в силикатной массе и достигает размера до 2 мм (Рисунок 4.1.1 д).

Для пикритовых габбро-долеритов характерна сегрегационная структура, обусловленная большим количеством выделений оливина в идиоморфных зернах, расположенных пучками. В породах отчетливо проявлен ксеноморфизм магнетита,

присутствующего в большом количестве (до 10%) и цементирующих идиоморфные кристаллы оливина и пироксена. Среди акцессорных минералов наблюдается россыпь мелких кристалликов шпинелидов в количестве до 1,5% (Рисунок 4.1.1 г). В пределах горизонта пикритовых габбро-долеритов отмечается изменчивый состав пород, невыдержанное соотношение породообразующих минералов. Мощность варьируется от 10 до 40 м.

В пикритовых габбро-долеритах различают 3 вкрапленности: 1) крупную, каплеобразную, с дифференциацией сульфидов на халькопиритовую и пирротиновую фракции; 2) мелкую, интерстиционную, с зернами размерами до 1–2 см; 3) субмикроскопическую, различимую только при большом увеличении.

Такситовые габбро-долериты залегают в зоне нижнего эндоконтакта и характеризуются резко неравномернoзернистым строением, атакситовой и шлировой текстурой, обусловленной неравномерным распределением плагиоклаза и оливина. Длина зерен варьируется от долей миллиметра до 1 см и более. Минеральный состав пород: плагиоклаз 30–60%, пироксен 20–35% и оливина 10–15%. Плагиоклаз формирует широко- и узкотаблитчатые, лейстовидные, призматические зональные и сдвойникованные зерна размером до 3 мм в диаметре. Пироксен представлен преимущественно вытянутыми и изометричными пойкилокристаллами клинопироксена до 4–5 мм. Ортопироксен присутствует в виде пойкилокристаллов размером до 2 мм, а также формирует каймы вокруг зерен клинопироксена. Участки изометричного мелкогранулированного (0,02–0,5 мм) оливина чередуются с участками идиоморфнозернистого оливина размером до 1 мм, а также с крупными пойкилокристаллами диаметром 2 – 5 мм (Рисунок 4.1.1 е, ж). В небольших количествах присутствует флогопит и роговая обманка, развивающиеся по периферии зерен пироксена. Породы хлоритизированы и серпинизированы, оливин замещен иддингсит-боулингитовыми агрегатами, плагиоклаз пренитизирован и альбитизирован.

В такситовых габбро-долеритах широко проявлена роль летучих компонентов. Скопление их в нижнем горизонте интрузива обусловило перемещение и перераспределение сульфидного вещества, что привело к

возникновению крупной сульфидной вкрапленности. В отличие от пикритовых габбро-долеритов здесь расслоенные вкрапленники сульфидов встречаются редко. Мощность горизонта такситовых габбро-долеритов изменяется от 10 до 25 м.

Контактные габбро-долериты имеют структуру от пойкилоофитовой до долеритовой, массивную и атакситовую текстуру. Породы характеризуются отсутствием неизмененного оливина, наличием большого количества свежих игольчатых хадакритов плагиоклаза, а также обогащенностью биотитом. Клинопироксен образует пойкилокрystals и мелкие угловатые зерна в интерстициях плагиоклаза. Биотит формирует самостоятельные листочки совместно с пироксеном, а также метакрystals по нему. В породах наблюдается интерстициальная сульфидная вкрапленность. Под действием постмагматических процессов контактные габбро-долериты часто брекчированы и преобразованы. Горизонт имеет мощность от 2 до 5 м.

В данной работе преимущественно изучены оливиновые, пикритовые и такситовые габбро-долериты. Основное внимание уделено изучению состава пикритовых габбро-долеритов как продуктов наиболее примитивной мантии.

4.2. Состав породообразующих минералов

К основным минералам пород, слагающих Хараелахский интрузив, относятся оливин, плагиоклаз, клинопироксен и ортопироксен. Ниже рассмотрен состав этих минералов в разных породах Северной и Южной интрузивных ветвей.

Оливин представлен преимущественно хризолитом и гиалосидеритом. Зерна однородные, крайне редко зональные. Состав оливина проанализирован в оливиновых, пикритовых и такситовых габбро-долеритах (Таблица 4.2.1). Содержание форстеритовой составляющей Fo существенно варьирует (Рисунок 4.2.1). Расчеты проведены по формуле [Deer et al., 2013] (4.2.1):

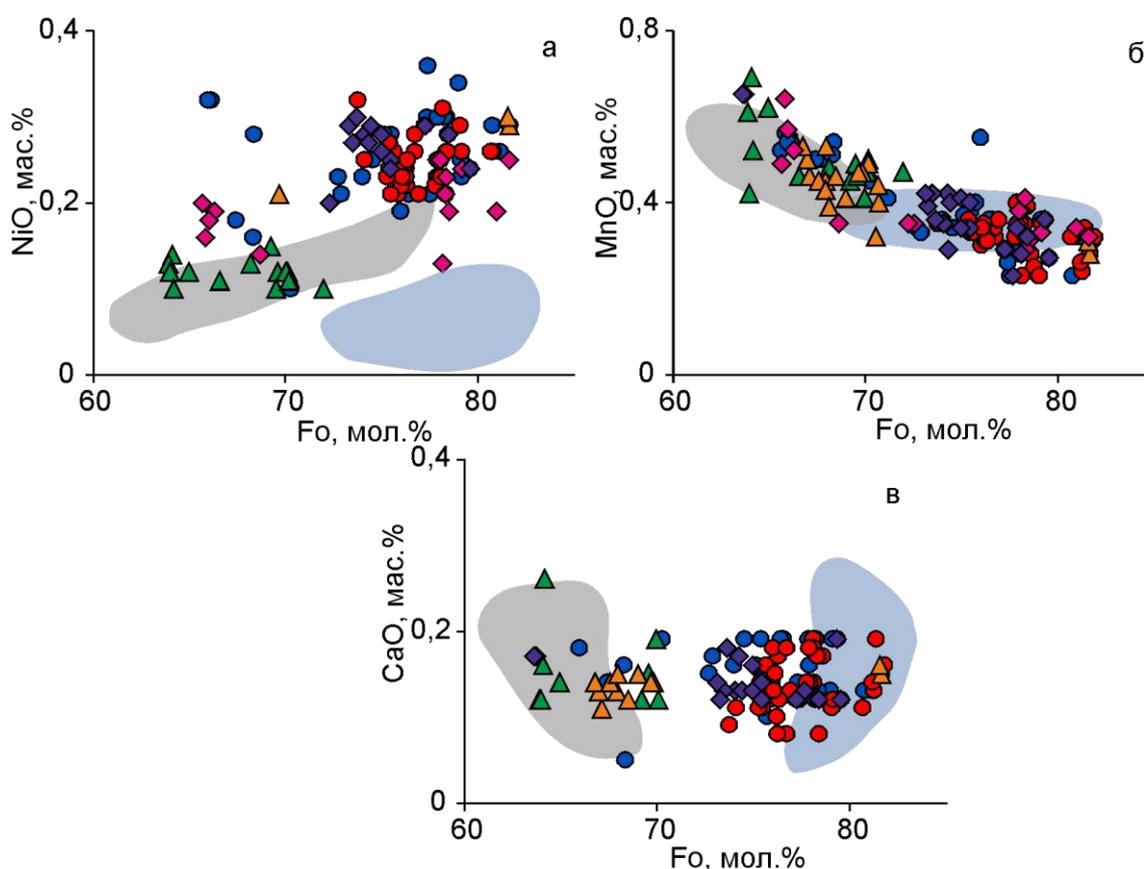
$$Fo = \frac{Mg}{Mg+Fe+Mn+Ni+Ca+Cr} * 100 \text{ мол.}\%, \quad (4.2.1)$$

где Mg, Fe, Mn, Ni, Ca, Cr – содержания элементов в атомных количествах.

В оливиновых габбро-долеритах $Fo = 69-71$ мол. % в обеих ветвях. В Северной интрузивной ветви в пикритовых габбро-долеритах оливин содержит от

66 до 81 мол. % форстеритового минала, в такситовых габбро-долеритах $Fo = 63-80$ мол. %. В Южной ветви в пикритовых габбро-долеритах $Fo = 74-84$ мол. %, в такситовых габбро-долеритах 61-81 мол. %.

Концентрация CaO в оливинах имеет стабильный характер и основном находится в пределах от 0,1 до 0,19 мас. %, за исключением пиков до 0,38% в пикритовых габбро-долеритах Южной ветви. Содержание NiO варьирует в зависимости от типа пород: от 0,13–0,25 мас. % в такситовых габбро-долеритах до 0,21–0,34 мас. % в пикритовых габбро-долеритах в обеих интрузивных ветвях.



Центральная часть:

- | | | | |
|------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| Северная ветвь | | | Западная часть, залежь X-O |
| ▲ оливиновые г-д | ● пикритовые г-д | ◆ такситовые г-д | |
| Южная ветвь | | | Южная часть, залежь С-2 |
| ▲ оливиновые г-д | ● пикритовые г-д | ◆ такситовые г-д | |

Рисунок 4.2.1 – Вариационные диаграммы состава оливина изученных пород центральной части Хараелахского интрузива. Поля для оливинов из пород западной части Хараелахского интрузива по [Рябов и др., 2001], из южной части по [Krivolutskaya, 2016].

Таблица 4.2.1 – Представительные анализы оливина изученных пород центральной части Хараелахского интрузива. Сокращения типов пород: Го – оливиновые габбро-долериты; Гп – пикритовые габбро-долериты; Гт – такситовые габбро-долериты.

Порода	Образец	SiO ₂	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Fo	Сумма
Северная ветвь										
Го	РТ-101-1650	37,65	29,31	0,12	0,62	31,46	0,14		64,97	99,3
Го	РТ-101-1650	37,46	29,71	0,14	0,69	31,83	0,16		64,12	99,99
Го	РТ-101-1650	37,27	30,07	0,13	0,61	31,76	0,12		63,91	99,96
Го	РТ-101-1654	38,16	29,6	0,1	0,52	30,73	0,26		64,19	99,37
Гп	РТ-101-1660	38,91	19,71	0,3	0,32	40,62	0,16		77,91	100,02
Гп	РТ-101-1672	37,98	21,77	0,28	0,38	39,08	0,15		75,49	99,64
Гп	РТ-107-1660	39,68	17,32	0,29	0,23	42,35	0,13		80,75	100,01
Гп	РТ-107-1660	39,52	16,97	0,26	0,32	42,8	0,13		81,16	100
Гп	РТ-107-1662	39,99	19,2	0,25	0,28	39,85	0,18	0,45	78,07	99,75
Гп	РТ-107-1665	38,68	22,06	0,24	0,38	39,41	0,19		75,40	100,96
Гп	РТ-107-1665	38,14	22,6	0,25	0,34	38,51	0,19		75,23	100,03
Гп	РТ-107-1668	39,78	18,89	0,34	0,23	41,41	0,13		79,00	100,78
Гп	РТ-107-1670	39,14	19,28	0,28	0,32	40,85	0,12		78,43	99,99
Гп	РТ-107-1670	39,4	18,63	0,23	0,36	41,43	0,19		79,15	100,24
Гп	РТ-107-1671	39,86	20,33	0,21	0,23	40,48	0,13		77,51	101,24
Гт	РТ-107-1675	38,43	22,2	0,28	0,41	38,81	0,16		74,98	100,29
Гт	РТ-107-1675	38,86	20,34	0,29	0,29	40,1	0,12		77,24	100
Гт	РТ-107-1675	39,38	18,39	0,24	0,27	41,61	0,12		79,57	100,01
Гт	РТ-107-1676	36,61	30,08	0,16	0,65	31,55	0,17		65,15	99,2
Гт	РТ-107-1677	39,02	22,22	0,22	0,42	37,28	0,17	0,41	74,26	99,98
Гт	РТ-107-1677	39,01	22,97	0,18	0,42	37,31	0,14		74,80	99,71
Южная ветвь										
Го	РТ-30-1493	38,02	26,11	0,19	0,32	35,32	0,13		71,04	100,09
Го	РТ-30-1493	38,08	25,89	0,25	0,41	35,28	0,14		70,84	100,04
Го	РТ-30-1493	37,52	28,05	0,26	0,25	34,51	0,15		67,98	100,54
Гп	РТ-30-1497	40,05	16,57	0,29	0,28	43,25	0,15		81,65	100,59
Гп	РТ-30-1497	38,1	26,3	0,21	0,47	34,99	0,14		69,67	100,21
Гп	РТ-30-1498	39,7	16,6	0,3	0,31	43,02	0,16		82,2	100,09
Гп	РТ-30-1505	38,79	18,81	0,29	0,23	41,23	0,11		79,62	99,46
Гп	РТ-30-1505	39,24	18,71	0,26	0,35	41,48	0,12		79,16	100,16
Гп	РТ-30-1506	39,56	14,35	0,25	0,23	45,09	0,1		84,46	99,8
Гп	РТ-30-1509	39,75	20,86	0,24	0,32	38,76	0,08		76,25	100,01
Гп	РТ-30-1509	39,87	22,73	0,32	0,35	37,07	0,09		73,76	100,43
Гп	РТ-30-1514	39,22	19,84	0,23	0,39	40,51	0,14		77,77	100,33
Гп	РТ-30-1514	39,09	19,25	0,2	0,28	40,71	0,17	0,3	78,61	100
Гп	РТ-30-1517	39,51	19,59	0,21	0,39	40,37	0,17		78,33	100,24
Гт	РТ-30-1545	39,71	19,88	0,13	0,38	39,72	0,32		78,15	100,14
Гт	РТ-30-1545	40,04	17,44	0,19	0,34	41,6	0,38		80,07	99,99
Гт	РТ-30-1545	38,06	26,04	0,14	0,35	35,15	0,34		69,91	100,08
Гт	РТ-30-1550	39,35	19,71	0,21	0,41	40,42	0,1		77,89	100,2
Гт	РТ-30-1550	39,49	18,97	0,24	0,33	41,12	0,18		77,89	100,2
Гт	РТ-30-1553	38,48	24,41	0,2	0,35	36,76	0,15		72,26	100,35

Наблюдается отрицательная корреляционная связь между значением Fo и MnO , а также слабые положительные связи Fo с содержанием NiO . Сравнение составов оливинов разных частей Хараелахского интрузива показало, что изученные оливины пикритовых и такситовых габбро-долеритов центральной части значительно обогащены NiO , в отличие от пород западной и южной части. Вместе тем, составы оливинов западной и южной части Хараелахского интрузива формируют поля, существенно отличающиеся друг от друга, а фигуративные точки оливинов центральной части накладываются на них и демонстрируют сходства. Данные особенности также могут свидетельствовать о том, что породы центральной, западной и южной части Хараелахского интрузива сформировались из разных порций магматического расплава.

Состав *плагиоклазов* был изучен в лейкогаббро, верхних такситовых габбро-долеритах, оливиновых, пикритовых и такситовых габбро-долеритах Северной и Южной ветвей центральной части Хараелахского интрузива. В породах выявлен широкий диапазон составов, охватывающий весь изоморфный ряд плагиоклазов от анортита до альбита (Рисунок 4.2.2, Таблица 4.2.2).

Анортитовый минал в плагиоклазах рассчитан по формуле (4.2.2):

$$An = \frac{Ca}{Ca+Na+K} * 100 \text{ мол.}\%, \quad (4.2.2)$$

где Ca , Na , K – содержания элементов в атомных количествах.

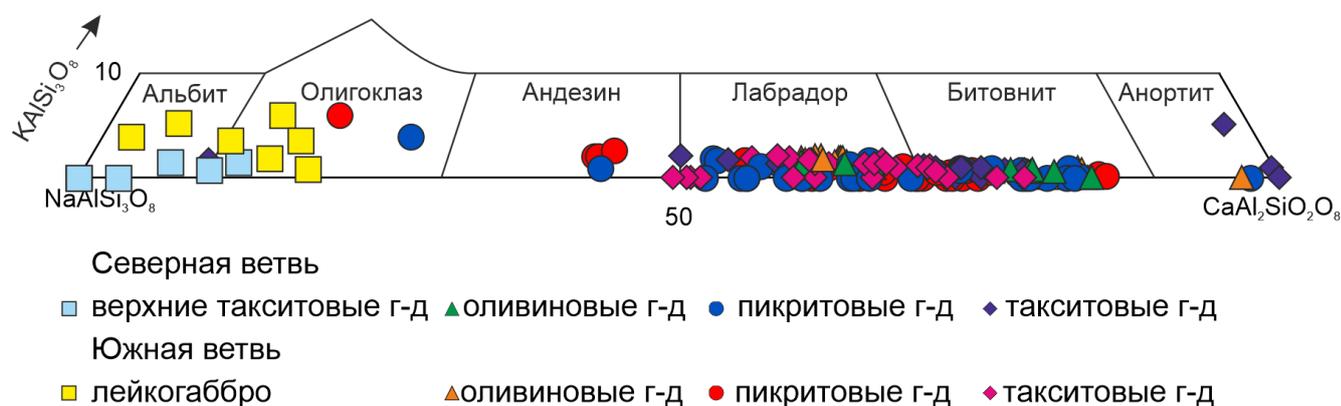


Рисунок 4.2.2 – Классификационная диаграмма составов плагиоклазов в изученных породах по

[Deer et. al., 2013].

Таблица 4.2.2 – Представительные анализы плагиоклаза изученных пород центральной части Хараелахского интрузива. Сокращения: Л – лейкогаббро; габбро-долериты: Вт – верхние такситовые, Го – оливиновые, Гп – пикритовые, Гт – такситовые; зоны кристалла: «ц» – центральная, «к» – краевая. Ab, An, Ort – миналы альбита ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), анортита ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) и ортоклаза (KAlSi_3O_8) соответственно.

Порода	Образец	Зона	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Ab	An	Ort	Сумма
Северная ветвь															
Вт	РТ-107-1619		52,68	0,09	30,3	0,41	0,01	0,04	12,01	4,76	0,28	41,1	57,3	1,6	100,6
Вт	РТ-107-1619		45,53	0,62	23,99	1,46			27,68				100		99,28
Го	РТ-101-1650	ц	48,48		32,72	0,57			15,49	2,19	0,12	20,2	79,1	0,7	99,57
Го	РТ-101-1650	к	52,02	0,16	30,05	0,63			12,29	4,28	0,3	37,9	60,3	1,8	99,73
Го	РТ-101-1650	ц	48,45		33,1	0,57			15,39	2,42	0,13	21,9	77,2	0,8	100,1
Го	РТ-101-1650	к	52,93		30,55	0,43			12,35	4,32	0,26	38,2	60,3	1,5	100,8
Гп	РТ-101-1667		51,64		30,22	0,47			13,99	3,43		30,73	69,27		99,75
Гп	РТ-101-1667		52,86		29,41	0,73			12,32	4,5		39,79	60,21		99,82
Гп	РТ-101-1672		47,04		33,24	1,09			17,04	2,03		17,73	82,27		100,4
Гп	РТ-101-1672		47,72		33,02	0,81			16,62	2,22		19,47	80,53		100,4
Гп	РТ-107-1649		52,94	0,11	29,16	0,84	0,01	0,09	12,33	4,33	0,21	38,4	60,4	1,2	100
Гп	РТ-107-1652		49,64	0,03	31,54	0,55	0,02	0,05	15,11	3	0,14	26,2	72,98	0,8	100,1
Гп	РТ-107-1665		51,72		30,62	0,52			12,87	3,95	0,22	35,25	63,46	1,29	99,9
Гп	РТ-107-1668		53,78		29,72	0,67			11,35	4,75	0,19	42,61	56,27	1,12	100,5
Гт	РТ-107-1675		53,86		29,08	0,72			11,95	4,48	0,26	39,8	58,7	1,5	100,4
Гт	РТ-107-1677		50,67		30,98	0,75			15,16	2,99	0,16	26,06	73,02	0,92	100,7
Гт	РТ-107-1677		48,14	0,06	32,46	0,99	0,08	0,1	16,05	2,38	0,09	21,05	78,43	0,52	100,4
Южная ветвь															
Л	РТ-30-1470		52,44		29,91	0,78			12,8	4,02	0,33	35,52	62,56	1,92	100,3
Л	РТ-30-1470		52,94		29,46	0,59			12,25	4,44	0,32	38,88	59,28	1,84	100,01
Го	РТ-30-1493	ц	46,94		33,87	0,7			16,95	1,77		15,9	84,1		100,2
Го	РТ-30-1493	к	52,56	0,18	29,83	0,72			12,45	4,17	0,3	37,1	61,1	1,8	100,2
Го	РТ-30-1493	ц	47,27		33,15	0,6			16,69	1,77	0,14	15,97	83,20	0,83	99,62
Го	РТ-30-1493	к	53,04		29,94	0,69			12,48	4,22	0,36	37,17	60,75	2,09	100,7
Го	РТ-30-1495		52,42		30,94	0,7			12,19	4,13	0,34	35,47	62,61	1,92	100,7
Гп	РТ-30-1501		53,54		29,02	0,83			11,62	5,14		44,5	55,5		100,2
Гп	РТ-30-1505		50,23	0,05	31,06	0,46	0,02	0,04	14,47	3,07	0,13	27,5	71,7	0,8	99,53
Гп	РТ-30-1514		48,47	0,05	32,64	0,38	0,03	0,03	15,93	2,44	0,07	21,6	77,9	0,4	100
Гп	РТ-30-1514		49,55	0,03	32,07	0,72	0,04	0,13	14,53	3,23	0,1	27,19	72,25	0,55	100,4
Гп	РТ-30-1517		49,1		31,67	0,77			16,44	1,61	0,06	15	84,63	0,37	99,65
Гп	РТ-30-1533		50,96		31,21	0,73			13,36	3,63	0,11	32,75	66,60	0,65	100
Гп	РТ-30-1536		48,99		31,78	0,85			14,31	3,14	0,11	28,24	71,11	0,65	99,18
Гп	РТ-30-1538		53,31		30,13	0,56			10,8	4,8	0,3	43,72	54,48	1,80	99,9
Гт	РТ-30-1540		49,3		31,95	0,73			14,27	3,2	0,19	28,5	70,3	1,1	99,64
Гт	РТ-30-1545		49,6		31,35	0,73			13,91	3,27	0,19	29,5	69,4	1,1	99,05
Гт	РТ-30-1545		52,49		30,36	0,67			12,02	4,54	0,29	39,9	58,4	1,68	100,4
Гт	РТ-7-1492		51,35		30,76	0,75			13,29	3,57	0,28	32,17	66,17	1,66	100,01
Гт	РТ-7-1492		50,91		31,02	0,67			13,71	3,53	0,17	31,47	67,54	1	100,01

В лейкогаббро и верхних такситовых габбро-долеритах плагиоклаз в значительной степени изменен, замещен хлоритовым агрегатом, эпидотом и альбитом. Состав реликтов соответствует альбит-олигоклазу №3-11. Встречаются единичные лейсты лабрадора, а также выделения санидина и ортоклаза.

Плагиоклаз в оливиновых габбро-долеритах представлен зональными кристаллами лабрадора и битовнита, редко анортита с содержанием анортитовой составляющей от 59 до 96 мол.% (Таблица 4.2.2). В горизонте пикритовых габбро-долеритов хорошо сохраненный плагиоклаз в основном имеет состав лабрадора-битовнита №60–85, более измененный соответствует олигоклазу № 18-25. В такситовых габбро-долеритах большинство индивидов плагиоклаза представлено лабрадором №53–69, редко встречается битовнит с An_{72-78} .

Пироксены изученных пород имеют большой разброс по составу вне зависимости от типа пород (Рисунок 4.2.3). Согласно классификации [Marimoto, 1989], они относятся к Ca-Mg-Fe типу и соответствуют клинопироксену-авгиту состава $Wo_{39-44}En_{41-52}Fs_{9-19}$ с магнезиальностью $Mg\#$ от 61 до 85 мол.%, а также ортопироксену-энстатиту состава $Wo_{1-4}En_{66-81}Fs_{16-31}$ с $Mg\# = 66-79$ мол.% (Таблица 4.2.3). Значение магнезиальности рассчитано по формуле (4.2.3):

$$Mg\# = \frac{Mg}{(Mg+Fe)} * 100 \text{ мол. \%}, \quad (4.2.3)$$

где Mg, Fe – содержания элементов в атомных количествах.

Содержание Cr_2O_3 меняется в широком диапазоне от 0,01 до 1,21 мас. % и положительно коррелирует с $Mg\#$ (Рисунок 4.2.3 д). Содержание Al_2O_3 варьирует от 0,57 до 3,45 мас.%. Концентрации Na_2O изменяются в пределах от 0,25 до 0,98 мас.%.

Как показано на рисунке 4.2.3, состав изученных пироксенов центральной части Хараелахского интрузива наиболее близок к составам, полученным в южной части [Krivolutskaya, 2016].

Таблица 4.2.3 – Представительные анализы пироксенов изученных пород центральной части Хараелакского интрузива. Сокращения типов пород приведены в Таблице 4.2.2. Wo, En, Fs – миналы волластонита (CaSiO_3), энстатита ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) и ферросилита ($\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) соответственно.

Порода	Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Mg#	Wo	En	Fs	Сумма	
Северная ветвь																
ВТ	РТ-107-1619	52,79	0,39	1,89	0,39	9,28	0,3	17,63	17,33			72	35,0	48,7	16,2	100,01
ВТ	РТ-107-1619	52,65	0,41	1,9	0,37	7,73	0,32	14,83	21,79	0,31		73	43,3	40,1	16,6	100,01
ВТ	РТ-107-1619	52,9	0,6	1,88		8,76	0,37	14,66	20,78	0,28		70	42,0	40,9	17,1	99,42
Го	РТ-101-1648	50,99	1,09	2,67	0,21	9,02	0,29	16,86	19,07			72	38,6	45,2	16,2	100,2
Го	РТ-101-1650	51,7	0,57	2,53	0,69	8,35	0,2	16,42	18,76	0,35		76	37,8	46,8	15,4	99,57
Го	РТ-101-1650	51,73	0,66	2,55	0,63	8,37	0,3	16,75	19,08	0,29		73	39,1	45,9	15,0	100,4
Го	РТ-101-1650	52,75	0,52	2,98	0,89	6,87	0,22	16,6	19,31			77	39,9	46,8	13,3	100,1
Гп	РТ-107-1647	52,38	0,49	2,74	0,67	6,44	0,26	17,2	17,65	0,33		79	35,0	48,7	16,3	100,1
Гп	РТ-107-1648	51,92	0,62	2,72	0,64	8,25	0,19	16,64	19,34	0,42		74	39,1	45,9	15,0	100,7
Гп	РТ-107-1649	52,02	0,92	2,36	0,64	7,93	0,3	17,02	19,03	0,31		75	39,2	48,7	12,1	100,5
Гп	РТ-107-1652	54,22	0,42	1,12		17,06	0,57	24,69	1,8			67	2,0	66,2	31,8	99,68
Гп	РТ-107-1652	52,85	0,47	3,45	0,99	5,12	0,18	18,02	18,99	0,45		83	36,4	50,6	13	100,5
Гп	РТ-107-1655	52,1	1,11	2,32	0,78	6,86	0,21	17,2	19,02	0,35		78	38,6	48,0	13,4	99,5
Гп	РТ-107-1655	52,94	0,51	2,64	0,98	5,61	0,16	17,41	20,33	0,28		81	41,2	48,7	10,1	100,9
Гп	РТ-107-1662	53,73	0,49	2,91	0,08	13,04	0,29	27,93	1,87	0,08		75	2,0	75,9	22,0	100,4
Гп	РТ-107-1665	54,16	0,45	2,69	0,21	13,73	0,31	27,29	1,28	0,08		73	2,0	74,5	23,5	100,2
Гп	РТ-107-1670	52,58	0,46	3,17	0,93	5,67		17,37	19,29	0,26		81	39,1	48,7	12,1	99,73
Гп	РТ-107-1672	52,21	1,18	2,13		9,93	0,42	15,72	18,42			82	38,4	47,8	13,8	100,7
Гт	РТ-107-1675	52,71	0,63	2,14	0,52	5,89	0,18	16,15	21,44	0,34		79	43,3	45,9	10,9	100
Гт	РТ-107-1675	55,13		0,66	0,21	15,08	0,41	27,56	0,94			72		73,2	26,8	99,99
Гт	РТ-107-1677	55,03	0,28	0,6		14,61	0,48	27,88	1,12			73	2,0	73,2	24,9	100
Гт	РТ-107-1677	54,45	0,48	1,47	0,36	13,15	0,29	27,86	1,94			75	2,0	74,5	23,5	100
Гт	РТ-107-1677	54,49	0,43	1,43	0,29	13,06	0,37	27,8	2,14			75	3,9	74,5	21,5	100,01
Южная ветвь																
Л	РТ-30-1470	52,92	0,65	1,83		9,35	0,33	16,12	19,24			70	39,2	45,9	15,0	100,4
Л	РТ-30-1470	50,93	1,85	2,38		10,86	0,38	15,17	17,96	0,29		66	36,6	44,9	18,5	99,82
Л	РТ-30-1470	50,58	1,27	2,41		11,29	0,34	15,12	18,98			65	38,0	44,1	17,9	99,99
Го	РТ-30-1493	51,29	0,43	2,59	0,78	6,59	0,25	16,41	19,61	0,33		78	39,9	46,8	13,3	100
Го	РТ-30-1493	51,73	0,45	2,93	0,87	6,85		16,5	19,69	0,37		77	39,9	46,8	13,3	100,4
Го	РТ-30-1493	52,28	0,54	2,79	0,84	7,15		16,51	19,64	0,35		76	39,1	45,9	15	100,1
Го	РТ-30-1495	52,37	0,79	1,82	0,61	9,7	0,36	15,55	18,97	0,35		69	37,1	42,9	19,9	100,5
Го	РТ-30-1495	55,12	0,79	1,55	0,36	13,98	0,35	26,76	0,90	0,02		73		70,4	29,6	99,83
Го	РТ-30-1495	52,37	0,79	1,82		9,7	0,36	15,55	18,97	0,35		69	37,1	43	19,9	99,91
Гп	РТ-30-1498	53,18	0,9	2,45	0,59	5,91	0,41	18,99	18,09	0,41		82	35,69	49,7	14,7	100,8
Гп	РТ-30-1501	54,58	0,64	1,17	0,32	12,31	0,66	29,14	1,79	0,03		77	2,0	78,6	19,5	100,6
Гп	РТ-30-1501	52,37	0,79	1,82		9,7	0,36	15,55	18,97	0,35		80	41,2	48,7	10,1	100,8
Гп	РТ-30-1505	54,68	0,68	1,22	0,22	11,12	0,31	29,36	1,88	0,32		79	2	81,6	16,4	99,8
Гп	РТ-30-1509	54,44	0,2	1,97	0,08	14,31	0,35	28,18	1,04	0,06		73	2,0	77,3	20,7	100,6
Гп	РТ-30-1514	53,51	1,05	1,75	0,11	5,78	0,18	17,30	20,14	0,38		54	39,9	47,1	13	100,2
Гп	РТ-30-1514	51,23	2,83	3,01	0,01	7,10	0,12	12,77	22,84	0,49		51	44,8	34	21,2	100,2
Гп	РТ-30-1517	52,01	0,54	3,45	1,18	5,3	0,12	16,92	20,92	0,29		82	41,2	45,9	13,0	100,3
Гт	РТ-30-1538	52,57	1,99	2,47	0,61	7,7	0,23	16,27	17,5	0,46		75	35,2	46,1	18,8	99,8
Гт	РТ-30-1540	52,76	0,71	3,26	0,77	5,84		16,91	19,59	0,34		80	39,9	46,8	13,4	99,9
Гт	РТ-30-1540	52,3	0,9	2,33		8,47	0,3	16,54	18,7	0,3		73	37,08	45,9	17,1	99,9
Гт	РТ-7-1492	51,54	0,56	3,05	0,33	9,41	0,25	16,22	19,26	0,29		75	39,9	46,8	13,3	100,6
Гт	РТ-7-1492	51,82	0,83	2,27		11,2	0,27	15,61	17,99			66	35,7	43,8	20,5	99,99
Гт	РТ-7-1492	52,21	1,18	2,13		9,93	0,42	15,72	18,42			69	36,5	43,4	21,1	100,01

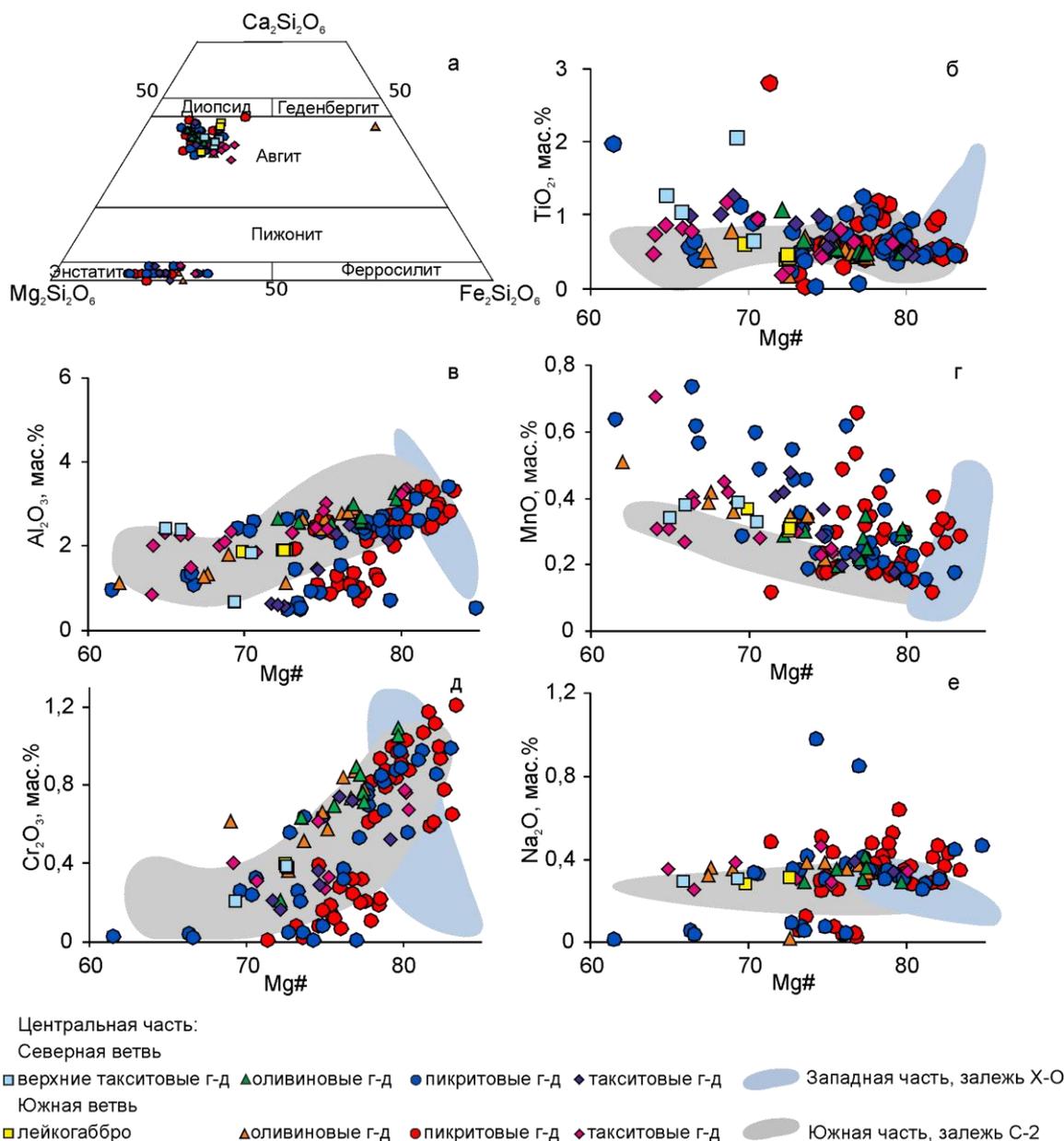


Рисунок 4.2.3 – En-Wo-Fs тройная диаграмма [по Morimoto, 1989] (а) и бинарные диаграммы состава пироксенов изученных пород (б-е). Поля для пироксенов из пород западной части Хараелахского интрузива по [Рябов и др., 2001], из южной части по [Krivolutskaya, 2016].

Таким образом, изученные породообразующие минералы Южной и Северной ветвей центральной части Хараелахского интрузива имеет широкие вариации составов. Однако, в результате сопоставления составов не выявлено характерных признаков, отличающих эти интрузивные ветви между собой.

4.3. Состав второстепенных и акцессорных минералов

Второстепенными минералами пород Хараелахского интрузива являются шпинелиды, ильменит, сульфидные минералы. В качестве акцессорных минералов присутствуют апатит, цирконы, бадделейты, минералы благородных металлов.

Среди второстепенных минералов наиболее распространенными являются минералы группы шпинели. Хроммагнетит, титаномгнетит и алюмомгнетит преобладают в верхней части разреза интрузива и постепенно сменяются магнетитом в нижних горизонтах (Рисунок 4.3.1).

Шпинелиды формируют однородные изометричные и округлые зерна размером до 0,1 мм. Наибольшее скопление наблюдается в оливиновых габбро-долеритов и в основании рудной части горизонта пикритовых габбро-долеритов, где шпинелиды образуют сети мелких зерен в силикатных минералах. Вместе с тем отмечаются включения хроммагнетита в породообразующих минералах (Таблица 4.3.1.)

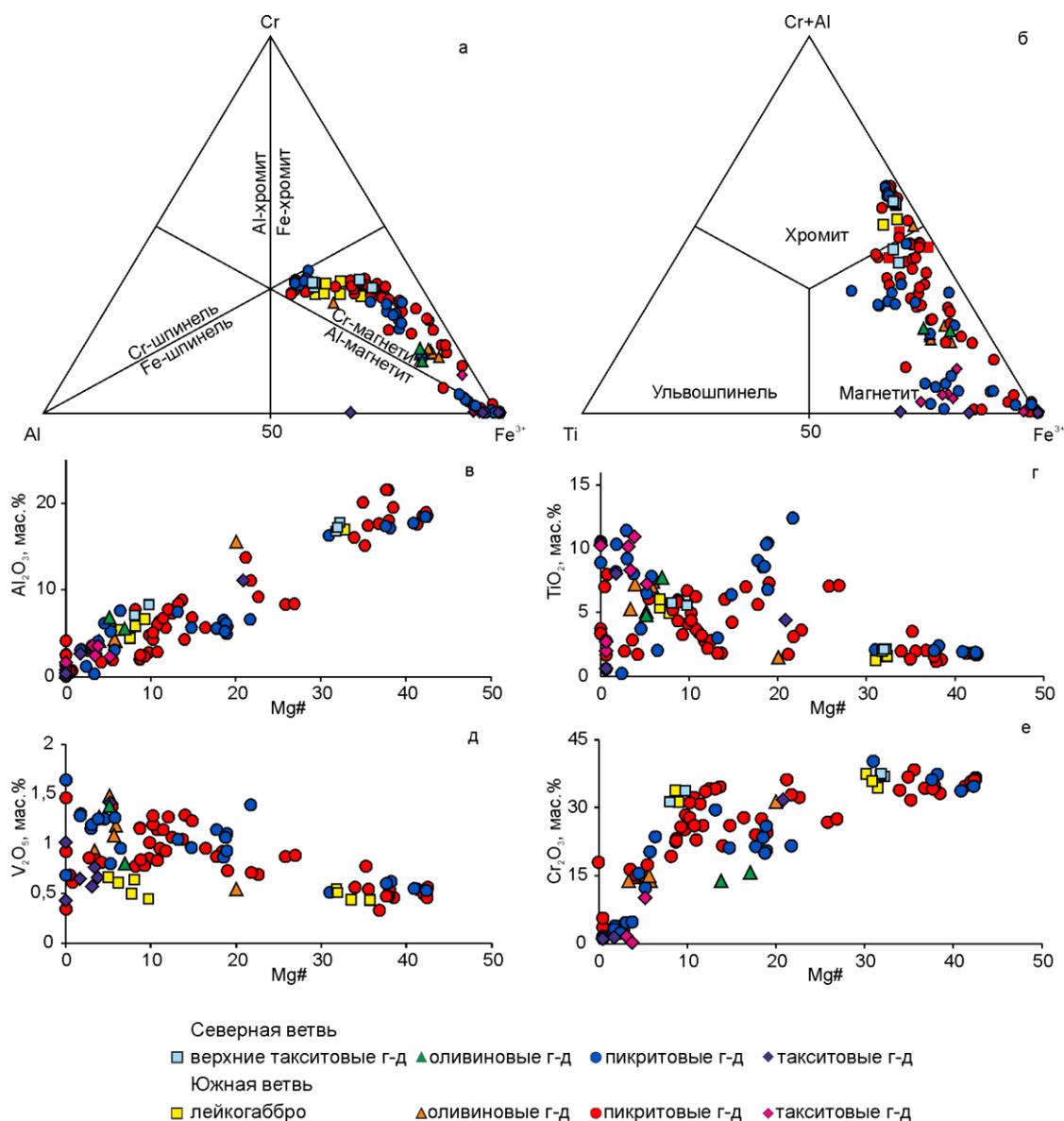


Рисунок 4.3.1 – Треугольные диаграммы [по Bosi et al., 2019] (а, б) и бинарные (в-е) диаграммы составов шпинелидов изученных пород центральной части Хараелахского интрузива.

Таблица 4.3.1 – Представительные анализы состава шпинелидов из пород изученных пород центральной части Харарелакского интрузива. Сокращения типов пород приведены в Таблице 4.2.2.

Порода	Образец	вм	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	V ₂ O ₅	Mg#	Cr#	Сумма
Северная ветвь														
Вт	РТ-107-1619		1,93	16,7	37,15	34,62		9,08			0,54	31,9	59,9	100,0
Вт	РТ-107-1619		2,09	17,17	37,45	34,73		9,15			0,5	32,0	59,4	101,1
Вт	РТ-107-1619		5,73	7,04	31,12	52,55		2,59		0,29	0,63	8,1	74,8	100,0
Го	РТ-101-1650	Ol	7,71	5,55	15,71	66,47	0,4	2,66			0,8	6,7	65,5	99,3
Го	РТ-101-1650	Ol	4,78	6,79	13,81	69,93	0,4	2,01			1,98	4,9	57,7	99,7
Гп	РТ-107-1647	Ol	6,51	5,24	12,26	73,37		1,82			0,8	5,3	61,1	100
Гп	РТ-107-1648	Ol	11,37	5,12	5,58	75,62	0,68	0,77			1,3	1,8	35,7	100,4
Гп	РТ-107-1648	Px	10,53	3,73	5,82	77,39	0,56	0,76			1,28	1,7	28,7	100,1
Гп	РТ-107-1660	Px	10,35	5,22	19,84	56,85	0,38	6,41				18,6	71,8	100,1
Гп	РТ-107-1660	Px	9,05	5,6	21,29	56,72		6,37			1,14	71,8	14,7	100,2
Гп	РТ-107-1660	Px	6,82	6,18	25,81	53,82	0,41	6,38			0,93	17,4	73,7	100,4
Гп	РТ-107-1662	Px	1,91	17,76	33,62	36,09		10,5			1,91	55,9	40,9	100,4
Гп	РТ-107-1662	Px	1,85	18,44	34,58	33,59		10,98			0,53	36,8	55,7	100
Гп	РТ-107-1665	Px	2,98	7,48	29,43	56,11		3,5			2,98	13,2	72,5	100,5
Гп	РТ-107-1665	Px	6,4	5,65	21	60,63	0,49	5,01			0,96	71,4	12,8	100,1
Гп	РТ-107-1665	Px	10,35	5,22	19,84	56,85	0,38	6,41			1,06	16,7	71,8	100,1
Гп	РТ-107-1668		2,22	1,19	10,5	85,73					0,68		85,5	100,3
Гп	РТ-107-1672	Px	2,36	17,14	37,27	31,95		10,64			0,62	38,0	59,3	100
Гп	РТ-101-1691		8,89	1,30	8,17	75,52	0,49		0,27		1,64		80,8	100,1
Гп	РТ-101-1669		3,35	0,30		96,27								99,9
Гт	РТ-101-1704		8,04	2,63		87,30	0,48	0,80			0,64	1,6		99,9
Гт	РТ-101-1704	Ol	4,36	11,09	32,07	45,23		6,65			0,6	20,8	66,0	100
Южная ветвь														
Го	РТ-30-1493	Ol	1,45	15,6	31,25	45,13		6,02	0,28		0,54	19,9	57,3	100,3
Го	РТ-30-1493	Pl	5,24	3,81	13,85	75,06	0,41	1,3			0,93	3,4	70,9	100,6
Го	РТ-30-1495			0,55	7,45	91,06	0,75		0,17		0,53		35,4	100,5
Гп	РТ-30-1497	Pl	1,32	19,54	33,06	36,66		9,71	0,19			32,1	53,2	100,9
Гп	РТ-30-1498	Ol	1,71	13,78	36,15	42,06		6,3				21,1	63,8	100
Гп	РТ-30-1498	Px	3,45	6,37	22,79	62,14		4,3			0,95	11,0	70,6	100
Гп	РТ-30-1498	Pl	8,56	5,61	27,41	50,62	0,5	6,38			0,92	18,3	76,6	100,1
Гп	РТ-30-1501	Ol	2,1	10,87	36,33	43,58	0,35	4,75		0,14	0,83	23,3	69,1	100,9
Гп	РТ-30-1501	Ol	3,11	9,31	35,99	45,24	0,37	4,86		0,13	0,81	23,4	72,2	99,8
Гп	РТ-30-1505	Pl	1,95	17,48	38,27	32,42		10,03	0,18		0,54	35,5		100,9
Гп	РТ-30-1505	Pl	1,15	21,58	34,72	31,41		10,3	0,13		0,47	37,6		99,8
Гп	РТ-30-1506	Ol	12,41	6,57	21,5	50,94	0,35	7,42			1,39	21,6	68,7	100,6
Гп	РТ-30-1507	Ol	3,53	15,17	31,67	39,34	0,42	9,25			0,77	29,5	58,3	100,1
Гп	РТ-30-1509		7,99	0,66	0,59	87,22	0,73	0,36	0,17	0,18	0,61	0,8	37,5	100,5
Гп	РТ-30-1509		7,03	0,66	0,54	89,74	0,67	0,22	0,17	0,11	0,68	0,4	35,4	99,8
Гп	РТ-30-1509		4,11	2,93	0,43	90,67	0,19	0,32	0,38	0,3	0,69	0,6	9,0	100
Гп	РТ-30-1513		6,79	1,76	4,87	81,7	0,75	1,62			2,19			99,7
Гп	РТ-30-1517		7,38	0,71	0,96	90,52	0,44						47,6	100
Гп	РТ-30-1538		10,58	4,18	4,53	73,52	5,42		0,16	0,32	1,46		42,1	100,7
Гп	РТ-7-1476		7,02	5,63	27,71	53,13	0,46	5,62			0,95	16,4	76,8	100,5
Гп	РТ-7-1476		1,98	3,00	1,49	90,75	0,31	1,33		0,51	0,86	2,7	25,0	100,2
Гт	РТ-30-1540		7,2	2,26	10,1	75,93	0,41	2,34		7,2	1,41	5,2	75,0	99,7
Гт	РТ-30-1545		10,15	3,59	0,22	83,44	0,69	1,44		10,1	0,57	3,1	3,9	100,1
Гт	РТ-30-1550		8,28	2,43	9,38	71,92		1,33	5,5		0,76	3,2	72,1	99,7

Примечание: вм – вмещающий минерал

Магнетит формирует две генерации: для ранней характерны изометричные кристаллы, для поздней – ксеноморфные выделения, заполняющие пространства между силикатными и рудными минералами. Ксеноморфный магнетит отличается отсутствием примесей, характерных для других видов магнетита.

Шпинелиды характеризуются низкими значениями магнезиальности $Mg\#$ от 0,8 до 55,9 мол.%, при этом хромистость $Cr\#$ варьирует от первых единиц до 88,25 мол.% (Таблица 4.3.1). Расчеты проведены по формуле (4.3.1):

$$Cr\# = \frac{Cr}{Cr+Al} * 100 \text{ мол. \%}, \quad (4.3.1)$$

где Cr, Al – содержания элементов в атомных количествах.

Максимумы магнезиальности и хромистости характерны для кристаллов хроммагнетита, включенных в пироксены верхних такситовых и пикритовых габбро-долеритов. Содержание Al_2O_3 варьирует от 0,3 до 21,58 мас.% и находится в прямой корреляции с магнезиальностью. Содержание TiO_2 меняется в диапазоне от 0,2 до 12,41 мас.%, концентрация V_2O_5 0,04–1,48 мас.%.

Вторым по распространенности второстепенным минералом является ильменит, широко развитый в пикритовых и такситовых габбро-долеритах. Ильменит формирует неправильные и пластинчатые кристаллы и сростания с сульфидными минералами (Рисунок 4.3.2). В качестве примесей в составе ильменита отмечаются содержания V_2O_5 от 0,43 до 1,09 мас.%, 0,21–1,14 мас.% Cr_2O_3 , 0,17–0,51 мас.% Al_2O_3 , 0,3–2,24 мас.% MnO и 0,98–7,38 мас.% MgO (Таблица 4.3.2).

Среди акцессорных минералов наиболее часто встречается апатит, преимущественно в такситовых габбро-долеритах. Минерал присутствует в виде идиоморфных выделений и находится в ассоциации с минералами циркония, а также с сульфидными минералами и хлоритом (Рисунок 4.3.3 а, в). В Северной интрузивной ветви содержание фтора в апатите достигает 2,98 мас.% при концентрации хлора до 1,08 мас.%. В Южной ветви доминирует хлористый апатит с содержанием Cl до 5,14 мас.%. Присутствие апатита среди сульфидных минералов является прямым доказательством участия летучих компонентов в сульфидном расплаве [Канимбуре, 2023].

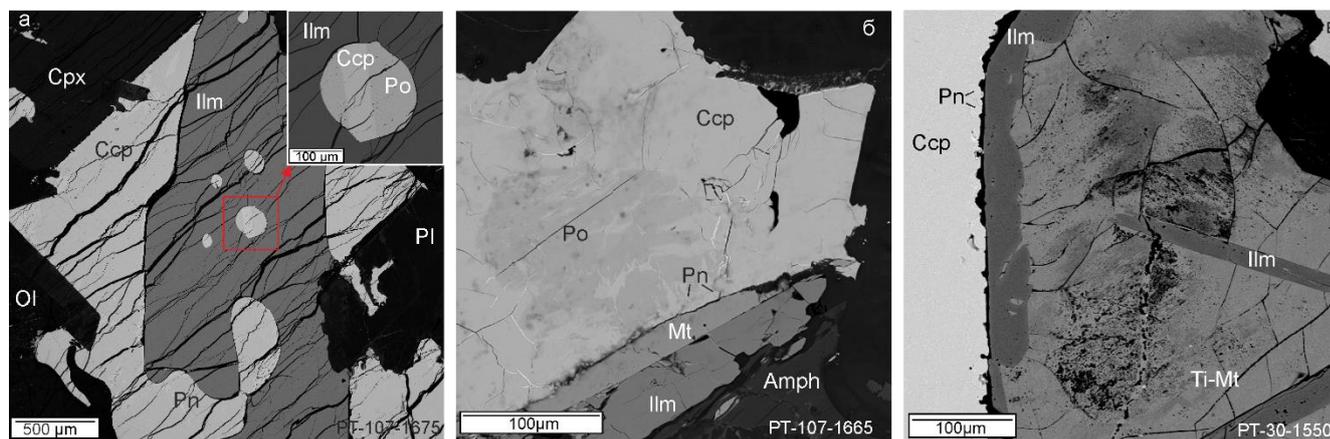


Рисунок 4.3.2 – BSE-микрофотографии выделений ильменита: а – аллотриоморфное зерно ильменита с каплевидными включениями сульфидов; б – таблитчатый кристалл ильменита в ассоциации с магнетитом и сульфидными минералами; в – пластинки ильменита в титаномагнетите.

Таблица 4.3.2 – Составы ильменита из изученных пород центральной части Хараелахского интрузива.

Порода	Образец	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	V ₂ O ₅	Сумма
Северная ветвь										
Гп	РТ-107-1647	50,2	0,53		47,79	0,77			0,7	100
Гп	РТ-107-1647	49,4	0,36	0,81	47,08	0,67	0,98		0,7	100
Гп	РТ-107-1647	49,3	0,51	0,27	47,29	0,8	0,84	0,16	0,82	100
Гп	РТ-107-1648	50,92	0,33	0,29	45	0,66	2,53			99,7
Гп	РТ-107-1648	50,96	0,33	0,5	43,84	0,57	3,44		0,46	100,1
Гп	РТ-107-1665	51,28		0,43	45,13	1,22	1,52		0,43	100
Гп	РТ-107-1668	52,29	0,39		41,28	0,45	4,46		0,85	99,7
Гп	РТ-101-1691	53,57			42,58	0,54	4,25			100
Южная ветвь										
Го	РТ-30-1493	50,3	0,39		46,5	0,6	1,56		0,82	100,2
Го	РТ-30-1493	50,74	0,28		46,27	0,63	2,21		0,8	100,9
Гп	РТ-30-1505	54,79	0,32	0,91	37,54	0,68	5,16		0,61	100
Гп	РТ-30-1505	54,77	0,33	1,02	38,37	0,59	5,13		0,52	100,7
Гп	РТ-30-1513	48,91	0,33	0,46	43,93	0,65	4,34		1,09	99,7
Гп	РТ-30-1517	51,2	0,31		42,85	1,14	4,79		0,59	100,9
Гп	РТ-30-1536	51,31	0,17		44,08	1,49	3,17			100,2
Гп	РТ-30-1538	53,12	0,29	0,48	35,29	4,16	6,1		0,54	100
Гт	РТ-30-1545	50,6	0,32		46,93	2,24				100,1
Гт	РТ-30-1545	50,83	0,45		42,07	1,43	4,48		0,58	99,8
Гт	РТ-30-1545	50,93	0,45		40,59	1,29	6,71			100
Гт	РТ-30-1550	52,2			41,3	1,43	5,36			100,3
Гт	РТ-30-1550	51,31	0,36		42,03	1,21	5,28		0,58	100,8

Бадделеит и циркон встречаются часто и образуют как морфологически сложные зерна, так и хорошо ограненные кристаллы размером до 30 мкм. Иногда циркон образует каймы вокруг ксеноморфных выделений бадделеита (Рисунок

4.3.3 б). Циркон содержит характерные примеси иттрия, диспрозия, иттербия, гафния, урана и тория. Состав изученных зерен отражен в Таблице 4.3.3.

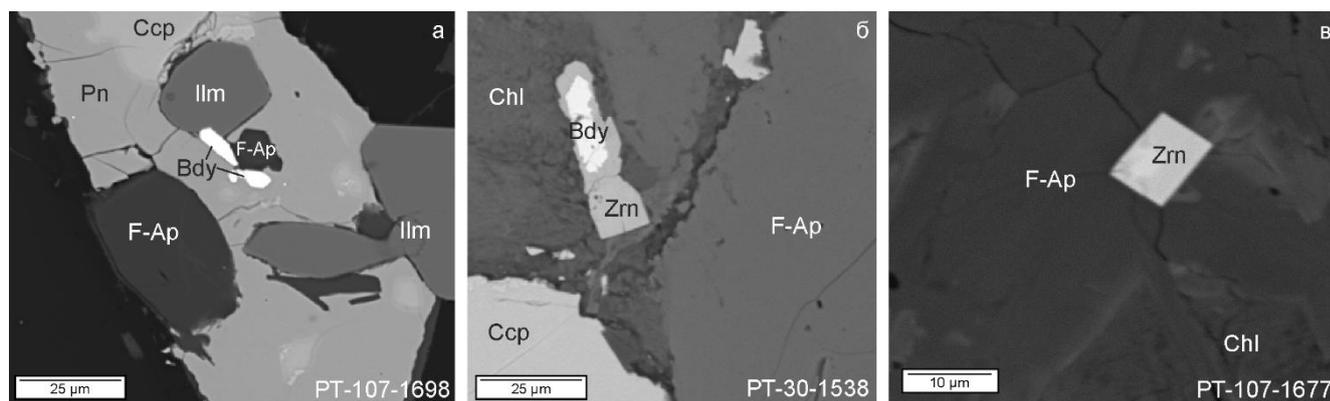


Рисунок 4.3.3 – BSE-микрофотографии ассоциации апатита, циркона и бадделеита.

Таблица 4.3.3 – Составы циркона и бадделеита из изученных пород центральной части Хараелахского интрузива.

№	Порода	Образец	SiO ₂	TiO ₂	CaO	FeO	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	Dy ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	UO ₃	HfO ₂	ThO ₂	Сумма
Северная ветвь														
1	ГТ	РТ-107-1677	30,47			0,87	6,75	59,19	0,98	0,83	0,97			100,1
2	ГТ	РТ-107-1677	30,09		0,21	0,81	7,42	57,77	0,7	1,1		1,07	1,02	100,2
3	ГТ	РТ-107-1677	31,39		0,19	0,83	4,76	55,62	0,59		1,1	0,88	5,13	100,5
4	ГТ	РТ-107-1676		1,09		0,95		96,51				1,51		100,1
5	ГТ	РТ-107-1677		1,99		1,48		95,55				1,19		100,2
6	ГТ	РТ-107-1677		0,43		1,33		97,28				1,22		100,3
7	ГТ	РТ-107-1698		0,68		4,91		93,34				1,74		100,7
8	ГТ	РТ-107-1698		2,69		3,52		92,18				1,61		100
9	ГТ	РТ-12-1605		1,26		0,49		97,49				0,85		100,1
Южная ветвь														
10	ГТ	РТ-30-1538	31,5			0,63		65,46				1,19	1,3	100,1
11	ГП	РТ-30-1536		0,56		1,44		96,58				1,93		100,5
12	ГП	РТ-30-1536		0,79		2,15		95,51				1,71		100,2
13	ГТ	РТ-30-1538		0,46		0,74		96,29				2,52		100
14	ГТ	РТ-30-1545		1,32		4,13		93,46				1,09		100

Примечание: №1–3, 10 – цирконы; 4–9, 11–14 – бадделеит

Особенности сульфидных минералов и минералов благородных металлов рассмотрены далее в Главах 5 и 6.

4.4. Геохимическая характеристика интрузивных пород

Проведен детальный анализ химического состава пород Северной и Южной ветвей центральной части Хараелахского интрузива по опорным и близ находящимся скважинам. Результаты показали широкий диапазон изменения состава каждого типа пород (Рисунок 4.4.1). Составы изученных образцов представлен в Приложении А.

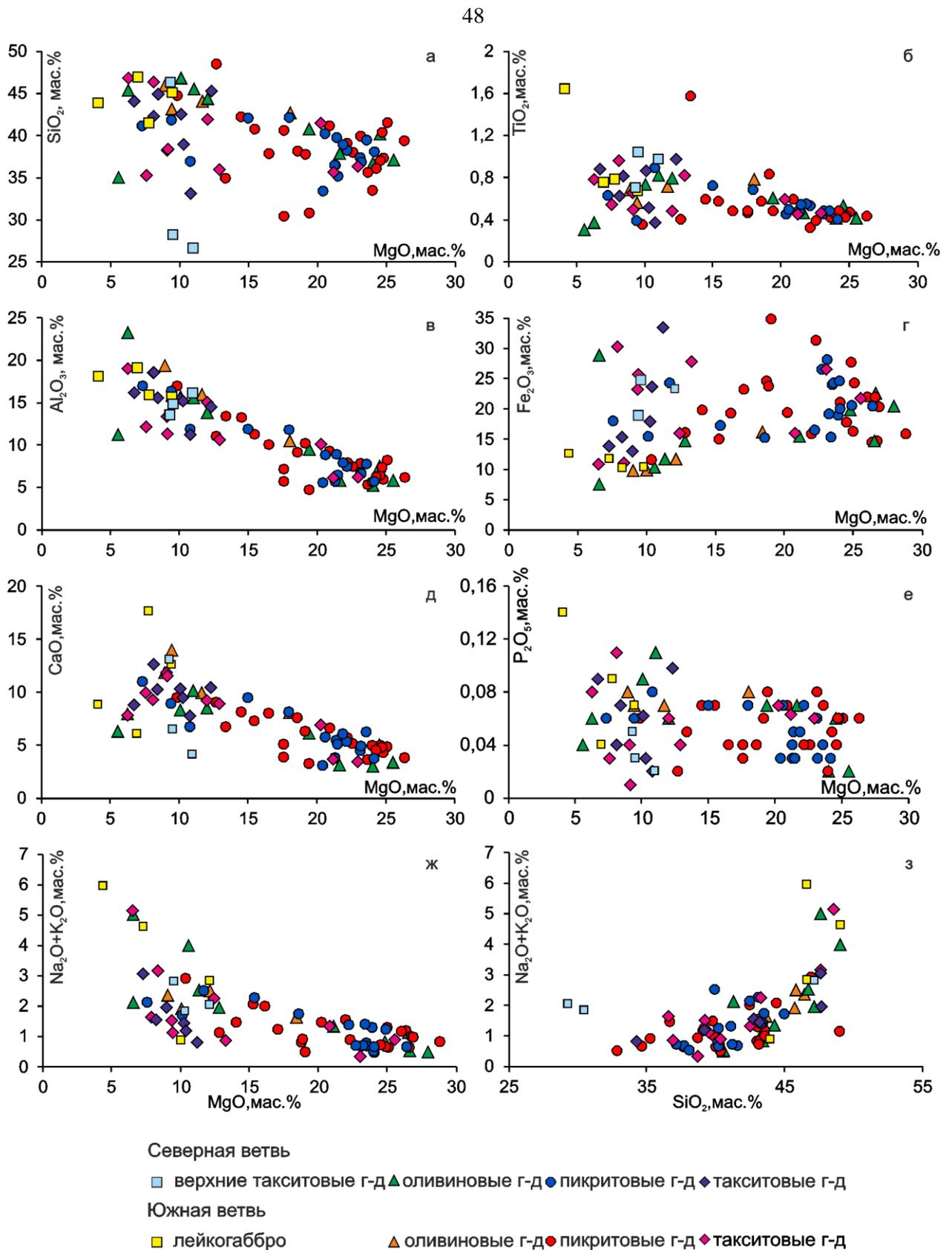


Рисунок 4.4.1 – бинарные вариационные диаграммы состава изученных пород центральной части Хараелахского интрузива.

Суммарное количество щелочей варьирует 0,33 от до 6,48 мас.% с преобладанием Na над K. Повышенное содержание Na₂O характерно для пород верхней эндоконтактовой зоны, подверженных гидротермальным изменениям. В

средней части разреза интрузива породы характеризуются нормальной щелочностью в пределах 3–4%.

SiO_2 меняется от 30,7 до 48,4 мас. %. Содержание кремнезема находится в обратной зависимости от содержания MgO . Последнее меняется от 3 до 28 мас.%, что отражает переход от основных пород к ультраосновным. Концентрация CaO также изменяется в широком диапазоне: от 0,28 до 12,74 мас. %. Породы содержат от 9,62 до 27,23 мас.% Fe_2O_3 , от 0,13 до 0,35 мас.% MnO , 0,04–0,14 мас.% P_2O_5 . Содержание Cr_2O_3 в породах достигает 0,37 мас.% в пикритовых габбро-долеритах и 8,66 мас.% в верхних такситовых габбро-долеритах.

На бинарных диаграммах породы демонстрируют значительные вариации в содержании петрогенных оксидов. При этом в разрезе интрузивной ветви наблюдаются резкие колебания в составе, а поля фигуративных точек разных пород накладываются друг на друга. Более закономерными представляются вариации TiO_2 , Al_2O_3 , CaO и $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (Рисунок 4.4.1 в, г, е, ж), отрицательно коррелирующие с MgO . Подобные скачкообразные изменения химического состава пород и отсутствие их постепенной эволюции по разрезу центральной части Хараелахского интрузива могут указывать на низкую степень кристаллизационно-гравитационной дифференциации интрузива в современной камере.

Анализ спектров распределения редких элементов в породах Хараелахского интрузива, нормированных на примитивную мантию (Рисунок 4.4.2), показывает схожую топологию графиков. Породы характеризуются высокими содержаниями некогерентных элементов, положительными аномалиями урана, свинца, стронция, что свидетельствует о контаминации исходного магматического расплава коровым материалом. Также отмечены отрицательные аномалии тория, ниобия, тантала, типичные для интрузивных пород Сибирской трапповой провинции [Горбачев, 2012]. Отличительной особенностью пород центральной части Хараелахского интрузива по сравнению с другими частями является отрицательная аномалия Zr , указывающая на особенности эволюции родоначальных магм [Канимбуе, 2023].

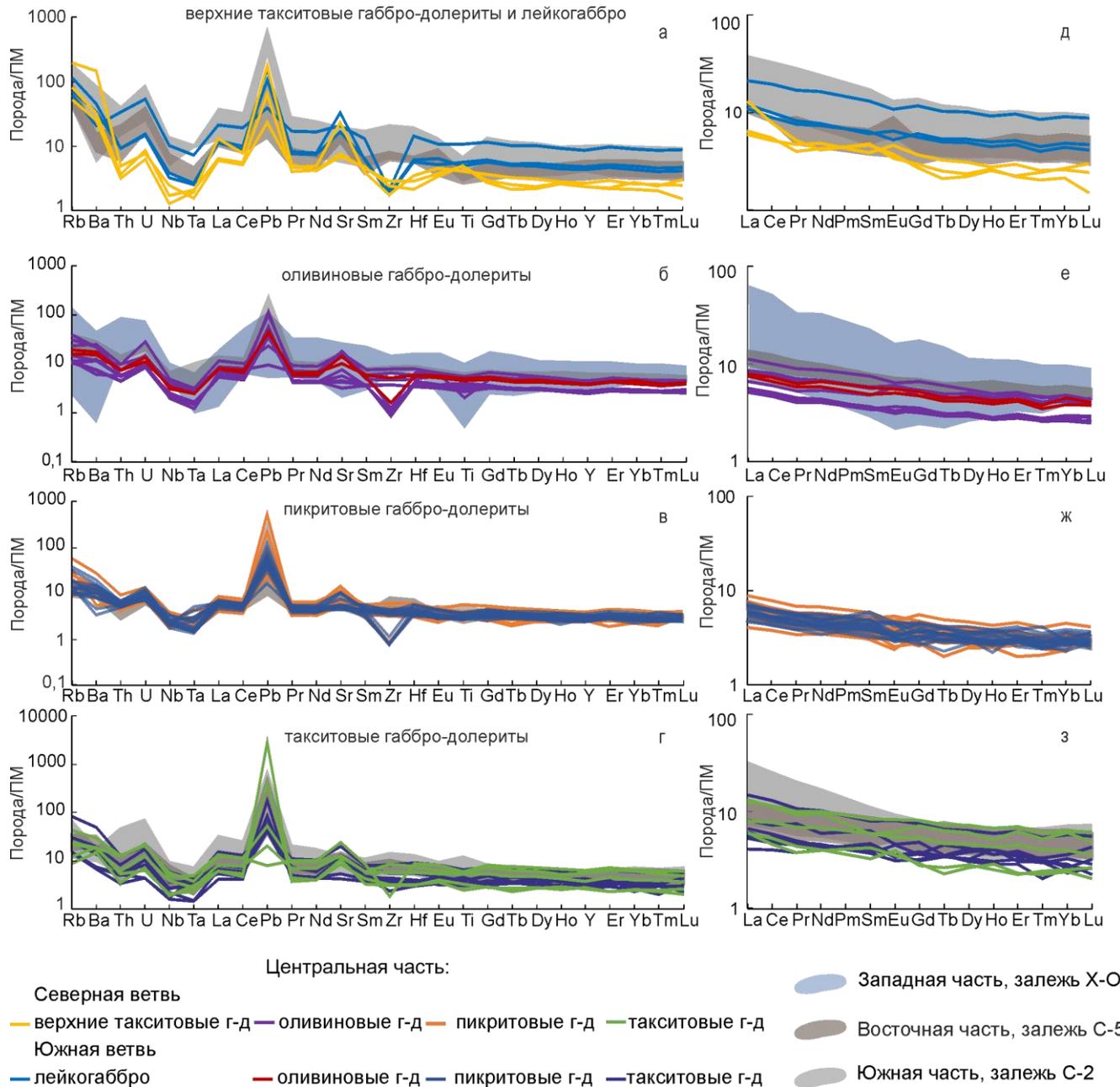


Рисунок 4.4.2 – Нормированные на примитивную мантию [Lyubetskaya, Korenaga, 2007] мультиэлементные спайдер-диаграммы (а-г) и спектры распределения редкоземельных элементов (д-з) для изученных пород центральной части Хараелахского интрузива: а, д – лейкогаббро и верхние такситовые габбро-долериты; б, е – оливинные габбро-долериты; в, ж – пикритовые габбро-долериты; г, з – такситовые габбро-долериты. Поля пород западной, восточной и южной частей Хараелахского интрузива по [Krivolutskaya et al., 2021].

Многими исследователями пикритовые габбро-долериты оцениваются как продукты наиболее примитивной мантии [Годлевский, 1956; Distler et al., 1999; Лихачев, 2006]. Изученные пикритовые габбро-долериты характеризуются весьма выдержанным микроэлементным составом, что отражается в сходстве спектров

распределения элементов в этих породах из разных частей Хараелахского интрузива (Рисунок 4.4.2 в, ж).

Графики распределения редкоземельных элементов в изученных породах имеют пологий отрицательный наклон (Рисунок 4.4.2 д–з). Дифференциаты характеризуются незначительным обогащением легкими РЗЭ и слабым фракционированием тяжелых РЗЭ.

Отношение $(Gd/Yb)_n$ имеет стабильный характер и изменяется в пределах от 0,99 до 1,53, в то время как отношение $(La/Sm)_n$ имеет более широкий диапазон значений от 0,93 до 2,74 (Рисунок 4.4.3). Максимальные значения $(Gd/Yb)_n$ и $(La/Sm)_n$ отражают ассимиляцию осадочных пород родоначальными магматическими расплавами в пределах контактных зон интрузий, поскольку во вмещающих девонских породах отношение La/Sm может достигать 7 [Krivolutskaya et al., 2020]. Значения отношения $(La/Yb)_n$ ограничены в интервале от 1,54 до 2,77, $(U/Nb)_n$ изменяется от 2,48 до 6,12, $(Ce/Yb)_n = 1,42–3,63$, $(Th/U)_n = 0,37–1,18$, $(Yb/Gd)_n = 0,7–1,01$.

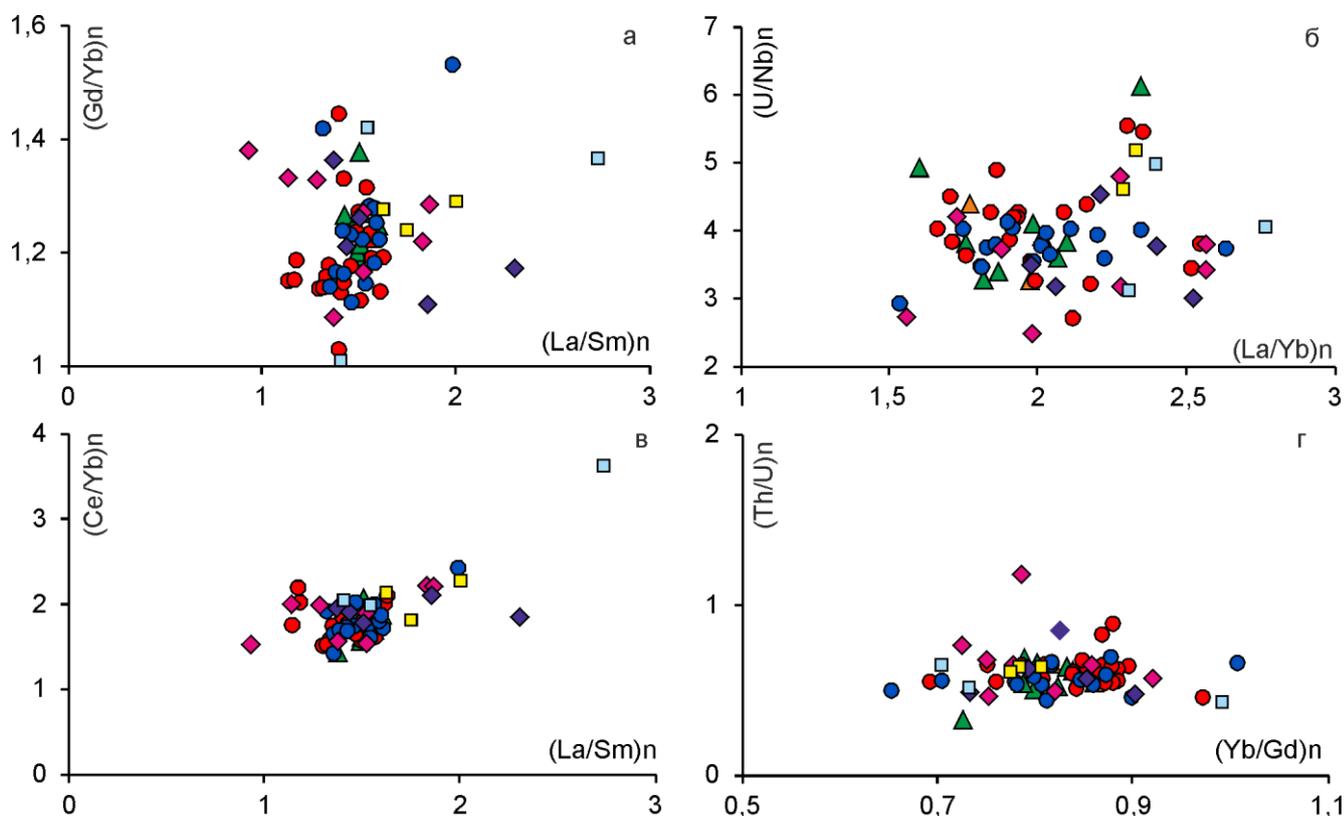


Рисунок 4.4.3 – вариационные диаграммы состава РЗЭ для изученных пород центральной части Хараелахского интрузива: а – $(La/Sm)_n$ – $(Gd/Yb)_n$; б – $(U/Nb)_n$ – $(La/Yb)_n$; в – $(La/Sm)_n$ – $(Ce/Yb)_n$; г – $(Yb/Gd)_n$ – (Th/U) . Условные обозначения приведены на рисунке 4.4.1.

Таким образом, проведенный анализ пород Северной и Южной ветвей центральной части Хараелахского интрузива выявил их идентичность как по составу породообразующих и второстепенных минералов, так и по геохимическим особенностям пород. Однако, в Главах 5 и 6 будут показаны их существенные отличия по составу сульфидной и благороднометалльной минерализации.

Также породы центральной части Хараелахского интрузива демонстрируют сходство с его краевыми частями по минеральному и химическому составу. Вместе тем, наблюдаются значительные различия составов пород и минералов западной и южной части Хараелахского интрузива.

Кроме того, центральная часть Хараелахского интрузива характеризуется сложным строением, проявляющееся в нарушении порядка залегания дифференциатов. Данная особенность отмечена и на других участках интрузива.

Полученные данные позволяют сформулировать **первое защищаемое положение:**

Центральная часть Хараелахского рудоносного интрузива имеет сложное строение, сформировавшееся в результате многоимпульсного внедрения магматического расплава.

ГЛАВА 5. СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ХАРАЕЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА

5.1. Классификация сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд Хараелахского интрузива

При изучении внутреннего строения интрузивных тел особое внимание уделялось сульфидной минерализации, ее распределению, изменению морфологических параметров и состава по разрезу. По условиям образования, морфологии и месту залегания сульфидные руды Хараелахского интрузива делятся на 3 главных типа [Додин и др., 1971]:

- 1) ликвационно-магматические – вкрапленные руды в интрузивных породах;
- 2) инъекционные – массивные сульфидные руды, образующие жилы и залежи;
- 3) инъекционно-метасоматические – «медистые» руды в измененных экзоконтактовых породах, вмещающих интрузию.

В центральной части Хараелахского интрузива основными типами руд являются вкрапленные, приуроченные к горизонтам пикритовых и такситовых, редко оливиновых габбро-долеритов, распространенные в виде пластообразных залежей почти по всей площади интрузива, и массивные руды, локализующиеся в нижней эндоконтактовой зоне интрузива. Прожилково-вкрапленные медистые руды имеют весьма ограниченное распространение.

Массивные руды не связаны с вкрапленными постепенными переходами, те и другие почти всегда разделены закалочными контактовыми габбро-долеритами с очень бедной сульфидной вкрапленностью.

Особенностью вкрапленного оруденения в пикритовых габбро-долеритах является присутствие крупных каплевидных выделений, характеризующихся закономерным разделением на халькопиритовую часть сверху и пирротиновую часть снизу при горизонтальной границе их раздела. Этот факт и общая приуроченность сульфидной минерализации к нижней части интрузива свидетельствуют о разделении магмы на 2 несмешивающихся расплава:

силикатный и сульфидный [Соболевский, Генкин, 1973]. В горизонте пикритовых габбро-долеритов вниз по разрезу наблюдается рост каплевидных выделений вплоть до образования шпировидных выделений, что является наглядным примером кристаллизационно-гравитационной дифференциации сульфидного расплава (Рисунок 5.1) [Лихачев, 2006; Barnes et al., 2019].

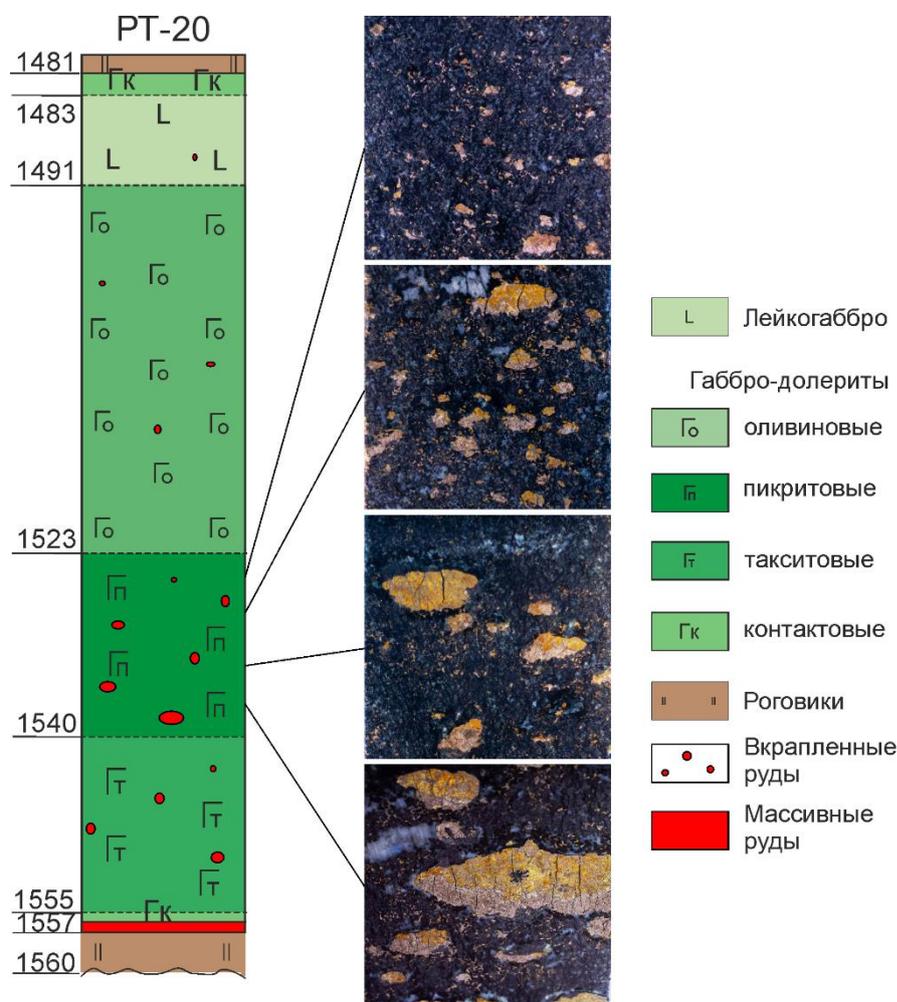


Рисунок 5.1 – Гравитационная дифференциация сульфидного вещества в горизонте пикритовых габбро-долеритов в скважине PT-20.

5.2. Минералогия сульфидного оруденения

Вкрапленные руды, приуроченные к пикритовым и такситовым габбро-долеритам в нижней части интрузива, составляют свыше 70% объема запасов Норильского района [Sluzhenikin, Mokhov, 2015]. Содержание сульфидных минералов в них варьирует от 5 до 30 об.%. Характер вкрапленной сульфидной минерализации в пикритовых и такситовых габбро-долеритах отличается как по морфологии выделений, так и по парагенезисам сульфидов.

Оруденение в пикритовых габбро-долеритах представляет собой как мелкую интерстициальную вкрапленность, так и крупные вкрапленники изометричной и угловатой формы до 4 см. При увеличении объема вкрапленности в богатых сульфидами слоях формируется сидеронитовая структура (Рисунок 5.1.1 а). Нередко в пикритовых габбро-долеритах наблюдается каплевидная, так называемая глобулярная вкрапленность сульфидов.

В такситовых габбро-долеритах сульфидные минералы образуют крупные выделения изометричной формы до 5 см, в которых отсутствует четкая расслоенность. Также на участках с мелкозернистым строением присутствует мелкая интерстициальная вкрапленность, шпильки неправильной и линзовидной формы.

В рудах Хараелахского интрузива главными минералами являются пирротин, халькопирит, пентландит, минералы группы талнахита, кубанит; второстепенными – магнетит, борнит, халькозин, миллерит, пирит, галенит, сфалерит. Руды ветвей центральной части Хараелахского интрузива отличаются по минеральному составу и соотношению минеральных компонентов.

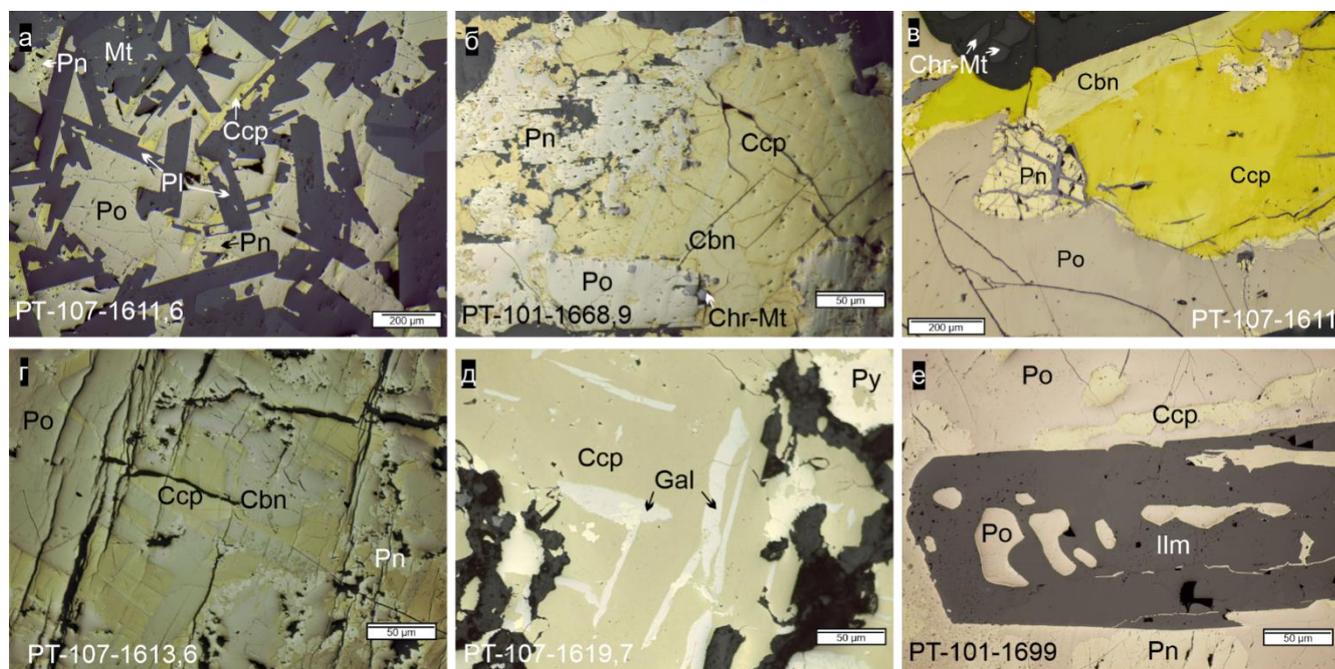


Рисунок 5.1.1 – Микрофотографии в отраженном свете кубанит-халькопирит-троилитовых руд Северной ветви Хараелахского интрузива: а – сидеронитовая структура сульфидных минералов в пикритовом габбро-долерите; б-г – пластинчатая структура распада кубанита в халькопирите; д – агрегаты галенита в халькопирите; е – включения пирротина в ильмените.

В Северной интрузивной ветви распространены вкрапленные кубанит-халькопирит-троилитовые руды с подчиненной ролью пентландита (Рисунок 5.1.1). В рудах пирротин присутствует в виде гексагональной разновидности и троилита, содержит примесь Ni до 0,58 мас.% в нижней части разреза. Наблюдается изменение состава пентландита от никелистой разновидности с содержанием Ni до 36 мас.% в верхней части до железистой разновидности с 23–30 мас.% Ni в подошве горизонта. Иногда встречается аргентопентландит с содержанием серебра до 13%.

Ассоциация троилита и халькопирита не является устойчивой, в результате чего повсеместно наблюдается распад халькопирита с образованием кубанита в виде пластинчатых сростаний (Рисунок 5.1.1 б–г). Часто встречаются структуры распада ильменита, а также скопления мелких зерен хроммагнетита. Отмечается сростания халькопирита и миллерита с образованием аллотриоморфной структуры, а также удлиненные выделения галенита в халькопирите. В единичных образцах в пирротине найдены вроски зигенита CoNi_2S_4 , образующегося при распаде промежуточного твердого раствора ISS [Ковалев и др., 2020].

В Южной ветви развиты пентландит-халькопирит-пирротиновые руды. Вместе с тем, в нижних частях разреза содержание халькопирита заметно снижается и преобладают пентландит-пирротиновые выделения. Пирротин представлен всеми разновидностями, при этом выделяются две генерации: первая формирует сплошные массы, в то время как для второй характерны игольчатые кристаллы в ассоциации с магнетитом, заполняющие трещины (Рисунок 5.1.2 е). Стоит отметить изменения концентрации Ni в пирротине: от 0,09–0,2 мас.% в верхней части до 0,5–0,8 мас.% в нижней. Минимальными содержаниями Ni обладает троилит, максимальными – моноклинный пирротин.

В кровле горизонта вкрапленных руд доминирует железистый пентландит (28–32 мас.% Ni), однако, вниз по разрезу существенно возрастает роль никелистого пентландита (33–36 мас.% Ni). В составе пентландита постоянно присутствует примесь кобальта, которая достигает 3,47 мас.%, при этом зависимость концентрации кобальта от никелистости пентландита близка к линейной. Также отмечены скопления зерен хроммагнетита, преимущественно в

верхней части разреза. Наблюдаются многочисленные прожилки и ксеноморфные выделения магнетита, заполняющего трещины в сульфидных минералах (Рисунок 5.1.2 в, г).

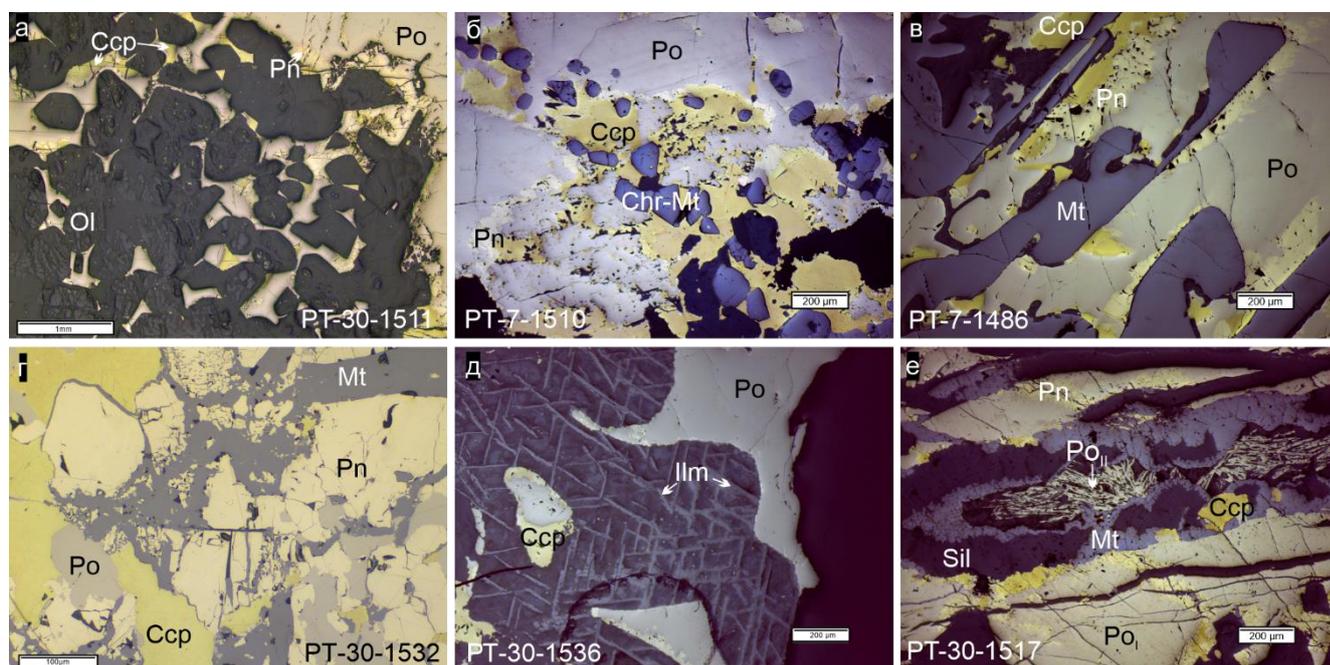


Рисунок 5.1.2 – Микрофотографии в отраженном свете пентландит-халькопирит-пирротиновых руд Южной ветви Хараелахского интрузива: а – сидеронитовая структура сульфидных минералов в пикритовом габбро-долерите; б – вкрапленные зерна хроммагнетита в сульфидной руде; в – аллотриоморфные срастания магнетита и сульфидных минералов; г – интерстициальная структура магнетита, заполняющего трещины в сульфидных минералах; д – решетчатая структура распада ильменита в магнетите; е – игольчатые выделения пирротина второй генерации, окаймленные магнетитом.

Важно отметить выявленные особенности сульфидной минерализации в скважине РТ-12, пересекающей обе интрузивные ветви. Вкрапленное оруденение представлено пирротинном и халькопиритом, в меньшей степени пентландитом. Гексагональная разновидность пирротина имеет преимущественное распространение по сравнению с моноклинной, нередко наблюдаются агрегаты с псевдографитовой структурой (Рисунок 5.1.3 а).

Пентландит занимает промежуточное положение между пирротинном и халькопиритом, формируя каймы по границе этих минералов и ксеноморфные зерна. В образцах присутствует Ni и Fe разновидности пентландита. В нижней части разреза наблюдается распад халькопирита с образованием пластинок распада

кубанита и борнита (Рисунок 5.1.3 б), а также наложенная пиритовая минерализация (Рисунок 5.1.3 в).

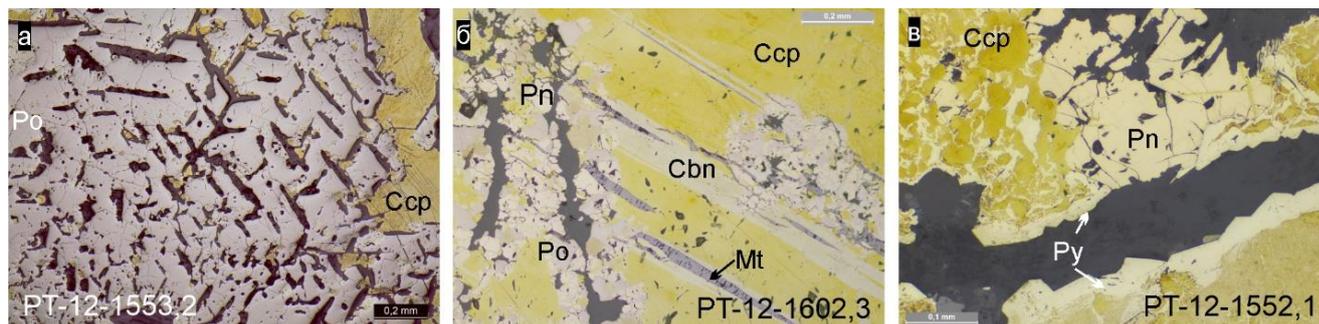


Рисунок 5.1.3 – Микрофотографии в отраженном свете вкрапленных руд в скважине РТ-12: а – псевдографитовая структура пирротина; б – пластинчатая структура распада кубанита в халькопирите; в – вторичная минерализация пирита по халькопириту и пентландиту.

Массивные руды залежи С-4 характеризуются низкосернистой ассоциацией талнахитовых руд. Здесь присутствуют талнахит, мойхукит, путоранит, хейкокит, а также борнит, халькозин, кубанит, реже наблюдается халькопирит, пентландит, троилит (Рисунок 5.1.4). Минералы группы талнахита являются продуктами распада промежуточного твердого раствора халькопирита, иногда содержат примесь никеля до 1,2 мас.%. Кубанит, борнит, халькозин, пирротин заполняют трещины в них. Редко отмечается хейкокит, содержащий примесь Ni до 1,9 мас.%.

В качестве акцессорных минералов присутствуют миллерит, сфалерит, галенит, клаусталит, магнетит. В нижних слоях рудной залежи наблюдается обилие галенита при отсутствии МПГ.

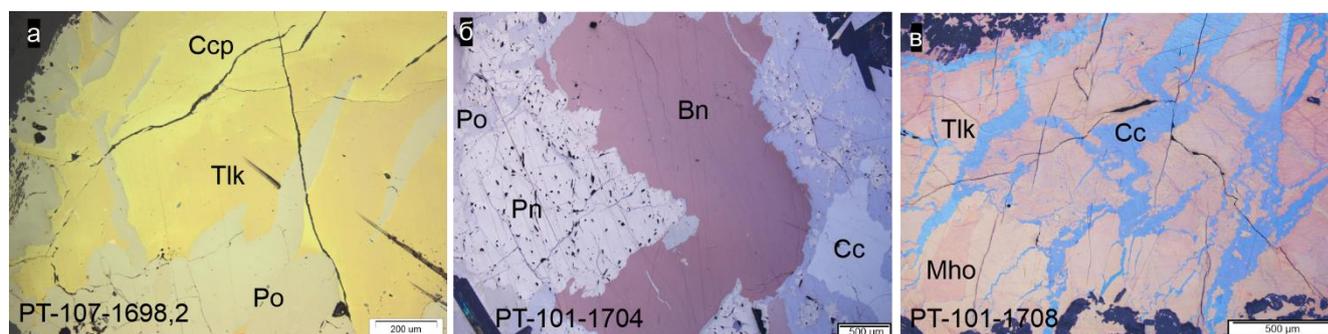


Рисунок 5.1.4 – Микрофотографии в отраженном свете талнахитовых руд залежи С-4 Хараелахского интрузива: а – выделения пирротина в халькопирит-талнахитовой массе; б – крупное выделение борнита, окруженное каймой пирротина и пентландита; в – прожилки халькозина в талнахите.

В массивных пентландит-халькопирит-пирротиновых рудах залежи С-3 достигается следующее соотношение минералов: пирротин – 60–80%, халькопирит – 20–30%, пентландит – 5–10%. В верхней части разреза представлена моноклиальная разновидность пирротина, в то время как в нижней части широко распространены тонкие срастания троилита и гексагонального пирротина, образующие как сплошные массы, так и тонкие прожилки в других сульфидных минералах. Пентландит представлен железистой разновидностью в верхней части разреза и никелистой разновидностями в подошве интрузива, встречается в двух генерациях: первая генерация представлена в виде оторочек вокруг скоплений халькопирита, вторая – в виде тонких пластинок, включений в пирротиновой матрице. Халькопирит присутствует в виде сплошных масс и ксеноморфных выделений в трещинах. Встречаются игольчатые агрегаты кубанита, а также магнетит, ильменит, галенит, сфалерит, хромит.

Массивные руды южной залежи С-3 характеризуется обильными мирмекитоподобными (псевдографитовыми) скоплениями магнетита в нижних частях горизонта массивных руд (Рисунок 5.1.5 б).

Состав изученных вкрапленных и массивных руд центральной части Хараелахского интрузива обобщен в Таблице 5.1.1. Состав сульфидных минералов приведен в Приложении Б.

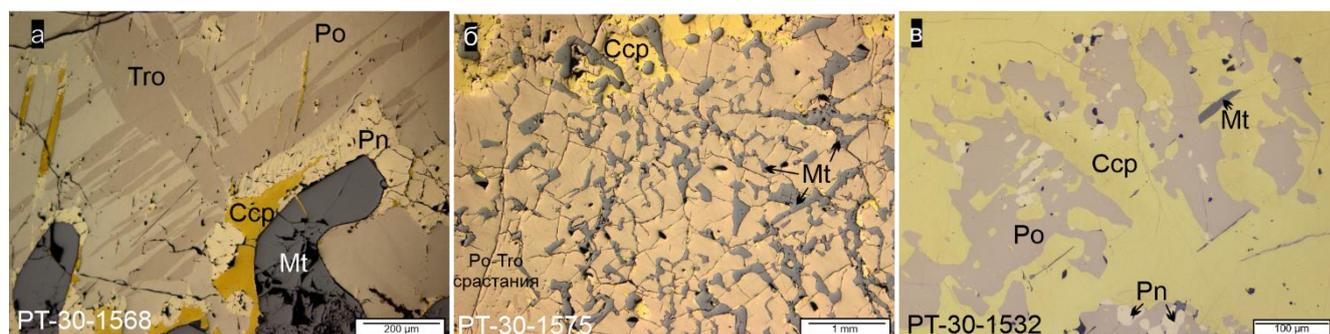


Рисунок 5.1.5 – Микрофотографии в отраженном свете пентландит-халькопирит-пирротиновых руд залежи С-3 Хараелахского интрузива: а – волокнистая структура срастаний троилита и моноклинного пирротина; б – мирмекитоподобные прорастания магнетита в пирротин-троилитовой массе; в – структуры распада пирротина в халькопирите.

Таблица 5.1.1 – Состав сульфидных руд центральной части Хараелахского интрузива.

	Северная ветвь		Южная ветвь	
Тип руд	Вкрапленные руды	Массивные руды залежи С-4	Вкрапленные руды	Массивные руды залежи С-3
Рудообразующие минералы	Пирротин, халькопирит, кубанит	Талнахит, мойхукит, хейкокит, путоранит, халькопирит, пирротин	Пирротин, халькопирит, пентландит	Пирротин, халькопирит, пентландит
Второстепенные минералы	Пентландит борнит, хроммагнетит, титаномагнетит, миллерит, никелистый пирит, ильменит	Борнит, халькозин, кубанит, сфалерит, галенит, клаусталит, магнетит, хроммагнетит	Пирит, никелистый пирит, кубанит, хроммагнетит, титаномагнетит, магнетит, ильменит	Магнетит, ильменит, галенит, сфалерит
Редкие минералы	Циркон, бадделеит, апатит, зигенит, МБМ	Аргентопентландит, МБМ	Циркон, бадделеит, апатит, МБМ	Аргентопентландит, бадделеит, МБМ

Данные по составам пентландита и минералов группы пирротина позволили выявить отличия никелистости этих минералов из горизонтов пикритовых и такситовых габбро-долеритов. В Северной ветви средние содержания никеля в пентландите и минералах группы пирротина из руд в пикритовых габбро-долеритах составляют 29,6 и 0,06 мас.% соответственно, в такситовых габбро-долеритах 32,2 и 0,57 мас.%. В Южной интрузивной ветви в пикритовых габбро-долеритах пентландит и минералы группы пирротина в среднем содержат 32,6 и 0,023 мас.%, в то время как в такситовых габбро-долеритах средние содержания в

тех же минералах равны 34,4 и 0,51 мас.%. Полученные данные свидетельствуют о том, что данная зависимость не является линейной, но отвечает общей тенденции взаимосвязанного увеличения содержания никеля в сосуществующих пентландите и пирротине.

Также стоит отметить общую закономерность пространственного распределения сульфидных минералов вкрапленных руд. В пикритовых габбро-долеритах преобладают низкосернистые минеральные ассоциации с троилитом и гексагональным пирротином, в такситовых габбро-долеритах – высокосернистые ассоциации с моноклинным пирротином.

Выявленные различия обусловлены разностью фугитивности серы в горизонтах пород. Как известно [Дюжиков и др., 1988], в условиях низкой фугитивности серы образуются фазы с высоким содержанием железа: троилит, талнахит, мойхукит, пугоранит, железистый пентландит. Последовательное возрастание фугитивности серы обеспечивает формирование ассоциаций троилита с кубанитом, халькопиритом, гексагональным пирротином. При более высоких значениях активности серы образуются ассоциации моноклинного пирротина, халькопирита, никелистого пентландита.

Из вышеописанного следует, что сульфидное оруденение Северной и Южной интрузивных ветвей и связанных с ними залежей существенно различается по парагенезисам сульфидных минералов. Так, Южная ветвь и залежь С-3 характеризуется высокосернистой ассоциацией, в то время как Северная ветвь и залежь С-4 содержат минералы с дефицитом серы. Данные различия в минеральных парагенезисах проиллюстрированы на Рисунке 5.1.6. Кроме того, наблюдается многообразие структур и текстур руд, а также разное соотношение минеральных компонентов.

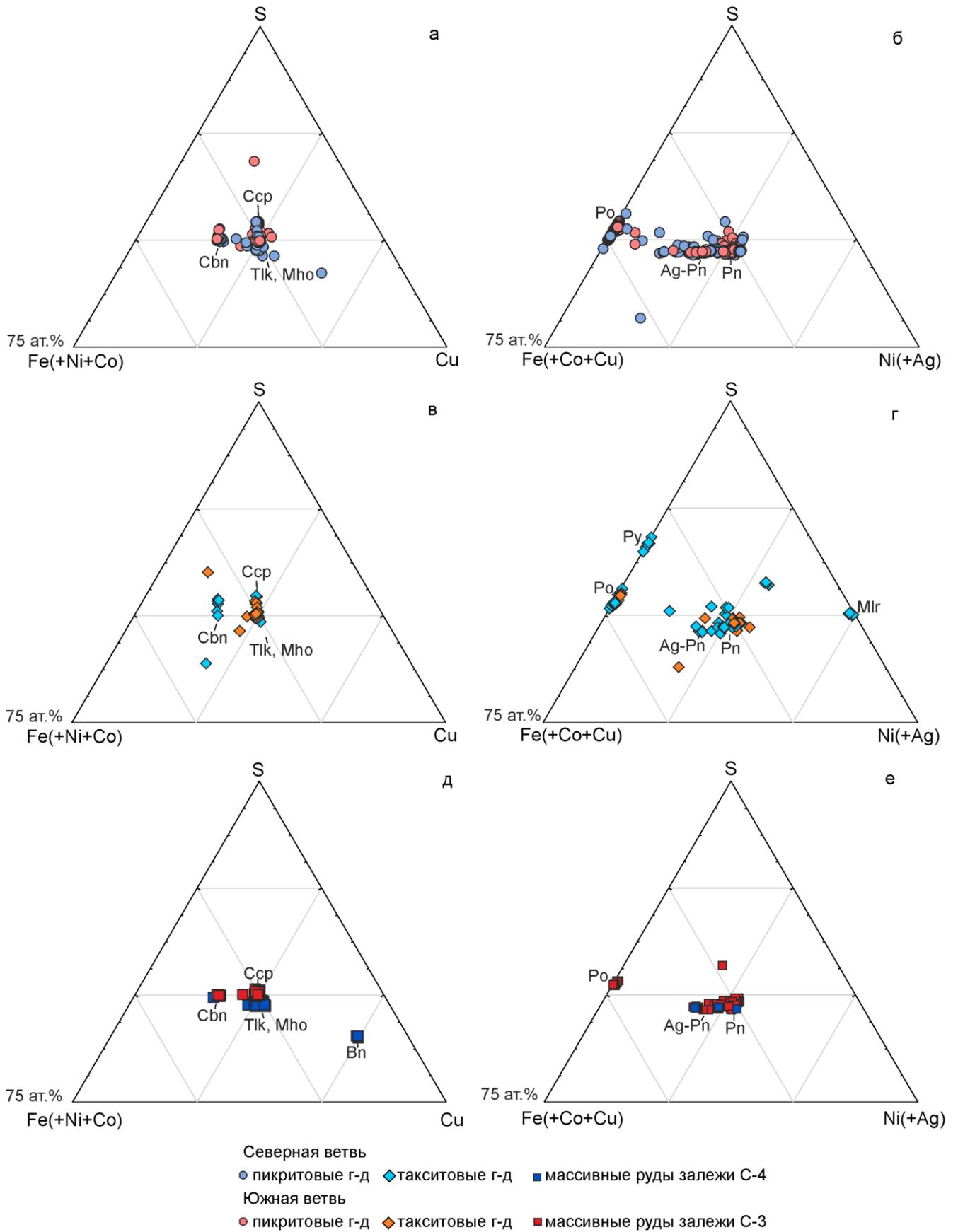


Рисунок 5.1.6 – Состав сульфидных минералов в пикритовых (а, б), такситовых (в, г) габбро-долеритах и массивных рудах (д, е) центральной части Хараелахского интрузива в системах Fe(+Ni+Co) –S–Cu и Fe(+Co+Cu) –S–Ni(+Ag).

ГЛАВА 6. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РУДАХ ХАРАЕЛАХСКОГО ИНТРУЗИВА

6.1. Особенности химического состава сульфидных руд

Сульфидные руды центральной части Хараелахского интрузива характеризуются широким диапазоном концентраций благородных металлов даже в пределах одного горизонта. Это характеризует нестабильный характер накопления рудных компонентов.

Относительная концентрация платиноидов, выражающаяся как $\Sigma \text{ЭПГ}/\text{S}$, в пикритовых габбро-долеритах закономерно больше, чем в такситовых габбро-долеритах и массивных рудах и достигает значения 5,97 г/т в Южной ветви и 4,22 г/т в Северной ветви. В массивных пентландит-халькопирит-пирротиновых рудах относительные концентрации ЭПГ меняется от 0,18 до 0,88 г/т, в массивных талнахитовых рудах от 1,23 до 2,04 г/т.

Отношение концентрации Pd/Pt во всех разновидностях вкрапленных руд находится в пределах 3,26–5,11, достигая максимума в такситовых габбро-долеритах Южной ветви. В массивных рудах отношение палладия к платине слабо отличается между залежами и варьирует от 4,06 до 7,91. Состав изученных руд представлен в Приложении В.

Во вкрапленных рудах Северной и Южной интрузивных ветвей концентрации благородных металлов находятся в сильной зависимости от содержаний Ni и Cu, в меньшей степени от S. При этом корреляционные связи между металлами сильнее в такситовых габбро-долеритах по сравнению с пикритовыми габбро-долеритами. Также в такситовых габбро-долеритах характер распределения Au и Ag совпадает с поведением ЭПГ [Canhimbue et al., 2023].

Для массивных руд характерны более слабая корреляция цветных и благородных металлов. Как в пентландит-халькопирит-пирротиновых, так и в талнахитовых рудах отмечается обратная зависимость содержания золота и серебра от концентрации никеля.

Для сравнения разных типов руд был проведен пересчет их состава на 100% сульфидное вещество и нормирование на примитивную мантию. Как показано на Рисунке 6.1.1, руды в пикритовых и такситовых габбро-долеритах Северной и Южной ветвей характеризуются схожим характером распределения микроэлементов. В спектрах отмечаются положительные аномалии Pb, Ag, Pd, Rh, а также отрицательные аномалии As, Cd, Te, Pt, Os. Талнахитовые руды залежи С-4 близки по составу к вкрапленным рудам и отличаются от них лишь более низким содержанием тугоплавких ЭПГ и Rh. Тем временем, пентландит-халькопирит-пирротиновые руды залежи С-3 заметно обеднены элементами от Sn до Au, за исключением пика As.

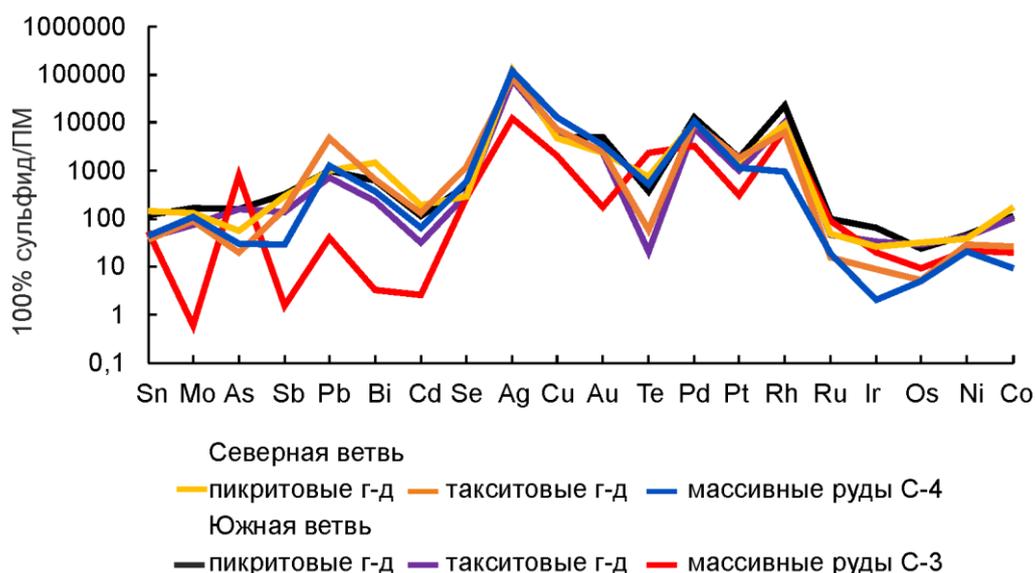


Рисунок 6.1.1 – Нормированные на примитивную мантию (ПМ) мультиэлементные спектры распределения для вкрапленных руд в пикритовых, такситовых габбро-долеритах и массивных руд центральной части Хараелахского интрузива, пересчитанные на 100% сульфид по [Lyubetskaya, Korenaga, 2007].

Нормированные на хондрит CI спектры распределения цветных и благородных металлов во вкрапленных рудах в пикритовых и такситовых габбро-долеритах Северной и Южной ветвей центральной части Хараелахского интрузива показывают возрастание содержаний от Ni к ЭПГ и Cu (Рисунок 6.1.2 а). Однако, в обеих ветвях отчетливо проявляется отрицательные аномалии Ru и Au, которая также характерны для других частей интрузива.

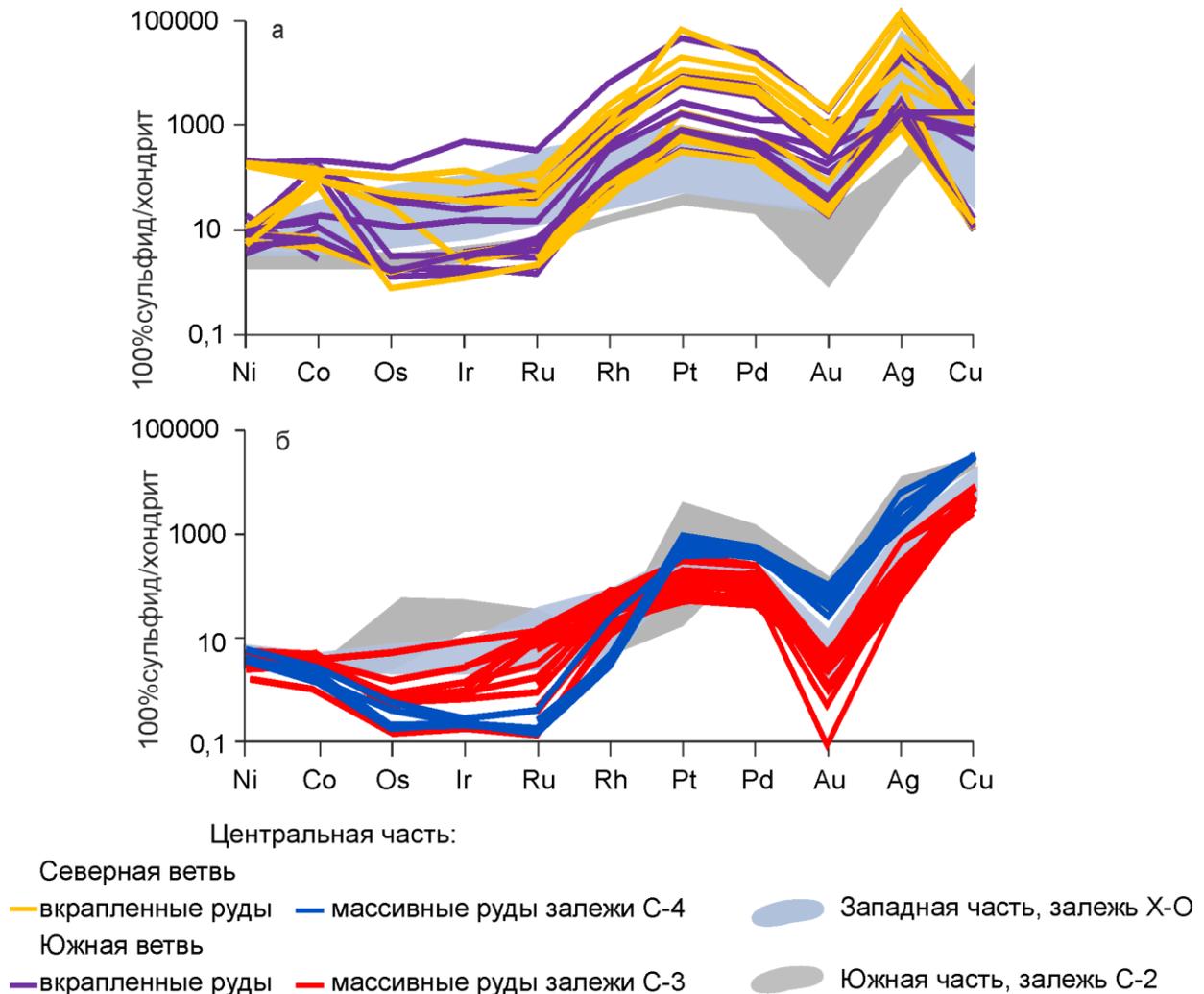


Рисунок 6.1.2 – Спектры распределения Ni, Co, Cu и благородных металлов для вкрапленных (а) и массивных (б) руд центральной части Хараелахского интрузива, пересчитанные на 100% сульфид и нормированные на хондрит CI по [McDonough, Sun, 1995; Tagle et al., 2008].

Одной из характерных особенностей вкрапленных руд является их весьма высокая обогащенность платиноидами, отнесенная к 100% сульфидного вещества. Так, в расчете на сульфидную составляющую эти руды в 4-5 раз богаче платиновыми металлами, чем большинство минеральных разновидностей массивных руд. Следовательно, сульфидные расплавы, из которых сформировались вкрапленное оруденение и оруденение массивных залежей, отличались начальной концентрацией платиновых металлов [Служеникин, Дистлер, 1998; Канимбуе и др., 2022].

Важным параметром для вкрапленных руд является степень частичного плавления мантийного субстрата, необходимого для формирования очагов исходных магм. Данная величина оценивается по отношению [Маракушев и др.,

2014; Mansur et al., 2020] (6.1.1):

$$\frac{\sum Pd}{\sum Ir} = \frac{Pd+Pt+Rh}{Os+Ru+Ir} \quad (6.1.1)$$

Вкрапленные пентландит-халькопирит-пирротиновые руды Южной ветви характеризуются значением $\Sigma Pd/\Sigma Ir$ от 49 до 133, для кубанит-халькопирит-троилитовых руд Северной ветви $\Sigma Pd/\Sigma Ir = 43-152$. Следовательно, вкрапленные руды Северной и Южной ветвей центральной части Хараелахского интрузива идентичны по степени плавления исходного материала.

Для оценки количества сульфидов, выделенных из силикатного расплава при формировании вкрапленных руд, использован график зависимости Cu/Pd от Pd [Barnes et al., 1999] (Рисунок 6.1.3). Данный график учитывает отношение массы расплава к количеству выделившейся сульфидной фазы (т.н. R-фактор), а также отношения коэффициентов распределения палладия и меди между силикатной и сульфидной составляющей при вариациях содержания сульфидов.

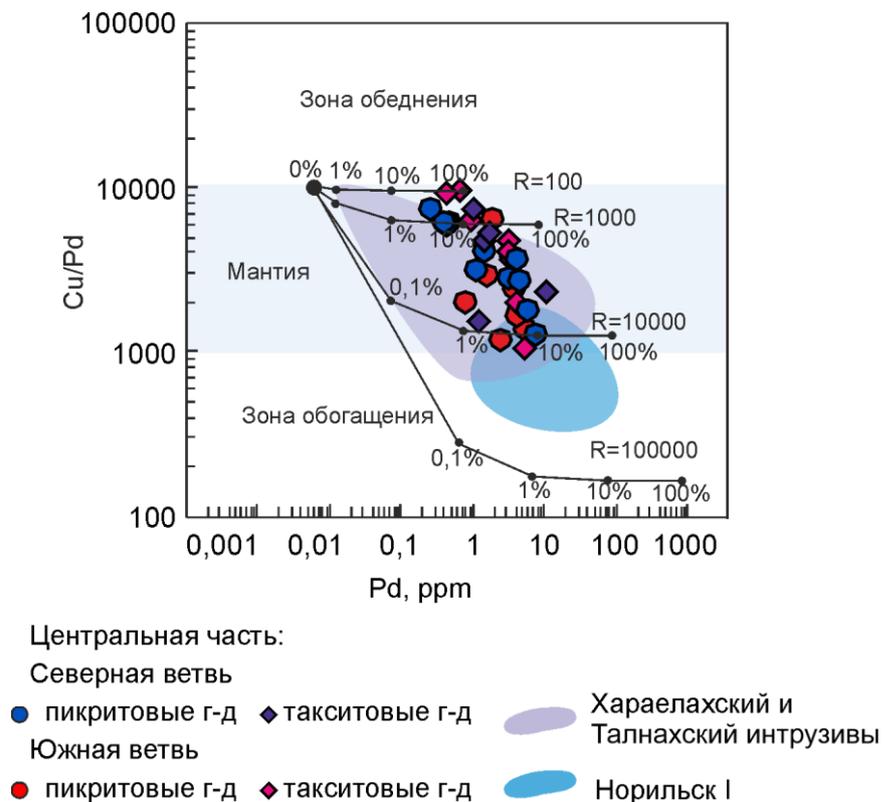


Рисунок 6.1.3 – Бинарная диаграмма Pd–Cu/Pd для вкрапленных руд центральной части Хараелахского интрузива. Поля вкрапленных руд интрузивов Хараелахский, Талнахский и Норильск I по [Barnes, Maier, 1999; Duran et al., 2017].

Как показано на Рисунке 6.1.3, вкрапленные руды Северной и Южной ветви центральной части Хараелахского интрузива сформировались в одинаковых мантийных условиях при значениях R-фактора от 100 до 10000. Полученные результаты согласуются с литературными данными по Хараелахскому и Танлнахскому интрузивам.

Ведущую роль в распределении благородных металлов в массивных рудах играет фракционная кристаллизация сульфидного расплава [Генкин и др., 1981]. Согласно [Distler et al., 1977; Barnes et al., 1997; Mansur et al., 2020], преимущественно пирротиновые руды являются продуктом ранней кристаллизации моносльфидного твердого раствора (MSS) из исходного сульфидного расплава, тогда как богатые медью руды являются продуктами распада промежуточного твердого раствора (ISS) и кристаллизации остаточного сульфидного расплава. Как известно, Ru, Rh, Os и Ir наиболее совместимы с Fe- и Fe-Ni сульфидами, в то время как Pt, Pd, Ag, Au тяготеют к Fe-Cu и Fe-Cu-Ni сульфидам [Vogt, 1927; Годлевский, 1960; Соболевский, Генкин, 1973; Duran et al., 2017; Спиридонов, 2022].

Массивные пентландит-халькопирит-пирротиновые руды залежи С-3 значительно менее фракционированы по сравнению с массивными талнахитовыми рудами залежи С-4 (Рисунок 6.1.4). Это обуславливает существенно разные концентрации благородных металлов в массивных рудах залежей С-3 и С-4 (Рисунок 6.1.2 б). В частности, талнахитовые руды залежи С-4 обеднены тугоплавкими ЭПГ, но обогащены платиной, палладием, золотом и серебром. В пентландит-халькопирит-пирротиновых рудах залежи С-3 наблюдается обратная картина: содержания Rh, Ru, Ir и Os на порядок выше по сравнению с другими типами руд.

Из этого следует вывод, подтверждающий идеи [Дистлер, 1994; Tolstykh et al., 2021] о том, повышенные содержания тугоплавких ЭПГ и родия в примитивном сульфидном расплаве обусловлены слабой степенью его фракционирования в промежуточной камере. Максимальные концентрации легкоплавких ЭПГ характерны для наиболее фракционированных руд, что обусловлено их

накоплением в остаточном сульфидном расплаве на заключительном этапе его эволюции.

Согласно [Stekhin, 1994] изученные рудные залежи принадлежат разным потокам силикатной магмы и сульфидного расплава: северная залежь С-4 принадлежит ответвлению расширенного потока «Октябрьский», а южная залежь С-3 относится к другому потоку (безымянному), простирающемуся к северо-западу от Норильско-Хараелахского разлома (Рисунок 6.1.5). Это также подчеркивает разный минеральный и химический состав пентландит-халькопирит-пирротиновых руд залежи С-3 и талнахитовых руд залежи С-4.

Таким образом, проведенные исследования состава вкрапленных и массивных руд Хараелахского интрузива подчеркивают зависимость концентрации благородных металлов от минерального состава руд и особенностей их эволюции, главным образом от степени фракционирования.

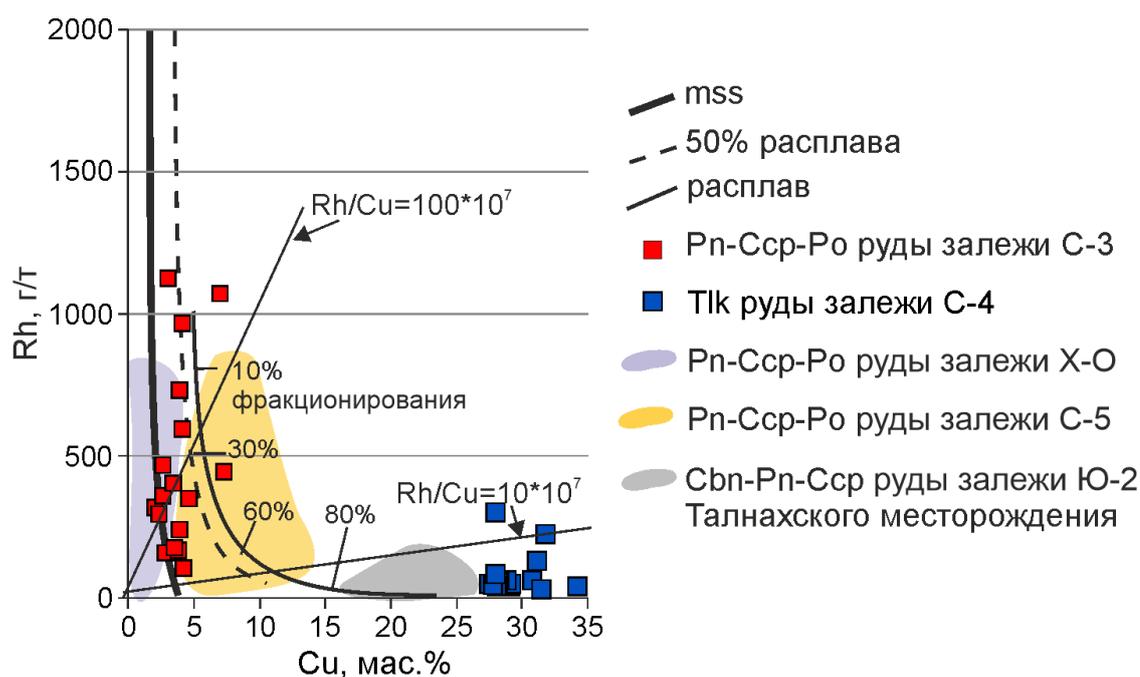


Рисунок 6.1.4 — Диаграмма Rh-Cu для массивных пентландит-халькопирит-пирротиновых руд залежи С-3 и талнахитовых руд залежи С-4 центральной части Хараелахского интрузива с модельными кривыми Релеевского фракционирования [Налдретт, 2003]. Поля массивных руд залежей Х-О, С-5 Октябрьского месторождения и залежи Ю-2 Талнахского месторождения по [Krivolutskaya et al., 2019, 2020; Tolstykh et al., 2020].

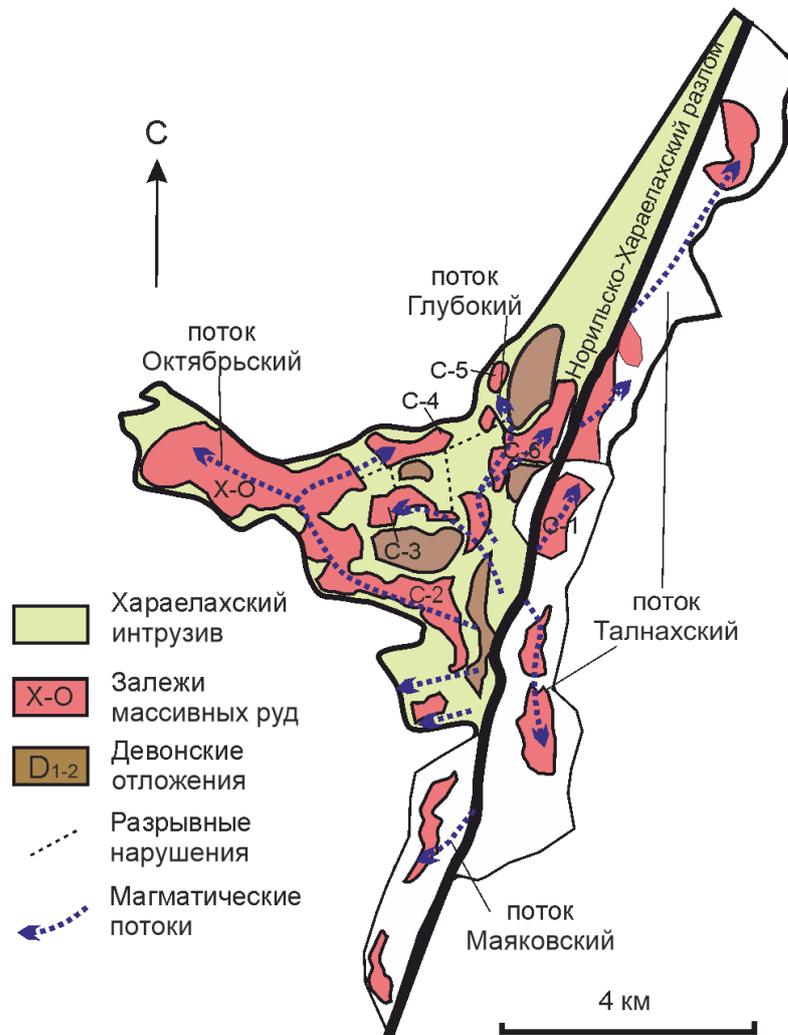


Рисунок 6.1.5 – Проекция Талнахского рудного узла с направлениями потоков фракционирующей рудной магмы по [Stekhin, 1994].

Полученные результаты позволяют сформулировать **второе защищаемое положение:**

Массивные талнахитовые руды залежи С-4 центральной части Хараелахского интрузива сформировались при высокой степени фракционирования и имеют повышенные содержания легкоплавких ЭПГ, золота и серебра по сравнению с массивными пентландит-халькопирит-пирротиновыми рудами залежи С-3, обогащенными тугоплавкими ЭПГ.

6.2. Благороднометалльная минерализация в сульфидных рудах

К числу наиболее существенных характеристик благороднометалльной минерализации сульфидных руд норильских месторождений является присутствие в их составе как минеральных форм платиноидов, золота и серебра, так и богатых благородными металлами твердых растворов в главных рудообразующих

сульфидах [Служеникин, 2010, 2016]. В связи с этим особое значение приобретает количественная оценка роли каждой из форм.

Характер концентрации ЭПГ в сульфидных минералах Хараелахского интрузива подробно изучен в работах [Cabri et al., 2002; Mansur et al., 2020; Filimonova et al., 2021; Tolstykh et al., 2022; Brovchenko et al., 2023 и других]. Исследования показали, что главным минералом-концентратором палладия является пентландит, который может содержать до 11,26 мас.% Pd [Kalugin et al., 2021]. Тугоплавкие ЭПГ и родий преимущественно накапливаются в пирротине: Rh до 3,84 г/т, Ru до 1,28 г/т, Ir до 0,58 г/т и Os до 0,32 г/т. Золото в основном концентрируется в пентландите до 1,82 г/т, а серебро может присутствовать в халькопирите до 31 г/т. Платина в разных количествах концентрируется во всех сульфидных минералах, однако максимальные концентрации отмечаются в пентландите (до 3,09 г/т) и в пирите (до 5 г/т).

Как показано в [Liu, Brenan, 2015; Mansur et al., 2021; Sittner et al., 2022] накопление тугоплавких ЭПГ в пирротине находится в обратной зависимости от степени фракционирования руд, в то время как концентрации палладия в пентландите возрастают в более фракционированных рудах.

Отличительной особенностью благороднометалльной минерализации Хараелахского интрузива является широкий спектр элементов-партнеров ЭПГ, таких как Sn, Pb, Cu, Bi, Fe, As, Ni, Sb, Te, Se, Ag и др. в минералах платиновой группы [Генкин, 1968; Евстигнеева, 1990; Sinyakova et al., 2023]. Согласно многолетним исследованиям [Спиридонов, 2010, 2015, 2020], Pd, Pt, Au, Ag, Sn, Te, As, Sb, Bi привнесены флюидами, возникшими при кристаллизации сульфидных расплавов, в то время как Cu, Pb, Fe, Ni заимствованы из сульфидных минералов рудных тел.

В ходе исследования автором определено 378 зерна МБМ, среди которых 26 минеральных видов МПГ и 9 минералов золота и серебра. Минералы благородных металлов представлены в виде зерен неправильной формы, метакристаллов и сложных сростаний, ассоциируются с минералами группы халькопирита и кубанитом, гораздо реже они формируются на контактах этих минералов с

пирротином и пентландитом. Их прожилки и просечки, а также выделения в трещинах сульфидных минералов доказывают их более позднюю минерализацию (Рисунок 6.2.2 а, б, е). Вместе с тем, в изученных массивных рудах встречаются агрегаты округлой формы, кристаллизация которых происходила одновременно с остыванием сульфидного расплава. Часто наблюдаются полиминеральные агрегаты, в которых сложно проследить порядок кристаллизации (Рисунок 6.2.2 г, д). Минералы благородных металлов распределены в рудах крайне неравномерно, образуя скопления в самой верхней части залежей сплошных руд.

Во **вкрапленных кубанит-халькопирит-троилитовых рудах** Северной ветви центральной части Хараелахского интрузива наблюдается широкое развитие тройных соединений Pd, Sn и Cu (рисунок 6.2.1 а). Присутствует серия твердых растворов атокит-рустенбургит $(Pd,Pt)_3Sn$, кабрит Pd_2CuSn , паоловит Pd_2Sn , нильсенит $PdCu_3$, таймырит $(Pd,Cu,Pt)_3Sn$. Кроме того, присутствуют мончеит $Pt(Te,Bi)_2$, полярит $Pd(Bi,Pb)$ и арсенопалладинит Pd_5As_2 , звягинцевит Pd_3Pb (Рисунок 6.2.2). Широко распространены минералы золота и серебра, среди которых преобладает электрум с содержанием золота от 36 до 46 мас.%, а также отмечено самородное серебро с примесью палладия до 3 мас.%, аурикуприд Cu_3Au , гессит Ag_2Te , сопчеит $Ag_4Pd_3Te_4$ и аргентопентландит $Ag(Fe,Ni)_8S_8$ с содержанием серебра до 13 мас.%.

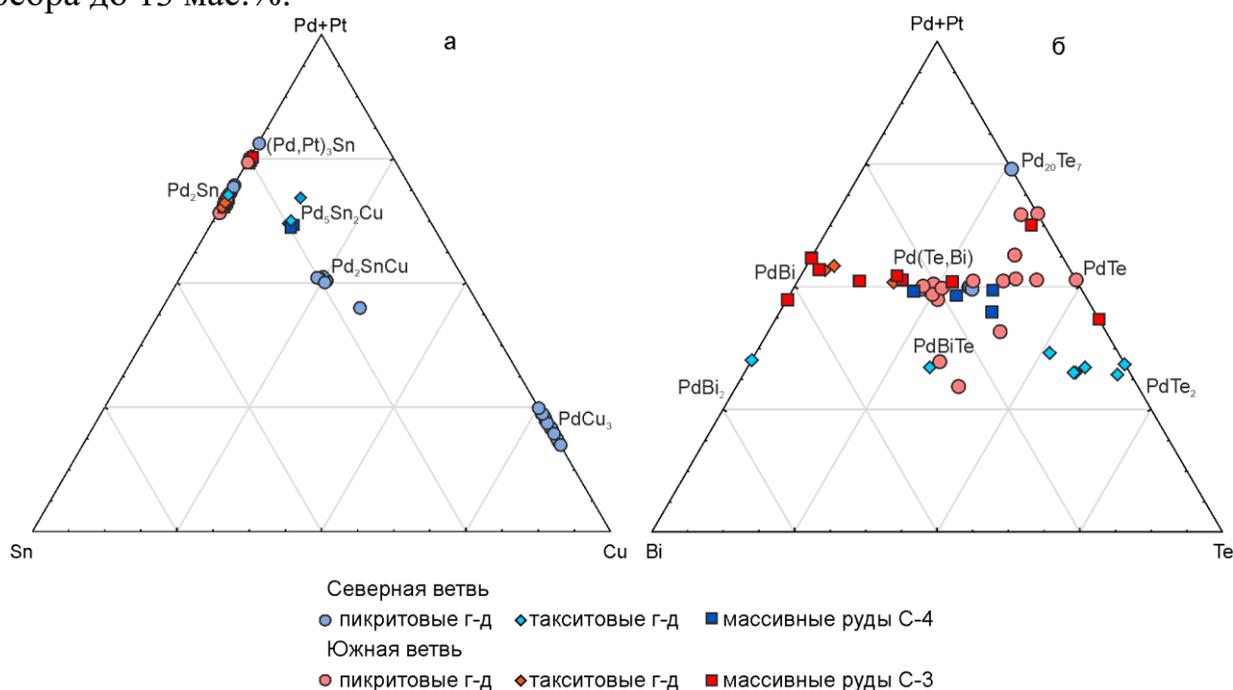


Рисунок 6.2.1 – диаграммы состава минералов системы Pd-Pt-Sn-Cu (а) и Pd-Bi-Te (б).

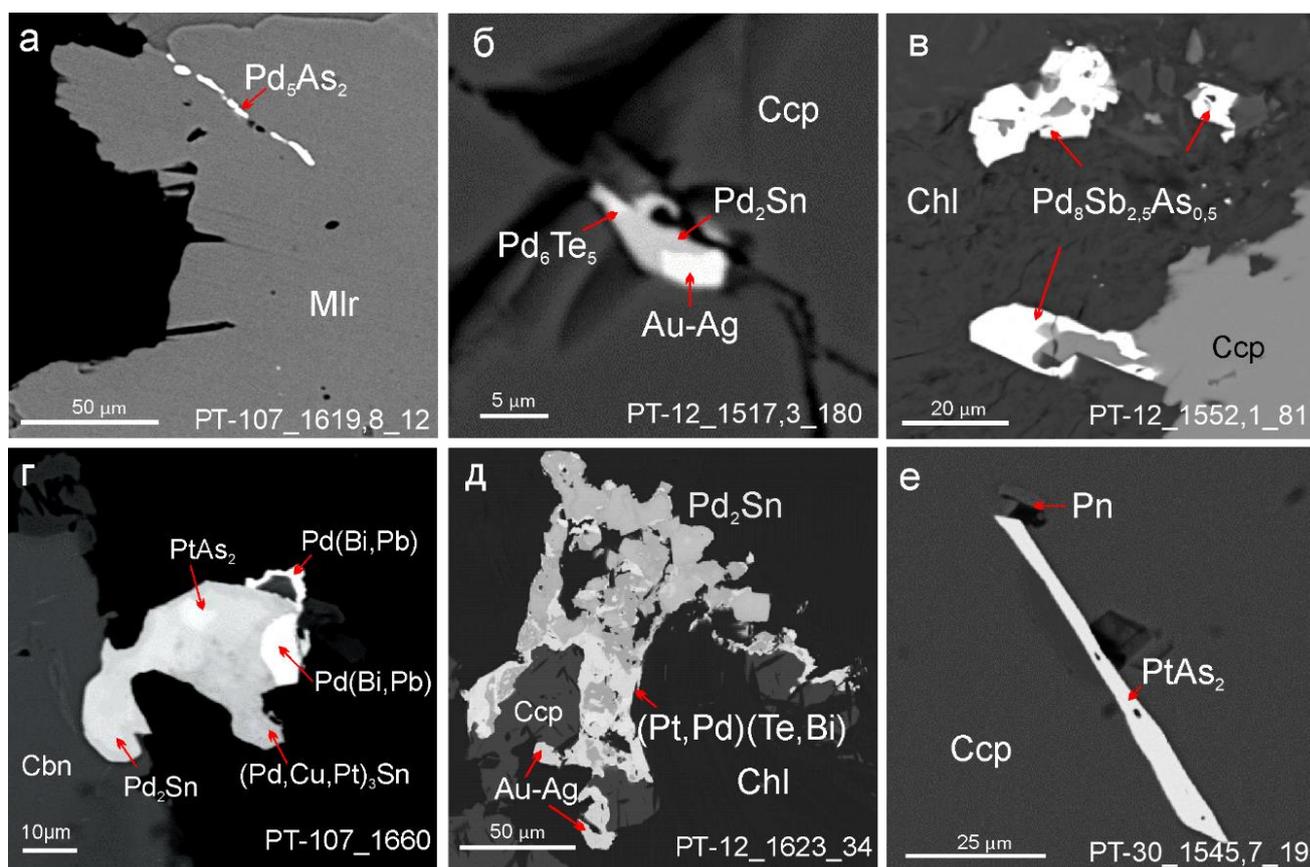


Рисунок 6.2.2 – BSE-микрофотографии минералов благородных металлов во вкрапленных и массивных рудах центральной части Хараелахского интрузива: а – просечки арсенопалладинита Pd_5As_2 в миллерите; б – срастание паоловита Pd_2Sn , электрума и фазы Pd_6Te_5 в трещине в халькопирите; в – зерна мертиита $Pd_8Sb_{2,5}As_{0,5}$ в хлорите; г – сложное срастание паоловита Pd_2Sn , сперрилита $PtAs_2$, полярита $Pd(Bi,Pb)$, таймырит $(Pd,Cu,Pt)_3Sn$ в кубаните; д – агрегат паоловита Pd_2Sn , фазы $(Pt,Pd)(Te,Bi)$ и электрума на границе халькопирита и хлорита; е – игольчатый кристалл сперрилита $PtAs_2$ в халькопирите.

Диагностирован большое разнообразие теллуридов и висмутидов (рисунок 6.2.1 б), включающее мончеит $Pt(Te,Bi)_2$, котульскит $Pd(Te,Bi)_{2-x}$, соболевскит $PdBi$, а также не идентифицированные фазы составов: $(Pd,Pt)_2BiTe$, $(Pt,Pd)_2BiTe_2$, $(Pt,Pd)_3(Te,Bi)_5$, $Pd_7(Bi,Te)_8$. Встречаются плюмбид палладия звягинцевит Pd_3Pb , арсениды (палладоарсенит Pd_2As , стиллуотерит Pd_8As_3 , фаза Pd_5As_2), мертиит $Pd_8Sb_{2,5}As_{0,5}$. Найдены единичные зерна сперрилита $PtAs_2$, изоферроплатины Pt_3Fe и кейтконнит $Pd_{20}Te_7$. В нижних частях разреза пикритовых и такситовых габбро-долеритов Северной ветви отмечается обилие галенита и отсутствие платиновых минералов.

Во вкрапленных пентландит-халькопирит-пирротиновых рудах Южной

ветви центральной части Хараелахского интрузива среди МПГ наиболее распространены соединения палладия с висмутом и теллуrom – котульскит $\text{Pd}(\text{Te},\text{Bi})_{2-x}$, майченерит PdBiTe , фрудит PdBi_2 , а также арсениды палладия – палладоарсенид Pd_2As , неназванный минерал Pd_5As_2 . Кроме этого, присутствуют сперрилит PtAs_2 , паоловит Pd_2Sn , рустенбергит $(\text{Pt},\text{Pd})_3\text{Sn}$. Также обнаружены стибнопалладинит Pd_5Sb_2 , служеникинит $\text{Pd}_{15}(\text{Sb}_{7-x}\text{Sn}_x)$, мертиит $\text{Pd}_8\text{Sb}_{2,5}\text{As}_{0,5}$ и единичные зерна куперита PtS , кейтконнита $\text{Pd}_{20}\text{Te}_7$, изоферроплатины Pt_3Fe (Рисунок 6.2.3 е) и стиллуотерита Pd_8As_3 .

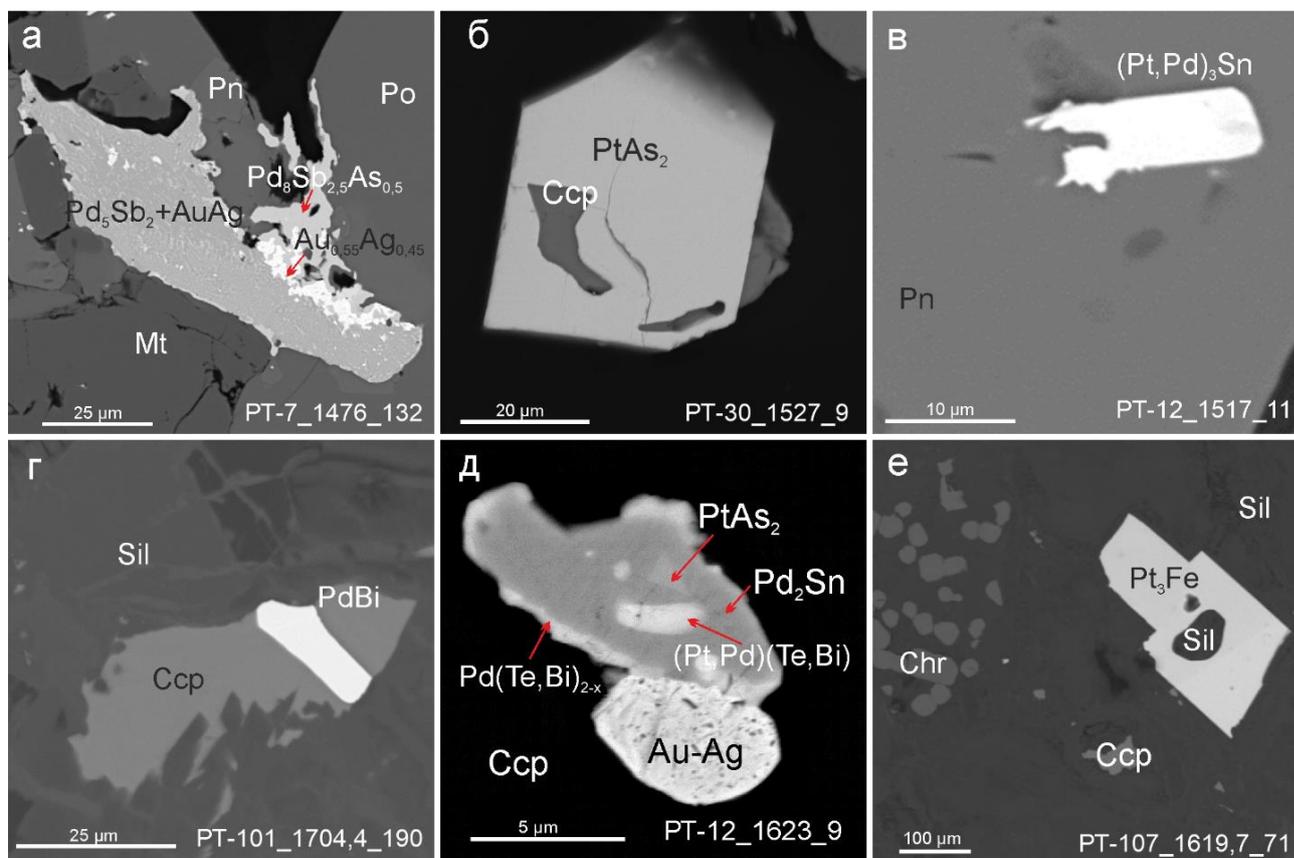


Рисунок 6.2.3 – Морфология минералов благородных металлов во вкрапленных рудах центральной части Хараелахского интрузива (а-в – пентландит-халькопирит-пирротиновые руды; г-е – кубанит-халькопирит-троилитовые руды): а – сложное срастание мертиита $\text{Pd}_8\text{Sb}_{2,5}\text{As}_{0,5}$, стибнопалладинита Pd_5Sb_2 и электрума с образованием графической структуры; б – метакристалл сперрилита PtAs_2 с включением халькопирита; в – зерно рустенбургита $(\text{Pt},\text{Pd})_3\text{Sn}$ в пентландите; г – кристалл соболевскита PdBi в халькопирите; д – срастание электрума с котульскитом $\text{Pd}(\text{Te},\text{Bi})_{2-x}$, сперрилитом PtAs_2 , паоловитом Pd_2Sn ; е – кристалл изоферроплатины Pt_3Fe со ступенчатым строением и с включением силикатного субстрата.

Серебро присутствует в виде сопчеита $\text{Ag}_5\text{Pd}_4\text{Te}$, гессита Ag_2Te и электрума. Золото также встречается в виде аурикуприда Cu_3Au . Почти постоянно МПГ ассоциируются с минералами золота и серебра, располагающимися по периферии выделений МПГ и образующие с ними графические сростания (Рисунок 6.2.3 а). Нередко наблюдаются включения сульфидов и силикатов в МПГ (Рисунок 6.2.3 б, е).

Массивные талнахитовые руды залежи С-4 Северной ветви Хараелахского интрузива имеют наиболее простой из изученных составов благороднометалльной минерализации. В основном она представлена зернами теллуридов палладия и серебра – теларгпалитом $(\text{Pd},\text{Ag})_3\text{Te}$ (Рисунок 6.2.4 е), в котором часто встречается примесь свинца до 12 мас.%. Кроме того, присутствуют таймырит $(\text{Pd},\text{Cu},\text{Pt})_3\text{Sn}$, фаза $\text{Pd}(\text{Te},\text{Bi})$, а также единичные выделения палладоарсенида Pd_2As и кейтконнита $\text{Pd}_{20}\text{Te}_7$. Широко распространены минералы золота и серебра, в основном в виде электрума, золотосодержащего серебра и самородного золота (Рисунок 6.2.4 г, д).

В массивных пентландит-халькопирит-пирротиновых рудах залежи С-3 Южной ветви Хараелахского интрузива платинометалльная минерализация представлена в основном сперрилитом PtAs_2 и паоловитом Pd_2Sn (Рисунок 6.2.4 а). Здесь сперрилит вместо привычных метакристаллов формирует мелкие выделения неправильной и прожилковой формы, в составе которых стабильно отмечается примесь Sb до 2,21% (Рисунок 6.2.4 б). Реже встречаются мончеит $\text{Pt}(\text{Te},\text{Bi})_2$, котульскит $\text{Pd}(\text{Te},\text{Bi})_{2-x}$, соболевскит PdBi , куперит PtS (Рисунок 6.2.4 в), минералы ряда атокит-рустенбургит $(\text{Pd},\text{Pt})_3\text{Sn}$, мертиит $\text{Pd}_8\text{Sb}_{2,5}\text{As}_{0,5}$ и налдреттит Pd_2Sb .

Золото и серебро образуют сплавы с содержанием Au от 32 до 62 мас.%, найдены зерна высокопробного золота. Серебро также присутствует в виде гессита, аргентопентландита и в качестве примеси в халькопирите до 6 мас.%

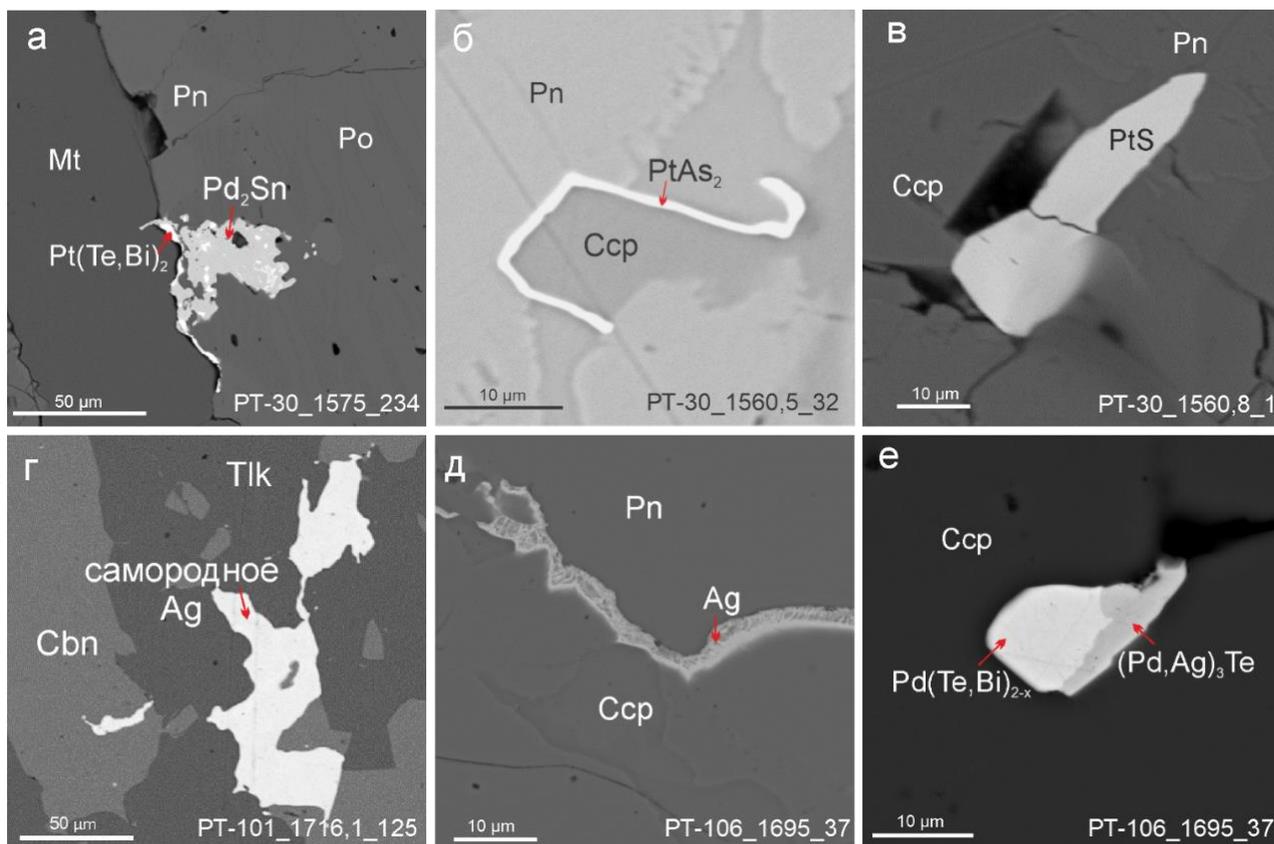


Рисунок 6.2.4 – Морфология минералов благородных металлов массивных рудах центральной части Хараелахского интрузива (а-в – пентландит-халькопирит-пирротиновые руды; г-е – талнахитовые руды): а – агрегат паоловита Pd_2Sn с каймой мончеита $Pt(Te,Bi)_2$; б – прожилковое выделение сперрилита $PtAs_2$ по границе пентландита и халькопирита; в – ксеноморфное зерно куперита PtS в трещине в халькопирите; г – крупное выделение самородного серебра в талнахитовой руде; д – прожилок самородного серебра в пентландите; е – срастание котульскита $Pd(Te,Bi)_{2-x}$ и теларгпалита $(Pd,Ag)_3Te$ в халькопирите.

Стоит отметить, что в сплошных рудах центральной части Хараелахского интрузива практически отсутствует тетроферроплатина – типичный минерал массивных руд других участков Норильского района.

Таким образом, состав МБМ и их формы нахождения существенно отличаются в различных типах сульфидных руд центральной части Хараелахского интрузива. Диагностированные минералы платиновых металлов, золота и серебра перечислены в Таблице 6.2.1, а их распределение в рудах наглядно показано на Рисунке 6.2.5.

Таблица 6.2.1 – Минералы платиновых металлов, золота и серебра в рудах Хараелахского интрузива.

Название минерала	Формула
Система Au-Ag-Cu	
Аурикуприд	Cu_3Au
Au, Cu, Ag, Pt, Pd сплавы	
Электрум	$Au_{25-75}Ag_{25-75}$
Самородное серебро	$Ag_{95-100}Au_{0-5}$
Сопчеит	$Ag_4Pd_3Te_4$
Гессит	Ag_2Te
Изоферроплатина	Pt_3Fe
Куперит	PtS
Система Pd-Pt-Sn-Cu	
Рустенбергит	Pt_3Sn
Паоловит	Pd_2Sn
Таймырит	$(Pd,Cu,Pt)_3Sn$
Кабриит	Pd_2SnCu
Нильсенит	$PdCu_3$
Система Pd-Pt-Bi-Te (Pb)	
Соболевскит	$PdBi$
Котульскит	$Pd(Bi,Te)_{2-x}$
	$Pd(Te,Bi)$
Майченерит	$PdBiTe$
	Pd_2TeBi
	Pd_2BiTe_2
	$Pd(Bi,Te,Pb)$
Меренскит	$PdTe_2$
	$PdTe$
	Pd_6Te_5
Кейтконнит	$Pd_{20}Te_7$
Фрудит	$PdBi_2$
Мончеит	$PtTe_2$
	$(Pt,Pd)(Te,Bi)$
Полярит	$Pd(Bi,Pb)$
	$Pd_3(Bi,Pb)_2$
	$Pd_5(Bi,Pb,Sn)_4$
Звягинцевит	Pd_3Pb
Система Pd-Pt-As-Sn (Sb)	
Арсенопалладинит	Pd_5As_2
	Pd_4As_3
Палладоарсенид	Pd_2As
Стиллуотерит	Pd_8As_3
Мертиит	$Pd_8Sb_{2,5}As_{0,5}$
Изомертиит	$Pd_{11}Sb_2As_2$
	$Pd(As, Sb)$
Стибиопалладинит	Pd_5Sb_2
	Pd_4Sb_3
Сперрилит	$PtAs_2$
Служеникит	$Pd_{15}(Sb_{7-x}Sn_x)$

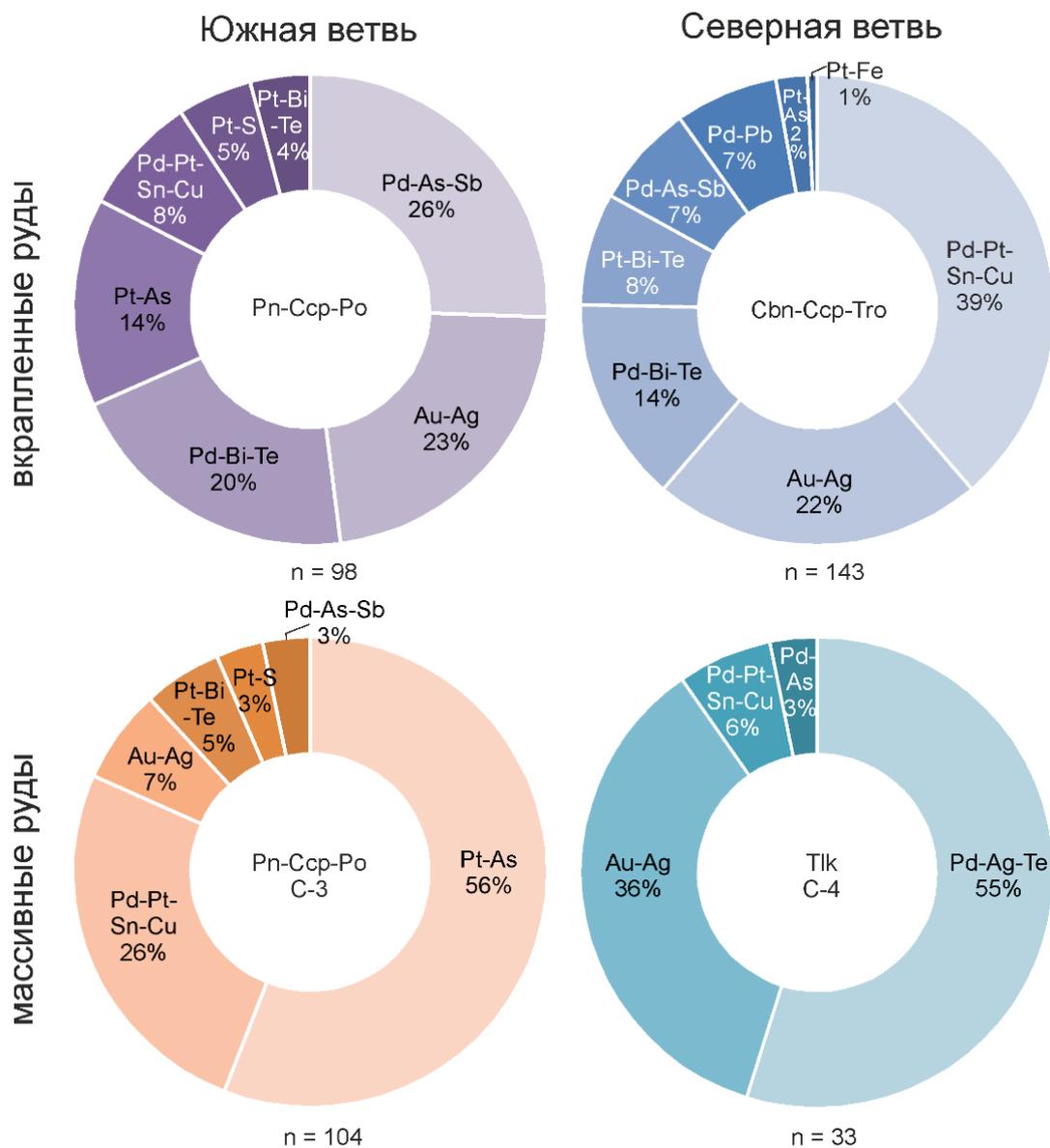


Рисунок 6.2.5 – Круговые диаграммы распределения минеральных парагенезисов благородных металлов во вкрапленных и массивных рудах центральной части Хараелахского интрузива. n – количество диагностированных минеральных индивидов.

Как показано далее в разделе 6.3, а также в [Толстых и др., 2023; Канимбуе и др., 2024] эволюция фугитивности серы значительно отличалась в горизонтах вкрапленных руд разных ветвей центральной части Хараелахского интрузива. В результате исследования выявлена обратная зависимость между температурой кристаллизации МПГ и фугитивностью серы во вкрапленных рудах.

В кубанит-халькопирит-троилитовых рудах широко развиты высокотемпературные соединения системы Pd-Pt-Sn-Cu (~480–500°C), считающиеся наиболее ранними минералами руд Хараелахского интрузива по [Evstigneeva et al., 1983, 1996; Спиридонов и др., 2015]. В пентландит-пирротин-

халькопиритовых рудах доминируют более низкотемпературные ассоциации арсенидов и висмутидов-теллуридов палладия, формирующихся в интервале $\sim 290 - 350^\circ\text{C}$ по [Бегизов, 1977; Makovicky, 2002; Vymazalova et al., 2022].

Массивные руды являются результатом длительной эволюции магматического расплава в промежуточной камере [Disler et al., 1999; Григорьева и др., 2021] и внедрения его различных фракций в виде отдельных порций. Пентландит-халькопирит-пирротиновые руды залежи С-3 Южной ветви наименее фракционированы, чем талнахитовые руды залежи С-4 Северной ветви. При этом в них преобладают высокотемпературные минералы, преимущественно, сперрилит и минералы системы Pd-Pt-Sn-Cu (Рисунок 6.2.5). В массивных талнахитовых рудах, характеризующихся наиболее высокой степенью фракционирования, наиболее распространены низкотемпературные минералы золота и серебра. Следовательно, существует обратная зависимость температуры образования МБМ от степени фракционирования массивных руд.

Таким образом, благороднометалльная минерализация в рудах центральной части Хараелахского интрузива представлена висмутидами, теллуридами, арсенидами, станнидами, плюмбидами палладия и платины, а также соединениями золота, серебра, меди. При этом, вкрапленные кубанит-халькопирит-троилитовые руды Северной ветви характеризуются преобладанием высокотемпературной ассоциацией минералов палладия, платины, меди и олова. Во вкрапленных пентландит-пирротин-халькопиритовых рудах широко развиты низкотемпературные ассоциации арсенидов, висмутидов и теллуридов палладия, а также золотосеребряные соединения. В массивных талнахитовых рудах наиболее распространены низкотемпературные минералы золота и серебра. В массивных пентландит-халькопирит-пирротиновые руды залежи С-3 большая часть МБМ представлена сперрилитом, а также станнидами палладия и платины.

Различия в парагенезисах МБМ и в минеральном составе руд не согласуются с моделью кристаллизационно-гравитационной дифференциации сульфидного вещества и указывают на самостоятельную эволюцию каждого типа вкрапленных и массивных руд при разных условиях, а именно при разных величинах

фугитивности серы и степенях фракционирования.

Выявленные различия в концентрации благородных металлов во вкрапленных и массивных рудах, а также различные парагенезисы минералов благородных металлов внутри интрузивных ветвей свидетельствуют о независимом формировании сначала вкрапленного, затем массивного оруденения в Хараелахском интрузиве.

Вышеописанное позволяет сформулировать третье защищаемое положение:

Вкрапленные пентландит-халькопирит-пирротиновые и кубанит-халькопирит-троилитовые руды центральной части Хараелахского интрузива образовались на более ранних стадиях по отношению к массивным пентландит-халькопирит-пирротиновым рудам залежи С-3 и талнахитовым рудам залежи С-4, внедрившихся на заключительном этапе эволюции интрузива.

6.3. Физико-химические параметры формирования сульфидных руд

На основании химического состава шпинелидов в изученных образцах была проведена оценка степени частичного плавления мантийного источника при формировании дифференциатов Хараелахского интрузива по методике [Леснов и др., 2008]. Для расчетов применялось уравнение (4.3.2):

$$D_{melt} = 0,426 * Cr\# + 1,538, \quad (4.3.2)$$

где D_{melt} – степень частичного плавления (в %), $Cr\#$ – показатель хромистости в шпинелидах.

Выявлено, что породы Хараелахского интрузива образовались при частичном плавлении исходного материала от 23,47 до 39,14%, при этом существенных отличий для Северной и Южной интрузивных ветвей центральной части не выявлено.

Согласно методике [Колонин и др., 2000; Косяков и др., 2003], по соотношению $k = Ni/(Ni+Fe)$ в пентландите возможно оценить активность серы (lgf_{S_2}) в рудообразующей системе при его кристаллизации. На основе экспериментальных данных [Tolstykh et al., 2024] установлено, что в пикритовых и

такситовых габбро-долеритах значения $Ni/(Ni+Fe)$ изменяется от 0,36 до 0,54 в обеих ветвях центральной части интрузива, что соответствует значениям $\log f_{S_2}$ от -13 до -10 (Рисунок 6.3.1). Вместе с тем, в Северной и Южной ветвях наблюдается разнонаправленное изменение состава пентландита и, что предполагает разные векторы эволюции фугитивности.

Полученные данные свидетельствуют об увеличении содержания Ni в пентландите и содержания S в пирротине во вкрапленных рудах Южной ветви вниз по разрезу и, следовательно, о росте фугитивности серы и эволюции сульфидного расплава в том же направлении. Тем временем, вкрапленные руды Северной ветви демонстрируют противоположную зональность: для более глубоких горизонтов характерны троилит и обогащенный железом пентландит, а соотношение $Ni/(Ni+Fe)$ в пентландите увеличивается вверх по разрезу. Следовательно, в Северной интрузивной ветви эволюция сульфидного расплава имела направленность снизу вверх.

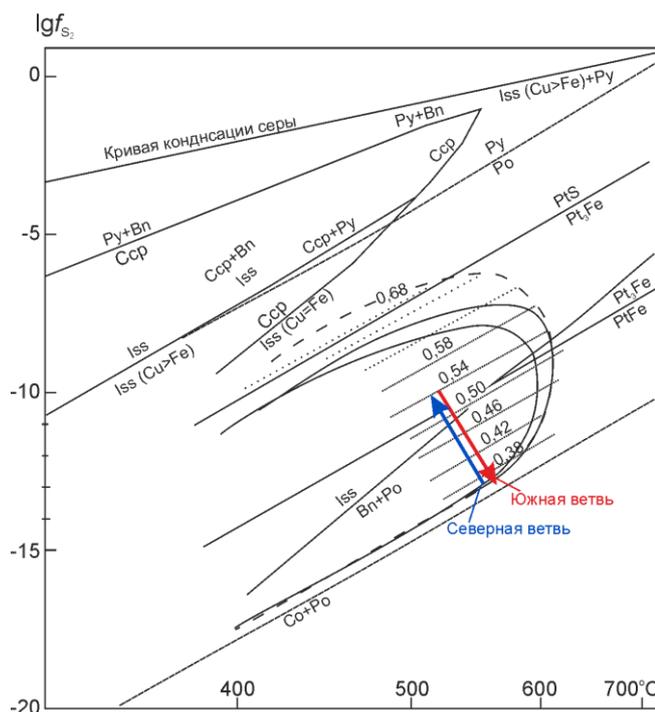


Рисунок 6.3.1 – Физико-химические условия образования пентландита и минералов платины на фоне фазовых равновесий в системах Cu - Fe - S и Ni - Fe - S по [Колонин и др., 2000].

Точечные линии в пределах поля пентландита показывают изменение $k = Ni/(Ni+Fe)$. Векторы показывают направление эволюцию фугитивности серы в пикритовых габбро-долеритах вверх по разрезу Северной и Южной ветвей центральной части Хараелахского интрузива [Tolstykh et al., 2024].

Вышеописанная особенность изменения сульфидного расплава в Северной интрузивной ветви отмечена только в скважине РТ-107. В скважине РТ-101 наблюдается такая же закономерность эволюции магматической системы, как в скважинах РТ-30 и РТ-7 Южной ветви (Рисунок 6.3.2). В то же время, для залежей массивных руд С-4 и С-3 также характерны разнонаправленные векторы изменения $\lg f_{S_2}$.

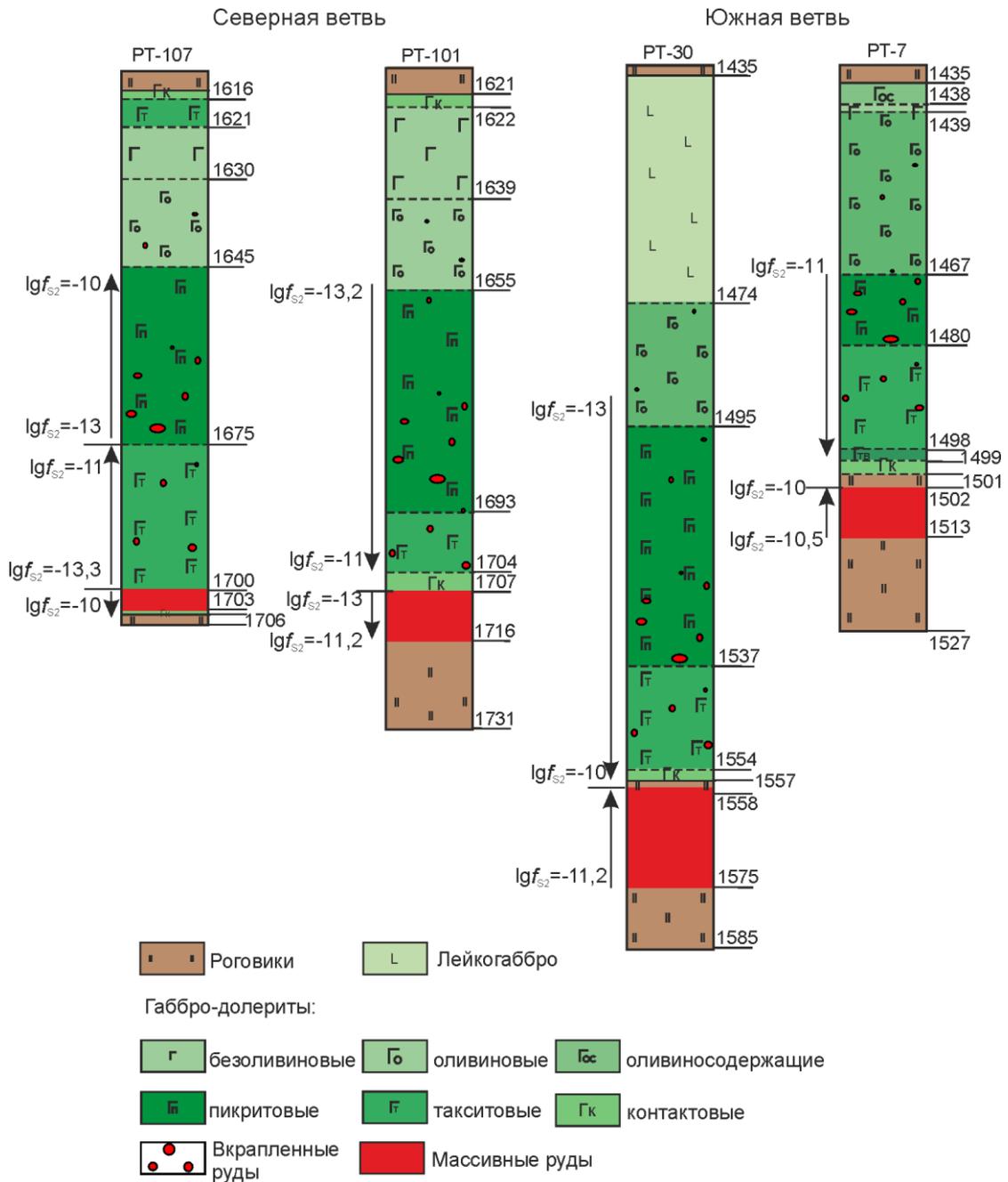


Рисунок 6.3.2 – Изменение фугитивности серы $\lg f_{S_2}$ и направления эволюции сульфидного расплава в разрезах Северной и Южной ветвей центральной части Хараелахского интрузива.

Выявленная зональность вкрапленных руд в разных скважинах совпадает с векторами развития, показанными для близких по составу линз массивных руд залежи Хараелахская-Основная [Torgashin, 1994]. Эти массивные линзы также имеют противоположную вертикальную минерально-геохимическую зональность: для линз кубанит-халькопиритовых руд характерно увеличение несовместимых элементов вверх по разрезу, аналогичному южной залежи С-3. При этом руды в пирротиновой области, наоборот, развиваются сверху вниз - по вертикальному разрезу, как и в северном рудном теле С-4. Описанные минералого-геохимические особенности подтверждают динамический режим зарождения Хараелахского интрузива и импульсный характер внедрения магм с различной эволюцией сульфидных расплавов в рудных залежах С-3 и С-4.

Наиболее целесообразным петрологическим механизмом формирования обратной зональности является заполнение магматического очага непрерывно поступающим расплавом, который фракционировал в подводящем канале или в промежуточном очаге [Egorova, Latypov, 2013; Криволицкая и др., 2023]. Этот механизм наиболее согласуется с зональностью в залежи С-3, а также с тем, что наблюдается в породах интрузива Норильск-1 [Толстых и др., 2020].

Таким образом, проведенные исследования указывают на формирование Хараелахского интрузива и его медно-никелевого оруденения в рамках сложного, многостадийного магматического процесса.

6.4. Модель формирования центральной части Хараелахского интрузива

С начала 1960-х годов изучение месторождений Норильского рудного района сопровождается активной дискуссией по вопросам источников рудного вещества и условиям формирования оруденения. Многолетние разносторонние исследования позволили предложить ряд генетических моделей и гипотез для сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений. Каждая из гипотез отводит решающее значение в формировании месторождений одному из двух процессов: магматическому либо постмагматическому.

Наиболее распространенной является гипотеза магматического

происхождения оруденения, концепции которой существенно отличаются по отношению к роли той магматической системы, в продуктах которой локализованы руды. В рамках данной гипотезы в разное время были выдвинуты следующие предположения:

- Гипабиссальная ликвация в промежуточных магматических камерах и самостоятельное внедрение сульфидного расплава [Котульский, 1946];

- Абиссальная ликвация магмы на сульфидную и силикатную составляющую в глубинном (около 10 км) магматическом очаге при понижении температуры и при участии процессов контаминации [Котульский, 1948; Годлевский, 1959];

- Ликвационное разделение силикатно-сульфидного расплава в конечной интрузивной камере [Годлевский, 1959];

- 3 этапа формирования месторождений: магматический, постмагматический и метаморфический. Образование рудоносных интрузивов из перидотитовой магмы [Годлевский, 1968];

- Многофазное внедрение интрузивов, сопровождающееся рудообразованием. Отсутствие кристаллизационно-гравитационного дифференциация интрузивов *in situ* [Иванов и др, 1971];

- Связь сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений с коматиитовым типом магм, обогащенных сульфидами. Нахождение сульфидной и силикатной жидкостей в мантии в виде двух несмешивающихся субстанций [Лихачев, 1982];

- Внедрение интрузивов в современную камеру в виде двух несмешивающихся расплавов пикритоидного и базальтового состава, подвергшихся флюидно-магматической ликвации на глубине [Рябов, 1984];

- Фракционная дифференциация единой магмы пикритового состава в современной камере. Внедрение сульфидного расплава после силикатного расплава в виде самостоятельной интрузивной фазы [Дистлер и др., 1998; Дюжиков и др., 1988; Лихачев, 1988].

В западной литературе широкое распространение получила модель «магматических проводников». Согласно ей, рудоносные интрузии

рассматриваются в качестве проходящих каналов поступления магмы. Предполагается, что рудное вещество сформировалось вследствие экстракции рудных компонентов из толеитовой магмы сульфидной жидкостью, образующейся за счет ассимиляции коровой серы в промежуточной камере и в местах нахождения интрузий [Радько, 1991; Naldrett, 1992; Налдретт, 2003].

В то же время, многими исследователями отмечается важная роль постмагматических процессов. Инфильтрационно-метасоматическая гипотеза В.В. Золотухина предполагает образование медно-никелевых месторождений при активном участии флюидонасыщенных компонентов [Золотухин, 1971]. В работах [Спиридонов, 2010, 2015, 2020], показано, что платинометалльная и золотосеребряная минерализации норильских руд имеют пневматолитовый генезис. Также предполагается, что трансмагматические флюиды принимали участие в образовании такситовых габбро-долеритов, в которых наблюдается скопление крупных сульфидных вкрапленников [Рябов, 1969; Зотов, 1989].

Проведенные исследования позволяют предложить следующую модель формирования центральной части Хараелахского интрузива:

- 1 стадия. Многоимпульсное внедрение и кристаллизация силикатного расплава, несущего капельки сульфидной жидкости. Формирование пласта вкрапленных руд в горизонтах пикритовых и такситовых габбро-долеритов центральной части Хараелахского интрузива.

- 2 стадия. Внедрение новой порции магматического расплава, сильно обогащенного сульфидной жидкостью, с низкой степенью фракционирования. Формирование рудной залежи С-3, сложенной массивными, существенно пирротиновыми рудами.

- 3 стадия. Внедрение новой порции магматического расплава, сильно обогащенного сульфидной жидкостью, с высокой степенью фракционирования. Формирование рудной залежи С-4, сложенной массивными, существенно талнахитовыми рудами.

При этом стоит отметить активную роль метасоматических, пневматолитовых процессов как в образовании дифференциатов интрузива

(лейкократовых габбро, такситовых габбро-долеритов), так и в формировании и перераспределении благороднометалльной минерализации.

Предложенная модель лучше всего соответствует модели [Дистлер и др., 1998; Дюжиков и др., 1988; Лихачев, 1988], однако отличается от неё тем, что учитывает влияние постмагматических процессов.

Одним из наиболее существенных вопросов является определение условий разделения сульфидно-силикатного расплава. С одной стороны, наблюдаемый рост каплевидных выделений в горизонте пикритовых габбро-долеритов вниз по разрезу является наглядным примером кристаллизационно-гравитационной дифференциации сульфидного расплава. В то же время, скачкообразные изменения химического состава пород и отсутствие их постепенной эволюции по разрезу центральной части Хараелахского интрузива свидетельствует против процесса кристаллизационно-гравитационного расслоения интрузива *in situ*. Перечисленные выше особенности свидетельствуют о сложном, полистадийном образовании Хараелахского интрузива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования центральной части Хараелахского интрузива проведено комплексное изучение петрографических, минералогических и геохимических особенности интрузивных пород и сульфидных медно-никелевых руд, что позволило достичь следующих результатов:

1. Установлены нарушения порядка залегания дифференциатов в изученных разрезах скважин. Выявлены особенности строения центральной части Хараелахского интрузива, позволившие обосновать ее разделение на 2 интрузивные ветви: Северную и Южную. По сравнительному анализу минерального и химического состава пород установлены отличия центральной, западной и южной частей интрузива.

2. Проведен сравнительный анализ распределения металлов платиновой группы, золота и серебра во вкрапленных и массивных рудах. Показана зависимость состава благороднометалльной минерализации от состава сульфидных руд. Сделан вывод о ведущей роли процесса фракционирования в распределении концентраций благородных металлов в рудах разного состава.

3. Детально изучены формы, размеры и состав минералов благородных металлов во вкрапленных и массивных рудах центральной части Хараелахского интрузива. Выявлена обратная зависимость температуры кристаллизации МБМ от фугитивности серы в рудообразующей системе во вкрапленных рудах и обратная зависимость от степени фракционирования в массивных рудах. Сделан вывод о раздельном формировании вкрапленных и массивных руд.

В работе показана высокая перспективность центральной части Октябрьского месторождения. В условиях селективной отработки месторождения существует необходимость в усовершенствовании технологий переработки руд для большее активного вовлечения вкрапленных руд в производство цветных и благородных металлов. Полученные впервые данные о форме нахождения МБМ во вкрапленных и массивных рудах центральной части Хараелахского интрузива играют важную роль в разработке схем их дальнейшего обогащения.

Результаты, полученные в ходе исследования, позволили предложить модуль формирования центральной части Хараелахского интрузива, согласующуюся с гипотезой о многостадийном образовании сульфидного оруденения в Хараелахском интрузиве [Дистлер и др., 1998; Дюжиков и др., 1988; Лихачев, 1988]. Установлены признаки самостоятельной эволюции каждого типа вкрапленных и массивных руд при разных условиях. Выявленные особенности в строении центральной части Хараелахского интрузива также свидетельствуют о его длительном, многоэтапном становлении.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ЭПГ – элементы платиновой группы (Pd, Pt, Rh, Ru, Os, Ir)

МПГ – минералы платиновой группы

МБМ – минералы благородных металлов (Pd, Pt, Rh, Ru, Os, Ir, Au, Ag)

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия

РСМА – рентгеноспектральный микроанализ

РФА – рентгенофлуоресцентный анализ

ИСП-МС – масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой

мас. % – массовые проценты

мол. % – мольные проценты

вес. % – весовые проценты

г/т – грамм на тонну

MSS – моносulfидный твердый раствор

ISS – промежуточный твердый раствор

Аббревиатуры минералов:

Au – самородное золото

Ag – самородное серебро

Ag-Pn – аргентопентландит

Ap – апатит

Bdy – бадделеит

Bn – борнит

Cbn – кубанит

Cc – халькозин

Ccp – халькопирит

Chl – хлорит

Chr – хромит

Chr-Mt – хроммагнетит

Cpx – клинопироксен

Ilm – ильменит

Mho – моихукит

Mr – миллерит

Mt – магнетит

Ol – оливин

Opx – ортопироксен

Ore – рудные минералы

Pl – плагиоклаз

Pn – пентландит

Po – пирротин

Pyr – пирит

Ser – серпентин

Sil – силикатные минералы

Ti-Mt – титаномагнетит

Tlk – талнахит

Tro – троилит

Zrn – циркон

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бегизов, В.Д. Минералы благородных металлов в рудах Талнахского месторождения: специальность 04.00.08 «Петрография, литология и минералогия»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Бегизов Виктор Дмитриевич; Московский Ордена трудового красного знамени Геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе. – Москва, 1977. – 23 с.
2. Генкин, А. Д. Минералы платиновых металлов и их ассоциации в медно-никелевых рудах норильских месторождений / А.Д. Генкин; Академия наук СССР, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. – Москва: Наука, 1968. – 106 с.:
3. Генкин, А.Д. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений / А.Д. Генкин, В.В. Дистлер, А.А. Филимонова [и др.]; Академия наук СССР, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. – Москва: Наука, 1981. – 234 с.
4. Годлевский, М.Н. Кристаллизационная дифференциация сульфидного расплава на примере Норильских медно-никелевых месторождений / М.Н. Годлевский // Материалы ВСЕГЕИ. Вып. 31: Материалы по геологии и полезным ископаемым Сибирской платформы. – Ленинград: ОНТИ ВСЕГЕИ, 1960. – С. 95–99.
5. Годлевский, М.Н. Магматические месторождения / М.Н. Годлевский // Генезис эндогенных рудных месторождений. – М.: Недра, 1968. – С. 7–83.
6. Годлевский, М.Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района / М.Н. Годлевский. – Москва: Госгеолтехиздат, 1959. – 89 с.
7. Горбачев, Н.С. Источники и условия формирования сульфидо-силикатных магм Норильского района / Н.С. Горбачев // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54 – № 3. – С. 195–220.
8. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по

недропользованию (Роснедра); главные редакторы Д.Д. Тетенькин, Е.И. Петров. – Москва, 2022. – 626 с.

9. Григорьева, А.В. Особенности распределения палладия в массивных рудах Октябрьского месторождения (Норильский район) / А.В. Григорьева, С.Ф. Служеникин, А.В. Волков // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2021. – Т. 18 – С. 130–133.

10. Гурская, Л. И. Техногенные месторождения платиновых металлов – новый источник ценного промышленного сырья / Л.И. Гурская, О.Н. Снежко, А.В. Молчанов, С.П. Васильев // Региональная геология и металлогения. – 2016. – Т. 66. – С. 80–90.

11. Дистлер, В.В. Петрология сульфидного магматического рудообразования / В.В. Дистлер, Т.Л. Гроховская, Т.Л. Евстигнеева [и др.]; Ответственный редактор И. Д. Рябчиков; Академия наук СССР, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. – Москва: Наука, 1988. – 231с.

12. Додин, Д.А. Геология и петрология Талнахских дифференцированных интрузий и их метаморфического ореола / Д.А. Додин, Б.Н. Батуев // Петрология и рудоносность Талнахской и Норильской дифференцированных интрузий / Труды НИИГА; под редакцией Н.Н. Урванцева. – Ленинград: Недра. Ленинградское отделение. – 1971. – Т. 167. – С. 31–101.

13. Додин, Д.А. Металлогения платиноидов крупных регионов России / Д.А. Додин, Н.М. Чернышов, О.И. Чередникова. – Москва: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. – 302 с.

14. Дюжиков, О.А. Геология и рудоносность Норильского района / О.А. Дюжиков, В.В. Дистлер, Б.М. Струнин, [и др.]; редактор В.И. Бондаренко. – М.: Наука, 1988. – 279 с.

15. Дюжиков, О.А. Норильско-Талнахский платиноидно-медно-никелевый гигант: монография / О.А. Дюжиков; ответственный редактор Д.В. Рундвист; Министерство образования и науки Российской Федерации, Южный федеральный университет, Российская академия наук, Институт геологии рудных

месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – 96 с.

16. Евстигнеева, Т.Л. Платинометалльная минерализация норильских медно-никелевых руд: природные и экспериментальные данные / Т.Л. Евстигнеева, А.Д. Генкин // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Сборник научных трудов / Академия наук СССР, Ордена Ленина Кольский научный центр им. С.М. Кирова Геологический институт; под редакцией Г.И. Горбунова – Ленинград: Наука, Ленинградское отделение, 1990. – С. 98–106.

17. Звездов, В. С. Механизмы внедрения базитовой магмы в многослойную толщу чехла Восточно-Сибирской платформы и влияние деформационных свойств пород на размещение и морфологию рудоносных трапповых интрузивов (на примере Норильского района) / В.С. Звездов // Отечественная геология. – 2020. – №. 3. – С. 47-74.

18. Золотухин, В.В. Петрология Талнахской рудоносной дифференцированной трапповой интрузии / В.В. Золотухин, В.В. Рябов, Ю.Р., Васильев [и др.]; ответственный редактор В.С. Соболев. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1975. – 436 с.

19. Золотухин, В.В. Трапповый магматизм и условия формирования рудоносных дифференцированных интрузий на Сибирской платформе / В.В. Золотухин // Траппы Сибирской платформы и их металлогения: Тезисы докладов Второго всесоюзного совещания / Академия наук СССР, Сибирское отделение, Институт земной коры; ответственный редактор Г.Д. Феоктистов. – Иркутск, 1971. – С. 53–59.

20. Зотов, И.А. Генезис трапповых интрузивов и метаморфических образований Талнаха / И.А. Зотов; Академия наук СССР, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии. – Москва: Наука. 1979. – 156 с.

21. Иванов, М.К. Особенности петрологии и оруденения дифференцированных интрузий Норильского рудного поля (месторождения Норильск-1, Норильск-2, горы Черной) / М.К. Иванов, Т.К. Иванова, А.В. Тарасов

[и др.] // Петрология и рудоносность талнахских и норильских дифференцированных интрузий / Труды Института геологии Арктики Министерства геологии СССР; ответственный редактор Н.Н. Урванцев. – Ленинград.: Недра. Ленинградское отделение, 1971. – С. 197–304.

22. **Канимбуге, Л.С.** Анализ закономерностей распределения платиновых металлов, золота и серебра в интрузивах Норильского района / Л.С. Канимбуге // Новые идеи в науках о Земле. – Москва: МГРИ. –2023. –С.44–48.

23. **Канимбуге, Л.С.** Особенности морфологии и состава минералов благородных металлов во вкрапленных и массивных рудах центральной части Октябрьского месторождения, Норильский район / Л.С. Канимбуге, Н.Д. Толстых, Н.А. Криволицкая [и др.] // Известия высших учебных заведения. Геология и разведка. – 2024 – № 1. – С. 88– 98.

24. **Канимбуге, Л.С.** Особенности распределения и концентрации благородных металлов в интрузивах Норильского района / Л.С. Канимбуге // Актуальные проблемы недропользования. Санкт-Петербург: Горный университет. – 2023. – С. 353–355.

25. **Канимбуге, Л.С.** Платинометалльное оруденение Норильского района: история и перспективы развития / Л.С. Канимбуге, И.В. Таловина // Известия УГГУ. –2022. – Том 68. – № 4. – С. 56-63.

26. **Канимбуге, Л.С.** Рудный потенциал и генетические особенности центральной части Октябрьского месторождения, Норильский район / Л.С. Канимбуге, И.В. Таловина // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. – Москва: ЦНИГРИ. – 2024. – С. 160-161.

27. **Канимбуге, Л.С.** Сравнение геохимических характеристик платиноидно-медно-никелевых руд и пород интрузий Норильского района / Л.С. Канимбуге // Новое в познании процессов рудообразования. – Москва: ИГЕМ РАН. –2022. – С. 120–122.

28. Ковалев, С.Г. Минералы системы Fe–Ni–Co–Cu–S в пикритовых интрузиях Южного Урала: свидетельства ликвации и дифференциации

сульфидного расплава / С.Г. Ковалев, В.Н. Пучков, С.С. Ковалев [и др.] // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 492. – № 1. – С. 29-34.

29. Ковригина, Е.К. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (новая серия). Лист R-(45)–47 – Норильск. Объяснительная записка / Е.К. Ковригина, О.А. Лебедева, Л.Ф. Штейн [и др.]; редакторы Ю.Г. Старицкий, Е.К. Ковригина. – Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 478 с.

30. Колонин, Г.Р. Использование отношения Ni:Fe в пентландите для оценки летучести серы при формировании ЭПГ-содержащего сульфидного оруденения Йоко-Довыренского массива / Г.Р. Колонин, Д.А. Орсов, Е.Ф. Синякова [и др.] // Доклады Академии наук. – 2000. – Т. 370. – № 1. – С. 87–91.

31. Косяков, В.И. Зависимость фугитивности серы от состава фазовых ассоциаций системы Fe-FeS-NiS-Ni при 873 К / В.И. Косяков, Е.Ф. Синякова, В.А. Шестаков // Геохимия. – 2003. – № 7. – С. 730.

32. Котульский, В.К. К вопросу о происхождении магматических медно-никелевых сульфидных месторождений / В.К. Котульский // Доклады АН. – 1946. – Т. 51. – № 5. – С. 381-383.

33. Котульский, В.К. Современное состояние вопроса о генезисе сульфидных месторождений / В.К. Котульский // Советская геология. – 1948. – № 29. – С. 11-24.

34. Криволицкая, Н.А. Новые данные о геологическом строении Октябрьского месторождения, Норильский рудный район / Н.А. Криволицкая, Н.Д. Толстых, Л.С. Канимбур [и др.] // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал. – Новосибирск: ИПЦ НГУ. – 2023. – С. 109–111.

35. Криволицкая, Н.А. Строение и геохимические особенности пород трапповой формации Норильской мульды (СЗ Сибирской платформы) / Н.А. Криволицкая, А.В. Рудакова // Геохимия. – 2009. – № 7. – С. 675–698.

36. Крылов, И.О. Новые данные об условиях локализации и составе сульфидных медно-никелевых руд западной части Октябрьского месторождения

Норильского района / И.О. Крылов, И.И. Никулин // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2023. – № 3. – С. 98–112.

37. Лаврентьев, Ю.Г. Рентгеноспектральный микроанализ породообразующих минералов на микроанализаторе JXA-8100 / Ю.Г. Лаврентьев, В.Н. Королюк, Л.В. Усова [и др.] // Геология и геофизика. – 2015. – Т. 56. – №. 10. – С. 1813–1824.

38. Леснов, Ф.П. Геохимия акцессорных хромшпинелидов из пород Эргакского хромитоносного гипербазитового массива и условия его формирования (Западный Саян) / Ф.П. Леснов, М.Ю. Подлипский, Г.В. Поляков [и др.] // Доклады академии наук. – 2008. – Т. 422. – №. 5. – С. 660–664.

39. Лихачев, А.П. Платино-медно-никелевые месторождения / А.П. Лихачев. – Москва: Эслан. – 2006. – 495 с.: ISBN 5-94101-155-5.

40. Лихачев, А.П. Талнахский интрузив и его платино-медно-никелевые руды / А.П. Лихачев // Руды и металлы. – 1998. – № 1. – С. 36–46.

41. Лихачев, А.П. Условия образования медно-никелевых месторождений / А.П. Лихачев // Советская геология. – 1982. – Т. 6. – С. 31–46.

42. Лихачев, А.П. Хараелахский интрузив и его платино-медно-никелевые руды / А.П. Лихачев // Руды и металлы. – 1996. – № 3. – С. 48–62.

43. Люлько, В.А. Геология и рудные месторождения Норильского района / В.А. Люлько, В.А. Федоренко, В.В. Дистлер [и др.] // Путеводитель VII Международного Платинового Симпозиума / редакторы В.В. Дистлер, В.Е. Кунилов. – Москва: Московский контакт, 1994. – 43 с.

44. Малич, К.Н. Магматическая эволюция ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской провинции (Россия): Вещественные и геохронологические данные / К.Н. Малич, И.Ю. Баданина, Е.В. Туганова // Литосфера. – 2010. – № 5. – С. 37–63.

45. Малич, К.Н. Рудоносные ультрамафит-мафитовые интрузивы Полярной Сибири: возраст, условия образования, критерии прогноза / К.Н. Малич, И.Ю. Баданина, Е.В. Туганова – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. – 287 с.

46. Маракушев, А.А. Сульфидное рудообразование и его углеводородная специализация / А.А. Маракушев, Н.А. Панях, С.А. Маракушев; редактор И.М. Ерофеева. – Москва: ГЕОС, 2014. – 184 с.
47. Мирошникова, Л.К. Минералы сульфидных медно-никелевых платиносодержащих руд норильско-талнахской группы месторождений: монография / Л.К. Мирошникова, В.И. Склянов, З.Г. Уфатова – Норильск: Кактус, 2019. – 148 с.
48. Мирошникова, Л.К. Геолого-геохимические предпосылки и признаки локализации медно-никелевого с платиноидами оруденения рудно-магматической системы Талнахского рудного узла: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Мирошникова Людмила Константиновна; Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе. – Москва, 2017. – 52 с.
49. Налдретт, А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд / А.Дж. Налдретт. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2003. – 487 с.
50. Никулин, И.И. Геология Норильской металлогенической провинции: к 65-летию Норильскгеологии / Ред. И.И. Никулина; ПАО «ГМК «Норильский никель» – Москва: МАКС Пресс, 2020. – 524 с.
51. Никулин, И.И. Металлогения магматических комплексов основного состава на примере Норильской провинции / И.И. Никулин, В.А. Радько // Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов. Ч. 1. Основные проблемы геологии и рудообразования Норильского района, кластерная эволюция минерагении и минеральные ресурсы. – Москва: МаксПресс. – 2019. – С. 147–176.
52. Падерин, П.Г. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1000 000 (третье поколение). Серия Норильская. Лист R-45 – Норильск. Объяснительная записка. / П.Г. Падерин, А.Ф. Деменюк, Д.В.

Назаров [и др.]. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 320 с.

53. Радько, В.А. Модель динамической дифференциации интрузивных траппов северо-запада Сибирской платформы / В.А. Радько // Геология и геофизика. – 1991. – Т.11. – С. 19–27.

54. Радько, В.А. Фации интрузивного и эффузивного магматизма Норильского района / В.А. Радько – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 226 с.

55. Роговер, Г.Б. Месторождение Норильск-1, некоторые его особенности, могущие иметь поисковое значение, и рациональная методика его разведки / Г.Б. Роговер, ответственные редакторы В.И. Смирнов, В.В. Быкова. – Москва: Госгеолтехиздат, 1959. – 168 с

56. Рябов, В.В. Магматические образования Норильского района. Том 1. Петрология траппов / В.В. Рябов, А.Я. Шевко, М.П. Гора; ответственные редакторы О.Н. Симонов, В.Н. Шарاپов. – Новосибирск, Издательство «Нонпарель», 2001. – 408 с.

57. Рябов, В.В. О происхождении такситового габбро-долерита, лейкократового габбро и магматической брекчии Хараелахской ветви Талнахской трапповой интрузии / В.В. Рябов // Геология и геофизика. – 1969. – №2– С.51–58.

58. Рябов, В.В. Особенности петрологии магнезиальных базитов Норильского района/ В.В. Рябов // Магнезиальные базиты запада Сибирской платформы и вопросы никеленосности. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1984. – С. 150–159.

59. Рябов, В.В. Платина сибирских траппов: препринт № 5. / В.В. Рябов – Новосибирск: ОИГГМ, 1994. – 31 с.

60. Служеникин, С.Ф. Вкрапленные руды Талнахского рудного узла как источник платиновых металлов / С.Ф. Служеникин, В.В. Дистлер // Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов. Сборник научных статей / М-во общего и профессионального образования РФ, Санкт-Петербургский

государственный горный институт; Отв. ред. проф. Ю. Б. Марин. – СПб – 1998. – С. 247–256.

61. Служеникин, С.Ф. Малосульфидные платиновые руды Норильского района — перспективные источники благородных металлов / С.Ф. Служеникин, В.В. Дистлер, А.В. Григорьева // Арктика: экология и экономика. – 2016. – №. 4. – С. 32–45.

62. Служеникин, С.Ф. Платино-медно-никелевые и платиновые руды Норильского района и их рудная минерализация/ С.Ф Служеникин // Российский химический журнал. – 2010. – Т. 54. – № 2. – С. 38–49.

63. Соболевский, В.И. Благородные металлы (платина) / В.И. Соболевский, А.Д. Генкин; Новое в жизни, науке, технике. Серия «Науки о Земле», 6. – Москва: «Знание», 1973. – 62 с.

64. Спиридонов, Э. М. Генетическая минералогия Pd, Pt, Au, Ag, Rh в норильских сульфидных рудах / Э. М. Спиридонов, Э. А. Кулагов, А. А. Серова [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57. – № 5. – С. 445–476.

65. Спиридонов, Э. М. Норильские рудоносные интрузивы и сульфидные руды. К 120-летию М.Н. Годлевского / Э.М. Спиридонов // Отечественная геология. – 2022. – №. 6. – С. 95–116.

66. Спиридонов, Э.М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля / Э.М. Спиридонов // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 9. – С. 1356–1378.

67. Степанов, В.К. Динамическая модель внедрения, кристаллизации и рудоотложения интрузивов Норильского рудного поля / В.К. Степанов // Труды ЦНИГРИ. – 1981. – Вып. 162. – С.13–19.

68. Струнин, Б.М. Геологическая карта Норильского рудного района масштаба 1: 200 000 / Б.М. Струнин, О.А. Дюжиков, О.А. Бармина – Москва: АО «Геоинформмарк», 1994. –118 с.

69. Тарасов, А.В. О механизме формирования Норильской интрузии и связанных с ней сульфидных тел / А.В. Тарасов // Замещение и вторжение при магматизме и рудообразовании. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 123–217.

70. Толстых, Н.Д. Минералого-геохимические особенности руд центральной части Октябрьского месторождения, Норильский рудный район / Н.Д. Толстых, Н.А. Криволицкая, Л.С. Канимбур [и др.] // Минералообразующие системы месторождений высокотехнологических минералов: достижения и перспективы исследований. – Москва: ИГЕМ РАН. – 2023. – С. 386–389.

71. Туганова, Е.В. Генетическая модель сульфидной никелево-медной формации норильского типа / Е.В. Туганова // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск: Наука. – 1988. – С. 197–204.

72. Туровцев, Д.М. Контактный метаморфизм Норильских интрузий / Д.М. Туровцев; научный редактор В.В. Дистлер. – Москва: Научный мир, 2002. – 319 с.

73. Barnes, S.J. Droplets and bubbles: solidification of sulphide-rich vapour-saturated orthocumulates in the Norilsk-Talnakh Ni–Cu–PGE ore-bearing intrusions / S.J. Barnes, M. Le Vaillant, B. Godel [et al.] // Journal of Petrology. – 2019. – Vol. 60. – №. 2. – P. 269–300.

74. Barnes, S.J. The fractionation of Ni, Cu, and the noble metals in silicate and sulfide liquids / S.J. Barnes, W.D. Maier // Dynamic processes in magmatic Ore Deposits and their application in mineral exploration; eds. R.R. Keays, C.M. Lesher, P.C. Lightfoot [et al.]. – Geological association of Canada, Short Course. – 1999. – Volume 13. – P. 69–106.

75. Barnes, S.J. Partition coefficients for Ni, Cu, Pd, Pt, Rh, and Ir between monosulfide solid solution and sulfide liquid and the formation of compositionally zoned Ni–Cu sulfide bodies by fractional crystallization of sulfide liquid / S.J. Barnes, E. Makovicky, M. Makovicky [et al.] // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1997. – Vol. 34. – P. 366–374.

76. Bosi, F. Nomenclature and classification of the spinel supergroup / F. Bosi, C. Biagioni, M. Pasero // European Journal of Mineralogy. – 2019. – Vol. 31. – №. 1. – P. 183–192.

77. Brovchenko, V. X-ray absorption spectroscopic study of Pd²⁺ on Ni site in pentlandite / V. Brovchenko, M. Merkulova, J. Sittner [et al.] // *American Mineralogist*. – 2023. – Vol. 108. – №. 11. – P. 2086–2095.
78. Cabri, L.J. Mineralogical distribution of trace platinum-group elements in the disseminated sulphide ores of Noril'sk 1 layered intrusion / L.J. Cabri, J.M.D. Wilson, V.V. Distler [et al.] // *Applied Earth Science*. – 2002. – Vol. 111. – №. 1. – P. 15–22.
79. **Canhimbue, L.** Geochemical Distribution of Platinum Metals, Gold and Silver in Intrusive Rocks of the Norilsk Region / **L. Canhimbue**, I. Talovina // *Minerals*. – 2023. – Vol. 13. – P. 719.
80. Deer, W.A. An introduction to the rock-forming minerals. 3rd edition / W.A. Deer, R.A. Howie, J. Zussman. – Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, 2013. – 498 p.
81. Distler, V.V. Distribution of platinoids between pyrrhotite and pentlandite in crystallization of a sulfide melt / V.V. Distler, A.Yu. Malevskiy, I.P. Laputina // *Geochemistry International*. – 1977. – Vol. 14. – P. 30–40.
82. Distler, V.V. Platinum ores of the Noril'sk layered intrusions: magmatic and fluid concentration of noble metals / V.V. Distler, S.F. Sluzhenikin, L.J. Cabri [et al.] // *Geology of Ore Deposits*. – 1999. – Vol. 41. – P. 214–237.
83. Duran, C.J. Fractional crystallization-induced variations in sulfides from the Noril'sk-Talnakh mining district (polar Siberia, Russia) / C.J. Duran, S.J. Barnes, P. Pleše [et al.] // *Ore Geology Reviews*. – 2017. – Vol. 90. – P. 326–351.
84. Dyuzhikov, O.A. Geology and metallogeny of sulfide deposits of Noril'sk region USSR / O.A. Dyuzhikov, V.V. Distler, B.M. Strunin [et al.] *Society of Economic Geologists*. – Special Publication, 1992. – 242 p.
85. Egorova, V.V. Mafic-Ultramafic Sills: New Insights from M- and S-shaped Mineral and Whole-rock Compositional Profiles / V.V. Egorova, R.M. Latypov // *Journal of Petrology*. – 2013. – Vol. 54. – №10. – P. 2155–2190.
86. Evstigneeva, T. Synthesis of platinum group minerals under hydrothermal conditions / T. Evstigneeva, M. Tarkian // *European Journal of Mineralogy*. – 1996. – V. 8. – P. 549–564.

87. Evstigneeva, T.L. Cabriite Pd₂SnCu, a New Species in the Mineral Group of Palladium, Tin and Copper Compounds / T.L. Evstigneeva, A.D. Genkin // *Canadian Mineralogist*. – 1983. – Vol. 21. – P. 481–487.
88. Filimonova, O.N. The state of platinum in pyrrhotite: X-ray absorption spectroscopy study and implications for the role of Fe sulfides as platinum carriers / O.N. Filimonova, A.L. Trigub, M.S. Nickolsky [et al.] // *Mineralogical Magazine*. – 2021. – Vol. 85. – №. 6. – P. 846-861.
89. Genkin, A.D. Associations of Platinum-Group Minerals of the Noril'sk Copper-Nickel Sulphide Ores / A.D. Genkin, T.L. Evstigneeva // *Economic Geology*. – 1986. – Vol. 81. – P. 1203–1212.
90. Gritsenko, Y.D. Quantitative assessment of the relative roles of sulfide liquid collection, magmatic degassing and fluid-mediated concentration of PGE in low-sulfide ores of the Norilsk intrusions / Y.D. Gritsenko, A.P. Kondrikova, S. Gilbricht [et al.] // *Ore Geology Reviews*. – 2022. – P. 105042.
91. Kalugin, V. Origin of the Pd-Rich Pentlandite in the Massive Sulfide Ores of the Talnakh Deposit, Norilsk Region, Russia / V. Kalugin, V. Gusev, N. Tolstykh [et al.] // *Minerals*. – 2021. – Vol. 11. – P. 1258.
92. Komarova, M.Z. The PGE mineralization of disseminated sulphide ores of the Noril'sk-Taimyr Region / M.Z. Komarova, S.M. Kozyrev, O.N. Simonov [et al.] // *The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements. Special volume 54* / Eds. L.J. Cabri. – Montreal: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2002. – P. 547–567.
93. Krivolutskaya, N. Chemical characteristics of ore-bearing intrusions and the origin of PGE–Cu–Ni mineralization in the Norilsk Area / N. Krivolutskaya, S. Makvandi, B. Gongalsky [et al.] // *Minerals*. – 2021. – Vol. 11. – №. 8. – P. 819.
94. Krivolutskaya, N.A. New Geochemical and Mineralogical Data on Rocks and Ores of the NE Flank of the Oktyabr'skoe Deposit (Norilsk Area) and a View on Their Origin / N.A. Krivolutskaya, Y. Bychkova, B. Gongalsky [et al.] // *Minerals*. – 2021. – Vol. 11. – P.44.

95. Krivolutskaya, N.A. Geology of the Western Flanks of the Oktyabr'skoe Deposit, Noril'sk District, Russia: Evidence of a Closed Magmatic System / Krivolutskaya N.A., Gongalsky B.I., Kedrovskaya T.B. [et al.] // *Mineralium Deposita*. – 2019. – Vol. 54. – P. 611–630.
96. Krivolutskaya, N.A. Siberian Traps and Pt-Cu-Ni deposits in the Noril'sk area / N.A. Krivolutskaya – Switzerland: Springer International Publishing, 2016. – 364 p.
97. Li, C. A new genetic model for the giant Ni-Cu-PGE sulfide deposits associated with the Siberian flood basalts / C. Li, E.M. Ripley, A.J. Naldrett // *Economic Geology*. – 2009. – Vol. 104. – №. 2. – P. 291–301.
98. Lightfoot, P.C. Structural controls on the primary distribution of mafic–ultramafic intrusions containing Ni–Cu–Co–(PGE) sulfide mineralization in the roots of large igneous provinces / P.C. Lightfoot, D. Evans-Lamswood // *Ore Geology Reviews*. – 2015. – Vol. 64. – P. 354–386.
99. Liu, Y. Partitioning of platinum-group elements (PGE) and chalcogens (Se, Te, As, Sb, Bi) between monosulfide–solid solution (MSS), intermediate solid solution (ISS) and sulfide liquid at controlled fO_2 – fS_2 conditions / Y. Liu, J. Brennan // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2015. – Vol. 159. – P. 139–161.
100. Lyubetskaya, T. Chemical composition of Earth's primitive mantle and its variance: 1. Method and results / T. Lyubetskaya, J. Korenaga // *Journal of Geophysical Research*. – 2007. – Vol. 112. – P. B03211.
101. Makovicky, E. Ternary and quaternary phase systems with PGE / E. Makovicky // *The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements*. Special volume 54 / Eds. L.J. Cabri. – Montreal: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum. – 2002. – P. 131–176
102. Malitch, K.N. Magmatic evolution of the ultramafic-mafic Kharaelakh intrusion (Siberian Craton, Russia): insights from trace-element, U-Pb and Hf-isotope data on zircon / K.N. Malitch, E.A. Belousova, W.L. Griffin [et al.] // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 2010. – Vol. 159. – № 6. – P. 753–768.

103. Mansur, E.T. An overview of chalcophile element contents of pyrrhotite, pentlandite, chalcopyrite, and pyrite from magmatic Ni-Cu-PGE sulfide deposits / E.T. Mansur, S.J. Barnes, C.J. Duran // *Mineralium Deposita*. – 2021. – Vol. 56. – №. 1. – P. 179–204.
104. Mansur, E.T. Distribution of chalcophile and platinum-group elements among pyrrhotite, pentlandite, chalcopyrite and cubanite from the Noril'sk-Talnakh ores: implications for the formation of platinum-group minerals / E.T. Mansur, S.-J. Barnes, C.J. Duran [et al.] // *Mineralium Deposita*. – 2020. – Vol. 55. – №5. – P. 1215–1232.
105. McDonough, W.F. The composition of the Earth / W.F. McDonough, S.S. Sun // *Chemical geology*. – 1995. – Vol. 120. – №. 3-4. – P. 223–253.
106. Morimoto, N. Nomenclature of pyroxenes / N. Morimoto // *Mineralogical Journal*. – 1989. – Vol. 14. – №. 5. – P. 198–221.
107. Naldrett, A.J. Geology and geochemistry of intrusions and flood basalts of the Noril'sk region, USSR, with implications for the origin of the Ni-Cu ores / A.J. Naldrett, P. Lightfoot, V. Fedorenko [et al.] // *Economic Geology*. – 1992. – Vol. 87. – № 4. – P. 975-1004.
108. Sinyakova, E.F. The Role of Te, As, Bi, and Sb in the Noble Metals (Pt, Pd, Au, Ag) and Microphases during Crystallization of a Cu-Fe-S Melt / E.F. Sinyakova, N.A. Goryachev, K.A. Kokh [et al.] // *Minerals*. – 2023. – Vol. 13. – №. 9. – P. 1150.
109. Sittner, J. Three-dimensional distribution of platinum group minerals in natural MSS-ISS ores from the Noril'sk one deposit, Russia / J. Sittner, V. Brovchenko, A. Siddique [et al.] // *Frontiers in Earth Science*. – 2022. – Vol. 10. – P. 860751.
110. Sluzhenikin, S.F. Ultramafic-mafic intrusions, volcanic rocks and PGE-Cu-Ni sulfide deposits of the Noril'sk Province, Polar Siberia: Field trip guidebook. 12th International Platinum Symposium / S. F. Sluzhenikin, N. A. Krivolutskaya, V. A. Rad'ko [et al.]. – Ed. O.N. Simonov– Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2014. – 80 p.
111. Sluzhenikin, S.F. Gold and silver in PGE–Cu–Ni and PGE ores of the Noril'sk deposits, Russia / S.F. Sluzhenikin, A.V. Mokhov // *Mineralium Deposita*. – 2015. – Vol. 50. – P. 465–492.

112. Stekhin, A.I. Mineralogical and chemical characteristics of the Cu-Ni ores of the Oktyabr'sky and Talnakh deposits / A.I. Stekhin // Proceedings of the Sudbury-Noril'sk Symposium / Eds. P.C. Lightfoot, A.J. Naldrett. – Ontario Geological Survey. – 1994. – Special Volume 5. – P. 217–230.
113. Tagle, R. A database of chondrite analyses including platinum-group elements, Ni Co, Au, and Cr: implications for the identification of chondritic projectiles / R. Tagle, J. Berlin // Meteoritics and Planetary Science. – 2008. – Vol.43, – №3, – P. 541–559.
114. Tolstykh, N. Distribution of sulfides and PGE minerals in the picritic and taxitic gabbro-dolerites of the Norilsk 1 intrusion / N. Tolstykh, J. Garcia, G. Shvedov // The Canadian Mineralogist. – 2021. – Vol. 59. – №. 6. – P. 1437–1451.
115. Tolstykh, N. Rh, Ir, and Ru Partitioning in the Cu-Poor IPGE Massive Ores, Talnakh Intrusion, Skalisty Mine, Russia. / N. Tolstykh, V. Brovchenko, V. Rad'ko [et al.] // Minerals. – 2022.– Vol. 12. – P. 18.
116. Tolstykh, N. Unique Cu-rich sulphide ores of the Southern-2 orebody in the Talnakh Intrusion, Noril'sk area (Russia): Geochemistry, mineralogy and conditions of crystallization / N. Tolstykh, N. Krivolutskaya, I. Safonova [et al.] // Ore Geology Reviews. – 2020. – Vol. 122. – P. 103525.
117. Tolstykh, N.D. Mineralogical zoning of the PGE-Cu-Ni orebodies at the central part of Oktyabr'sky deposit, Norilsk district, Russia / N.D. Tolstykh, N.A. Krivolutskaya, **L.S. Canhimbue** [et al.] // Mineralogical magazine. – 2024. – P.1–36.
118. Tolstykh, N.D. The evolution of the ore-forming system in the low sulfide horizon of the Noril'sk 1 intrusion, Russia / N.D. Tolstykh, L.M. Zhitova, M.O. Shapovalova [et al.] // Mineralogical Magazine. – 2019. – Vol. 83. – №. 5. – P. 673–694.
119. Torgashin, A.S. Geology of the massive and copper ores of the western part of the Oktyabr'sky Deposit / A.S. Torgashin // Sudbury–Noril'sk Symposium. Ontario Geological Survey Special Paper 5. – 1994. – P. 231–241.
120. Vogt, J.H.L. Geology of the platinum metals / J.H.L. Vogt // Economic Geology. –1927. – Vol. 22. – P. 322–355.

121. Vymazalova, A. Sluzhenikinite, Pd₁₅(Sb_{7-x}Sn_x)₃ ≤ x ≤ 4, a new platinum group mineral (PGM) from the Oktyabrsk deposit, the Norilsk deposits, Russia / A. Vymazalova, M.D. Welch, F. Laufek [et al.] // *Mineralogical Magazine*. – 2022. – Vol. 86. – №. 4. – P. 577-585.

122. Yao, Z. Linking the Siberian Flood Basalts and Giant Ni-Cu-PGE Sulfide Deposits at Norilsk / Z. Yao, J.E. Mungall // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 2021. – Vol. 126. – №. 3. – P. e2020JB020823.

123. Yavuz, F. WinPyrox: A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry / F. Yavuz // *American Mineralogist*. – 2013. – Vol. 98. – №. 7. – P. 1338–1359.

124. Zenko, T.E. Tectonic Controls on Ore-Bearing Intrusions of the Talnakh Ore Junction: Position, Morphology, and Ore Distribution / T.E. Zenko, G.K. Czamanske // *International Geology Review*. – 1994. – Vol. 36. – №11. – P. 1033–1057.

Фондовая литература

125. Кравцов, В.Ф. Отчет «Геология и подсчет запасов сульфидных медно-никелевых руд северных флангов Талнахского рудного узла (Норильский р-н) по состоянию на 01.07.1987 г.» / В.Ф. Кравцов, Ю.Н. Седых, С.М. Постанен [и др.]. – Норильск: Красноярскгеология, 1987. 24 кн. 12 п.

Электронные ресурсы

126. Годовой отчет ПАО «ГМК «Норильский никель» за 2023 год // ПАО «ГМК «Норильский никель» : [сайт]. – 2024. – URL: https://normickel.ru/upload/iblock/32f/4uef5112nd22hizu7dkae8y56ph0972d/Godovoi_otchet-PAO-GMK-Norilskii_-nikel-za-2023-god.pdf (дата обращения 03.07.2024).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Химический состав изученных пород центральной части Хараелахского интрузива

Таблица А.1. Состав пород центральной части Хараелахского интрузива по петрогенным оксидам (мас.%).

Образец	Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeOtot	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	ППП	Сумма
Северная ветвь														
PT-107-1619,7	ГТ	26,6	0,97	16,1	21,1	0,41	11	4,12	0,92	0,92	0,02	8,66	2,4	93,22
PT-107-1619,8	ГТ	28,2	1,04	14,8	22,2	0,46	9,56	6,45	0,98	0,7	0,03	8,14	1,93	94,49
PT-107-1645,5	Го	45,38	0,37	23,23	7,14	0,22	6,27	7,92	1,98	2,78	0,06	-	4,31	99,66
PT-107-1646,5	Го	46,79	0,73	15,69	9,79	0,21	10,08	8,30	3,49	0,31	0,09	-	4,27	99,75
PT-107-1647	Го	44,37	0,79	13,81	13,76	0,18	12,04	8,49	1,41	0,42	0,06	-	3,29	98,62
PT-107-1648,7	Го	45,49	0,82	15,54	11,40	0,18	11,03	10,15	1,89	0,57	0,11	0,16	2,28	99,62
PT-107-1650,6	Го	40,74	0,60	9,49	14,19	0,19	19,42	6,12	1,00	0,23	0,07	-	4,77	98,38
PT-107-1651,4	Го	40,14	0,53	7,49	13,59	0,21	24,55	5,00	0,83	0,20	0,06	-	5,20	98,70
PT-107-1652	Го	35,01	0,30	11,21	24,44	0,12	5,58	6,30	1,31	0,49	0,04	-	6,21	99,99
PT-107-1653	Го	37,04	0,41	5,80	18,62	0,18	25,53	3,37	0,33	0,12	0,02	-	6,08	99,78
PT-107-1654,4	Го	36,67	0,41	5,22	20,36	0,16	24,04	2,99	0,36	0,11	0,02	-	5,62	99,75
PT-107-1655	Го	37,86	0,46	5,83	17,26	0,23	21,63	3,14	0,51	0,21	0,07	-	8,64	97,88
PT-107-1657,2	ГП	33,29	0,45	5,47	24,84	0,16	20,42	3,07	0,45	0,14	0,03	-	5,06	99,73
PT-107-1658,3	ГП	37,34	0,45	6,75	19,06	0,20	23,15	4,44	0,93	0,21	0,06	0,28	5,95	103,27
PT-107-1659,1	ГП	36,41	0,47	6,12	21,67	0,17	21,32	3,77	0,54	0,17	0,04	-	4,86	99,73
PT-107-1662	ГП	36,82	0,89	11,82	22,38	0,35	10,80	6,72	1,45	0,86	0,08	0,07	6,02	98,26
PT-107-1665,4	ГП	36,39	0,48	5,66	21,95	0,18	21,30	3,72	0,45	0,15	0,03	-	3,51	98,57
PT-107-1667	ГП	38,15	0,53	7,43	17,58	0,19	22,18	5,28	0,93	0,27	0,07	0,15	6,13	98,90
PT-107-1668,6	ГП	38,01	0,40	5,67	18,69	0,17	24,17	3,71	0,47	0,13	0,03	-	4,83	98,80
PT-107-1670,5	ГП	39,69	0,47	8,87	14,03	0,19	21,41	5,44	1,08	0,20	0,05	-	5,26	98,30
PT-107-1673,6	ГП	38,8	0,55	7,88	18	0,22	21,9	6,04	0,48	0,18	0,05	0,07	4,9	99,07
PT-107-1675,2	ГП	40,11	0,49	8,75	15,30	0,22	20,60	5,76	1,01	0,27	0,07	0,10	4,77	99,00
PT-107-1675,3	ГП	35,1	0,54	6,37	25	0,23	21,5	5,08	0,49	0,17	0,03	-	4,56	99,07
PT-107-1676,9	ГП	41,72	0,39	16,27	14,27	0,10	9,42	8,93	1,23	0,34	0,06	-	3,74	99,83
PT-107-1677,9	ГП	41,04	0,63	16,95	17,39	0,12	7,34	10,98	1,67	0,37	0,06	0,04	2,33	98,92

Продолжение таблицы А.1

Образец	Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeOtot	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	ППП	Сумма
PT-101-1668,9	Гп	36,8	0,48	6,59	23,7	0,22	23,2	4,88	0,35	0,14	0,03	0,23	2,88	99,50
PT-101-1683,4	Гп	39,4	0,48	7,74	19,6	0,22	23,6	6,23	0,51	0,13	0,04	0,07	1,18	99,20
PT-107- 1678	Гт	42,3	0,62	18,5	15,1	0,13	8,14	12,6	1,14	0,39	0,04	-	0,45	99,41
PT-107-1679,3	Гт	44,85	0,81	15,52	12,15	0,126	8,43	10,24	1,37	0,46	0,07	0,05	4,27	99,89
PT-107- 1679,5	Гт	42,5	0,86	15,4	17,6	0,19	10,1	10,3	1,16	0,26	0,06	-	1,32	99,75
PT-107- 1698,2	Гт	45,3	0,97	14,5	14	0,2	12,3	10,4	1,44	0,22	0,09	0,04	<.1	99,47
PT-107-1699,9	Гт	44,05	0,88	16,12	12,80	0,26	6,72	8,79	1,94	0,88	0,09	-	2,81	96,25
PT-101-1699	Гт	33,1	0,37	11,2	32,3	0,21	10,8	7,76	0,6	0,18	0,02	0,03	3,14	99,71
PT-101-1704,4	Гт	38,9	0,51	15,2	23,5	0,18	10,3	9,46	1	0,18	0,03	0,04	0,13	99,43
PT-12-1497,6	Л	41,42	0,78	15,85	9,60	0,22	7,81	17,64	0,79	0,03	0,09	0,07	5,52	99,83
PT-12-1507,3	Л	45,01	0,67	15,65	9,94	0,16	9,49	12,58	1,95	0,77	0,07	0,13	3,39	99,81
PT-12-1541,7	Го	42,65	0,78	10,43	15,81	0,22	18,01	8,06	1,32	0,28	0,08	0,58	1,39	99,61
PT-12-1543,4	Гп	36,03	0,48	6,19	18,34	0,21	24,29	4,53	0,69	0,19	0,05	0,68	7,45	99,14
PT-12-1546,2	Гп	37,65	0,83	10,15	18,30	0,19	19,16	6,28	1,16	0,22	0,06	2,06	3,04	99,10
PT-12-1550,2	Гп	39,00	0,32	7,82	16,03	0,18	22,20	5,70	0,54	0,10	0,04	0,08	7,12	99,13
PT-12-1555,1	Гп	44,63	0,35	16,90	11,03	0,22	9,86	9,43	2,38	0,38	0,06	0,05	4,37	99,66
PT-12-1559,5	Гт	46,28	0,70	13,48	12,30	0,24	9,33	13,06	2,11	0,64	0,05	0,04	1,57	99,81
PT-12-1567,9	Го	43,10	0,56	15,85	9,27	0,20	9,46	13,93	1,78	0,02	0,07	0,06	5,15	99,45
PT-12-1569,8	Го	44,03	0,71	15,94	11,19	0,17	11,67	9,93	1,73	0,67	0,07	0,08	3,58	99,77
PT-12-1598	Гп	41,06	0,59	9,26	15,06	0,19	20,92	6,59	1,16	0,30	0,07	0,69	3,55	99,44
PT-12-1602,5	Гп	34,88	1,57	13,33	18,81	0,17	13,38	6,71	1,17	0,21	0,05	5,94	3,05	99,27
PT-12-1605,8	Гт	41,41	0,59	10,08	15,50	0,22	20,26	6,91	1,08	0,21	0,07	1,36	1,91	99,59
PT-12-1607,4	Гт	41,88	0,48	15,03	15,43	0,16	12,02	9,20	1,51	0,66	0,06	0,33	2,18	98,94
PT-12-1612	Гп	42,09	0,68	11,75	14,68	0,19	17,97	8,12	1,36	0,31	0,07	0,11	2,20	99,53
PT-12-1616,3	Гп	42,00	0,72	11,79	16,81	0,23	15,00	9,44	1,83	0,37	0,07	0,05	1,28	99,58
PT-12-1621,2	Гт	39,15	0,91	13,11	22,18	0,17	7,90	8,46	1,72	0,76	0,09	0,05	4,00	98,50
PT-12-1629,9	Гк	46,10	1,32	14,19	14,89	0,24	7,00	11,07	2,31	0,85	0,12	0,02	1,55	99,66
PT-12-1626,5	Гт	44,37	0,43	15,29	14,73	0,19	9,08	10,95	1,96	0,52	0,04	0,025	-	98,67
Южная ветвь														
PT-30-1455,5	Л	43,82	1,64	18,02	11,74	0,12	4,13	8,76	4,70	0,89	0,14	-	5,68	99,86
PT-30-1460,9	Л	46,90	0,75	19,03	11,21	0,24	6,99	6,03	3,43	0,98	0,04	-	3,82	99,71

Продолжение таблицы А.1

Образец	Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeOtot	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	ППП	Сумма
РТ-30-1493,7	Го	45,88	0,68	19,36	9,62	0,17	8,94	11,80	1,93	0,39	0,08	-	0,89	99,78
РТ-30-1496	Гп	41,41	0,47	8,14	13,71	0,22	25,10	4,85	0,92	0,20	0,06	-	3,56	99,09
РТ-30-1498,5	Гп	39,29	0,43	6,10	14,47	0,18	26,35	3,77	0,56	0,19	0,06	-	5,86	98,56
РТ-30-1501,2	Гп	39,82	0,46	7,80	15,05	0,20	23,16	4,81	0,94	0,25	0,08	-	3,99	98,29
РТ-30-1505	Гп	37,25	0,44	5,88	20,89	0,21	24,82	4,30	0,89	0,21	0,06	0,37	3,28	102,02
РТ-30-1509	Гп	40,50	0,46	7,13	23,10	0,17	17,60	3,83	0,58	0,18	0,04	0,21	5,80	103,48
РТ-30-1510,5	Гп	30,70	0,48	4,62	27,23	0,19	19,44	3,25	0,61	0,17	0,08	0,29	10,39	101,04
РТ-30-1513,1	Гп	36,90	0,44	6,32	23,80	0,24	24,60	4,97	0,45	0,16	0,04	0,07	0,86	103,87
РТ-30-1516	Гп	40,26	0,42	7,32	13,55	0,21	24,73	4,78	0,71	0,20	0,06	0,18	6,35	99,51
РТ-30 1517	Гп	37,90	0,39	7,40	19,80	0,22	22,60	5,11	0,22	0,22	0,04	-	5,25	101,45
РТ-30-1523	Гп	42,16	0,59	13,19	14,19	0,18	14,51	8,09	1,56	0,40	0,07	-	1,83	98,77
РТ-30-1529	Гп	35,57	0,42	5,26	19,52	0,21	23,67	3,60	0,40	0,16	0,07	0,06	10,05	102,23
РТ-30 1532,2	Гп	38,10	0,57	9,05	23,40	0,23	18,60	7,54	0,69	0,21	0,04	0,05	0,29	102,01
РТ-30-1533,2	Гп	40,65	0,57	11,19	18,38	0,21	15,47	7,27	1,26	0,65	0,07	0,04	3,05	100,99
РТ-7-1473,8	Гп	33,40	0,45	5,60	26,70	0,24	24,00	4,93	0,46	0,17	0,02	0,43	2,16	102,76
РТ-7-1476	Гп	30,30	0,48	5,62	32,10	0,19	17,60	5,08	0,11	0,34	0,03	0,42	6,72	104,34
РТ-7-1479	Гп	37,80	0,48	9,98	22,40	0,13	16,50	8,02	0,42	0,77	0,04	-	2,51	102,15
РТ-7-1480	Гп	48,40	0,40	11,00	15,80	0,18	12,70	9,03	0,57	0,54	0,02	0,14	0,72	100,42
РТ-7-1486	Гт	38,40	0,49	11,30	24,90	0,22	9,15	11,50	0,86	0,22	0,01	0,13	2,10	101,58
РТ-7-1492	Гт	35,20	0,54	12,10	29,10	0,20	7,60	9,91	1,14	0,43	0,03	0,05	2,09	101,79
РТ-30-1538	Гт	36,32	0,46	6,17	19,49	0,21	22,96	3,41	0,62	0,18	0,06	0,09	8,39	103,46
РТ-30 1540,5	Гт	35,60	0,45	6,13	24,40	0,20	21,20	3,68	0,17	0,13	0,06	-	7,29	104,32
РТ-30-1541	Гт	46,33	0,96	18,50	10,72	0,23	8,12	9,25	1,51	1,56	0,11	-	2,27	103,45
РТ-30-1545,7	Гт	38,20	0,65	13,30	22,60	0,22	9,12	11,80	0,95	0,53	0,04	-	0,74	101,16
РТ-30-1550	Гт	35,90	0,82	10,60	27,00	0,22	12,90	8,93	0,49	0,35	0,04	-	1,81	104,41
РТ-30-1554,5	Гт	46,78	0,78	18,98	10,40	0,23	6,29	7,82	3,31	1,64	0,08	-	3,34	105,30

Примечание: прочерк – значение ниже предела обнаружения.

Таблица А.2. Микроэлементный состав пород центральной части Хараелахского интрузива (ppm).

Обр.	Li	Sc	Ti	V	Cr	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Te	Ba	Hf	Ta	Pb	Bi	Th	U
Северная ветвь																					
PT-107-1619,3	78,63	12,66	н.а.	87,68	124,99	58,12	91,21	366,55	14,83	1,74	0,27	0,55	0,11	н.а.	736,45	0,80	0,10	3,37	0,07	0,42	0,16
PT-107-1619,7	89,5	14,2	4614,83	547	11500	202	37,6	121	24,1	1,23	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	165	0,65	0,13	9,23		0,31	0,18
PT-107-1619,8	67,1	12,8	4674,77	548	11500	153	24	109	20,2	0,93	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	128	0,48	0,12	26,2		0,27	0,13
PT-107-1622,5	20,37	36,06	8023,80	248,57	317,38	142,93	23,33	259,11	15,81	3,39	0,51	0,92	0,17	-	161,84	1,70	0,20	3,13	0,09	1,00	0,39
PT-107-1646,5	55,09	24,95	4540,60	163,64	957,87	37,76	6,72	288,95	10,46	2,89	0,96	0,66	0,14	-	57,45	1,50	0,17	1,34	0,04	0,81	0,29
PT-107-1647	14,53	25,53	4913,80	181,98	1183,44	165,34	14,07	214,56	52,72	2,64	0,53	0,88	0,34	0,21	110,68	1,31	0,16	14,46	0,15	0,63	0,30
PT-107-1648,7	10,87	24,08	5100,40	175,98	1049,65	14,08	10,41	253,89	65,04	3,35	0,89	0,76	0,24		124,98	1,76	0,20	3,34	0,05	0,80	0,60
PT-107-1650,6	6,17	20,67	3732,00	151,19	4030,75	100,11	4,95	115,86	9,51	1,69	0,48	0,84	0,13	0,43	61,89	0,98	0,10	5,70	0,21	0,48	0,19
PT-107-1651,4	4,35	19,49	3296,60	123,81	3412,52	149,37	4,75	89,12	7,81	1,79	0,38	2,04	0,15	0,23	56,96	0,89	0,10	5,08	0,13	0,45	0,17
PT-107-1652	19,35	25,81	1866,00	145,75	н.а.	129,67	17,30	232,50	38,05	1,39	0,54	1,80	0,38	1,82	110,74	1,06	0,07	16,94	0,80	0,48	0,20
PT-107-1653	8,38	16,91	2550,20	99,32	2944,67	130,19	4,71	70,40	30,37	1,44	0,71	1,32	0,34	0,50	36,71	0,77	0,09	6,28	0,28	0,37	0,17
PT-107-1654,4	6,17	16,06	2550,20	99,61	2778,36	100,55	4,99	64,86	30,97	1,53	0,55	1,03	0,38	0,71	38,09	0,77	0,09	8,00	0,38	0,38	0,17
PT-107-1655	13,83	16,86	2861,20	109,68	2856,58	84,44	5,17	49,79	7,12	1,64	0,43	1,60	0,29	0,49	30,41	0,88	0,10	8,37	0,31	0,47	0,17
PT-107-1657,2	5,63	15,78	2799,00	116,20	2906,10	107,41	5,20	76,82	34,02	1,86	0,70	1,33	0,38	1,68	53,16	0,87	0,11	11,44	0,74	0,47	0,21
PT-107-1658,3	4,23	17,07	2799,00	107,23	1424,17	7,16	5,31	85,09	34,42	1,89	0,40	0,87	0,13	0,14	59,26	0,97	0,11	14,22	0,37	0,53	0,20
PT-107-1659,1	4,45	17,85	2923,40	120,97	1675,73	106,47	6,02	104,90	38,81	1,98	0,68	1,11	0,35	0,90	61,90	0,99	0,11	13,65	0,40	0,46	0,21

Продолжение таблицы А.2

Обр..	Li	Sc	Ti	V	Cr	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Te	Ba	Hf	Ta	Pb	Bi	Th	U
PT-107-1662	49,81	21,72	5535,80	159,89	440,91	11,30	26,99	182,58	52,27	2,83	0,59	1,52	0,18	0,12	142,71	1,42	0,18	14,18	0,50	0,79	0,29
PT-107-1665,4	9,75	20,30	2985,60	115,49	919,46	130,71	6,59	87,34	41,93	1,97	0,61	4,38	0,52	4,03	60,24	1,06	0,14	81,96	2,77	0,42	0,23
PT-107-1667	8,79	18,48	3296,60	106,19	764,84	7,46	8,60	102,60	38,44	2,02	0,29	3,93	0,29	0,29	65,69	1,03	0,12	32,67	2,39	0,51	0,24
PT-107-1668,6	8,82	19,96	2488,00	111,96	517,78	80,58	5,47	99,17	32,06	1,54	0,42	0,73	0,36	0,57	42,40	0,85	0,10	5,14	0,31	0,40	0,19
PT-107-1670,5	5,06	18,64	2923,40	125,65	356,59	141,06	4,63	103,44	7,46	1,63	0,29	2,90	0,16	0,97	51,67	0,86	0,10	4,78	0,74	0,39	0,14
PT-107-1673,6	5,52	19,5	3296,31	136	370	80,7	6,77	97,6	34,9	1,82	-	-	-	-	62	0,71	0,14	4,76	-	0,4	0,2
PT-107-1675,2	7,34	20,93	3047,80	139,45	302,42	110,88	6,38	116,03	7,59	1,91	0,43	0,94	0,16	0,34	68,40	0,97	0,11	14,63	0,22	0,46	0,19
PT-107-1676,9	15,34	19,33	2425,80	110,72	249,61	100,34	11,82	236,36	33,14	1,55	0,47	0,91	0,33	0,28	74,75	0,90	0,11	3,44	0,15	0,41	0,18
PT-107-1677,9	11,42	20,72	3918,60	166,57	296,42	13,38	12,25	226,76	36,29	1,95	0,58	1,27	0,13	0,03	64,40	1,04	0,11	4,15	0,24	0,53	0,23
PT-101-1668,9	8,93	16,2	3056,6	137	1360	92	6,33	97,7	32,5	1,7	-	-	-	-	55	0,7	0,17	5,76	-	0,4	0,2
PT-101-1683,4	4,21	18,4	2936,71	125	410	84,1	4,36	115	27,7	1,27	-	-	-	-	52,5	0,72	0,16	5,78	-	0,4	0,15
PT-107-1679,3	12,11	30,34	5038,20	191,55	472,48	82,66	10,04	200,88	47,57	2,72	0,36	1,15	0,33	0,14	87,74	1,28	0,18	2,91	0,07	0,51	0,25
PT-107-1698,2	7,01	26,6	5334,03	199	227	72,4	10,7	189	70,9	3,37	-	-	-	-	92,9	1,69	0,3	7,58	-	1,04	0,45
PT-107-1699,9	11,01	40,68	5473,60	261,36	282,16	58,47	19,84	369,44	15,27	4,04	0,27	-	-	-	143,42	1,94	0,23	1,10	-	1,06	0,42
PT-101-1699	7,18	18,1	2277,45	108	244	164	5,45	133	25,9	1,47	н.а.	н.а.	-	-	93,7	0,71	0,14	405	-	0,45	0,13
PT-101-1704,4	4,45	16,6	3056,58	136	200	94	3,97	167	25,1	1,35	н.а.	н.а.	-	-	72,5	0,68	0,19	59,7	-	0,29	0,15
PT-12-1497,6	34,6	35,2	4676,10	193	485	139	0,59	88,6	54,3	2,7	0,26	0,72	0,065	н.а.	3,6	4,1	0,20	41,9	0,030	0,80	0,34

Продолжение таблицы А.2

Обр.	Li	Sc	Ti	V	Cr	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Te	Ba	Hf	Ta	Pb	Bi	Th	U
PT-12-1541,7	11,4	26,8	4676,10	176	3682	102	7,1	157	42,3	2,1	0,53	0,69	0,064	0,17	77,6	1,3	0,15	6,1	0,11	0,61	0,27
PT-12-1543,4	7,0	18,0	2877,60	99,6	3160	105	4,3	64,2	24,6	1,3	0,21	0,61	н.а.	0,55	33,8	0,75	0,094	2,7	0,23	0,34	0,14
PT-12-1546,2	6,4	18,7	4975,85	132	8604	96,5	5,7	146	32,6	1,6	0,27	1,1	н.а.	0,41	66,9	0,99	0,12	4,0	0,23	0,46	0,20
PT-12-1550,2	10,6	18,3	1918,40	90,0	529	81,7	3,4	74,7	18,8	0,91	0,24	0,56	н.а.	0,55	25,9	0,56	0,065	4,0	0,22	0,24	0,11
PT-12-1555,1	46,5	29,2	2098,25	128	307	69,3	8,5	313	25,6	1,4	0,19	0,52	0,052	0,075	57,2	0,74	0,096	2,2	0,057	0,54	0,22
PT-12-1598	7,0	21,7	3537,05	116	3466	89,1	7,0	119	42,8	2,1	0,51	0,59	0,054	0,21	74,6	1,2	0,14	6,9	0,13	0,57	0,26
PT-12-1602,5	6,2	18,5	9412,15	274	20320	128	4,4	154	25,8	1,1	0,31	0,58	-	0,38	55,1	0,85	0,086	3,5	0,095	0,38	0,14
PT-12-1605,8	6,8	23,7	3537,05	83,5	5185	86,8	5,7	124	34,8	1,6	0,29	0,37	0,056	0,15	65,0	1,0	0,12	12,1	0,080	0,47	0,20
PT-12-1612	8,0	23,2	4076,60	161	686	84,9	6,7	143	40,0	2,1	0,34	0,66	-	0,30	78,9	1,2	0,14	4,0	0,12	0,51	0,23
PT-12-1616,3	10,7	29,0	4316,40	173	334	90,7	8,4	186	44,2	2,2	0,36	0,56	-	0,24	81,9	1,2	0,14	5,1	0,15	0,52	0,24
PT-12-1621,2	14,1	28,7	5455,45	213	268	107	19,5	269	48,3	3,0	0,72	0,92	0,20	1,2	161	1,4	0,19	11,9	0,43	0,58	0,28
Южная ветвь																					
PT-30-1419	43,25	19,73	3918,6	163,27	290,47	118,36	13,99	124,73	8,43	2,86	0,32	1,92	0,11	0,57	73,33	1,19	0,18	5,70	0,32	0,57	0,22
PT-30-1454,5	53,55	31,46	н.а.	209,59	226,07	110,52	53,08	261,73	14,93	2,28	0,51	0,62	0,18	-	228,68	1,30	0,16	15,16	0,20	0,79	0,31
PT-30-1455,5	53,61	35,24	10200,8	330,00	79,38	76,72	28,53	323,97	17,75	7,33	0,32	2,49	0,13	-	105,30	3,25	0,46	5,69	0,07	2,86	1,12
PT-30-1460,9	62,04	24,98	4665,0	196,14	209,92	207,39	32,60	525,40	15,55	2,71	0,31	0,74	0,38	-	172,90	1,38	0,17	22,93	0,13	0,79	0,32
PT-30-1493,7	8,66	24,66	4229,6	164,22	1100,50	95,32	8,49	223,74	13,80	2,39	0,46	0,69	0,14	-	87,31	1,26	0,15	6,56		0,61	0,23
PT-30-1496	4,68	18,01	2923,4	106,84	3084,50	98,12	4,52	85,67	7,12	1,58	0,36	0,76	0,17	0,18	54,07	0,85	0,09	6,52	0,07	0,44	0,17

Продолжение таблицы А.2

Обр.	Li	Sc	Ti	V	Cr	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Te	Ba	Hf	Ta	Pb	Bi	Th	U
PT-30-1498,5	4,23	17,23	2674,6	97,39	2845,71	117,92	4,63	83,52	6,56	1,85	0,36	1,65	0,29	0,38	42,58	0,89	0,10	4,67	0,19	0,47	0,18
PT-30-1501,2	4,60	18,68	2861,2	99,35	2401,70	101,31	6,08	86,77	7,10	1,94	0,62	0,85	0,13	0,60	62,94	1,00	0,12	19,08	0,33	0,52	0,20
PT-30-1505	4,28	18,16	2736,8	94,22	1451,52	6,69	4,85	81,61	29,78	1,31	0,78	0,84	0,25	0,10	55,52	0,83	0,09	9,36	0,37	0,43	0,19
PT-30-1509	8,05	12,4	3236,38	131	1350	73,9	7,72	90,2	33,8	1,7	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	63,6	0,93	0,2	7	-	0,48	0,19
PT-30-1510,5	8,13	17,28	2985,60	125,41	1268,36	5,48	5,95	36,98	32,73	1,67	0,65	1,69	0,28	0,34	24,53	0,89	0,10	10,00	0,85	0,48	0,21
PT-30-1513,1	4,01	14,5	3236,38	126	425	85,6	6,15	88,6	34,4	1,78	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	66,3	1,32	0,27	7,4	-	0,6	0,29
PT-30-1516	8,29	18,28	2612,40	101,52	366,86	105,61	5,19	82,49	6,85	1,55	0,29	1,54	0,13	0,26	41,71	0,78	0,09	5,68	0,14	0,43	0,19
PT-30-1517	11,9	13,6	2996,64	113	442	43,8	9,73	93,6	35,6	1,99	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	43,7	1,13	0,19	2,43	-	0,46	0,25
PT-30-1523	13,21	21,14	3669,80	149,94	304,42	93,44	8,53	172,72	9,94	2,46	0,49	1,26	0,21	0,37	78,98	1,33	0,15	8,85	0,22	0,60	0,25
PT-30-1529	32,08	18,52	2612,40	111,57	317,26	5,76	6,42	39,64	31,27	1,58	0,27	1,25	0,36	0,15	17,95	0,88	0,09	7,42	0,32	0,43	0,16
PT-30-1532,2	5,54	17,9	3655,91	151	278	71,8	6,4	123	39,1	2,39	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	78,3	0,96	0,17	5,6	-	0,52	0,19
PT-30-1533,2	24,22	20,29	3545,40	129,27	285,32	10,02	18,06	164,23	38,57	1,86	0,40	0,95	0,10	0,06	102,57	1,09	0,12	13,90	0,34	0,56	0,23
PT-7-1473,8	7,23	11,9	2577,11	110	1850	71,3	6,38	83	32,3	1,59	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	53,8	0,73	0,33	8,98	-	0,54	0,15
PT-7-1476	16,1	12,5	3116,51	159	2550	41,1	14,8	86,1	37,9	1,85	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	28,7	0,92	0,28	10,4	-	0,55	0,21
PT-7-1480	12,9	17,7	2756,91	124	806	11,3	15,1	160	28,1	1,48	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	82,3	0,8	0,16	11,3	-	0,5	0,15
PT-7-1486	21	27,1	3116,51	178	884	25,6	6,63	129	19,8	1,12	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	33,8	0,66	0,09	25,6	-	0,28	0,09
PT-7-1492	11,1	17,8	2996,64	156	345	7,8	10,5	180	31,3	1,23	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	83	0,82	0,27	7,8	-	0,43	0,09
PT-30-1538	14,19	18,73	2861,20	122,30	503,92	6,39	6,86	83,81	32,20	1,53	0,38	0,99	0,42	0,19	37,19	0,89	0,09	12,30	0,48	0,44	0,17

Продолжение таблицы А.2

Обр..	Li	Sc	Ti	V	Cr	Zn	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Te	Ba	Hf	Ta	Pb	Bi	Th	U
PT-30 1540,5	8,68	14,2	2876,78	112	1010	73,6	6,42	56,6	36	1,88	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	35,2	0,9	0,19	5,89	-	0,42	0,21
PT-30- 1541	42,94	23,95	5971,20	187,97	299,10	144,33	37,54	301,30	66,66	4,10	1,69	2,52	0,23	-	245,87	1,99	0,25	6,39	0,03	1,09	0,41
PT-30 1545,7	24,1	25,7	3595,97	159	315	118	13,4	207	46	2,55	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	97,7	1,24	0,23	6,66	-	0,68	0,36
PT-30 1550	28,5	22,3	4255,24	193	246	113	11,2	197	34,7	1,82	н.а.	н.а.	н.а.	н.а.	69,1	0,78	0,21	11,1	-	0,47	0,17

Примечание: н.а. – не анализировалось; прочерк – значение ниже предела обнаружения.

Таблица А.3 Редкоземельный состав пород центральной части Хараелахского интрузива (ppm).

Образец	Порода	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Y	Er	Yb	Tm	Lu
Северная ветвь																
PT-107-1619,3	ГТ	3,05	6,91	0,95	4,80	1,26	0,56	1,59	0,26	1,68	0,33	8,90	1,02	0,90	0,14	0,13
PT-107-1619,7	ГТ	3,28	7,37	0,81	4,2	1,48	0,46	1,17	0,17	1,19	0,31	7,89	0,77	0,93	0,13	0,16
PT-107-1619,8	ГТ	6,66	10,4	1,05	4,12	1,55	0,42	1,26	0,2	1,27	0,32	7,94	0,76	0,74	0,11	0,082
PT-107-1646,5	Го	4,09	10,03	1,36	6,60	1,83	0,72	2,36	0,39	2,63	0,53	14,22	1,63	1,49	0,22	0,23
PT-107-1647	Го	4,33	10,67	1,43	6,78	1,87	0,73	2,29	0,39	2,69	0,55	14,89	1,68	1,46	0,25	0,24
PT-107-1648,7	Го	5,73	13,40	1,81	8,64	2,43	0,78	2,86	0,48	2,91	0,60	14,29	1,76	1,66	0,24	0,23
PT-107-1650,6	Го	2,64	6,22	0,83	4,09	1,13	0,45	1,52	0,24	1,71	0,34	9,11	1,06	1,02	0,15	0,16
PT-107-1651,4	Го	2,63	6,21	0,84	4,08	1,12	0,41	1,48	0,24	1,63	0,34	8,87	1,05	0,99	0,14	0,15
PT-107-1652	Го	3,36	7,96	1,08	5,30	1,56	0,71	2,04	0,35	2,38	0,50	12,99	1,47	1,43	0,22	0,21
PT-107-1653	Го	2,63	6,23	0,82	3,97	1,11	0,41	1,37	0,23	1,56	0,32	8,19	0,96	0,90	0,14	0,14
PT-107-1654,4	Го	2,80	6,54	0,88	4,08	1,18	0,39	1,44	0,23	1,66	0,33	8,61	1,03	0,91	0,14	0,14
PT-107-1655	Го	2,87	6,87	0,91	4,34	1,14	0,38	1,47	0,25	1,65	0,33	8,85	1,01	0,94	0,14	0,14
PT-107-1657,2	Гп	3,03	7,27	0,96	4,50	1,22	0,42	1,51	0,25	1,79	0,38	9,30	1,11	1,03	0,16	0,15
PT-107-1658,3	Гп	3,07	6,84	0,91	4,37	1,22	0,42	1,57	0,27	1,68	0,34	9,12	1,05	1,02	0,15	0,15
PT-107-1659,1	Гп	3,52	8,32	1,10	5,34	1,44	0,47	1,72	0,28	1,99	0,41	10,56	1,17	1,08	0,17	0,15
PT-107-1662	Гп	4,53	10,41	1,38	6,68	1,89	0,58	2,37	0,39	2,49	0,52	13,67	1,57	1,55	0,22	0,22
PT-107-1665,4	Гп	3,25	7,76	1,04	5,09	1,42	0,45	1,77	0,29	1,95	0,42	9,99	1,21	1,15	0,18	0,17
PT-107-1667	Гп	3,50	7,85	1,04	5,03	1,41	0,48	1,80	0,29	1,91	0,39	10,07	1,18	1,13	0,16	0,16
PT-107-1668,6	Гп	3,05	7,32	0,98	4,58	1,37	0,46	1,69	0,27	1,87	0,38	9,80	1,15	1,09	0,17	0,16
PT-107-1670,5	Гп	2,09	5,07	0,69	3,42	0,98	0,38	1,32	0,22	1,53	0,32	8,43	1,00	0,93	0,14	0,15
PT-107-1673,6	Гп	3,06	7,41	0,9	3,84	0,98	0,29	1,51	0,25	1,72	0,33	10,2	1,16	0,79	0,13	0,2
PT-107-1675,2	Гп	3,08	7,17	0,97	4,65	1,27	0,44	1,65	0,28	1,87	0,39	10,35	1,19	1,15	0,16	0,17
PT-107-1676,9	Гп	3,41	8,49	1,18	5,63	1,65	0,66	2,02	0,33	2,17	0,45	10,88	1,28	1,14	0,17	0,17
PT-107-1677,9	Гп	3,95	8,84	1,17	5,42	1,58	0,57	1,91	0,33	2,04	0,41	10,83	1,26	1,22	0,18	0,18
PT-101-1668,9	Гп	2,76	6,26	0,83	4,17	1,2	0,37	1,11	0,24	1,44	0,3	8,88	0,69	0,8	0,11	0,17
PT-101-1683,4	Гп	2,47	6,15	0,78	3,96	1,16	0,31	1,19	0,16	1,32	0,3	8,42	0,9	0,96	0,15	0,14
PT-107-1679,3	ГТ	4,07	10,21	1,39	6,69	1,89	0,65	2,29	0,37	2,46	0,51	12,34	1,54	1,34	0,21	0,19
PT-107-1698,2	ГТ	6,72	14,9	1,86	9,29	1,86	0,74	3,03	0,5	3,2	0,61	18,5	2,14	2,07	0,28	0,26
PT-107-1699,9	ГТ	6,32	15,05	2,00	9,78	2,68	0,99	3,43	0,58	3,82	0,80	20,81	2,40	2,18	0,32	0,33

Продолжение таблицы А.3.

Образец	Порода	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Y	Er	Yb	Tm	Lu
РТ-101-1699	ГТ	3,04	6,08	0,75	3,88	1,35	0,43	1,24	0,18	1,41	0,34	8,58	0,79	0,82	0,12	0,11
РТ-101-1704,4	ГТ	3,03	7,04	0,88	3,93	1,04	0,48	1,19	0,21	1,5	0,3	9,09	0,78	0,86	0,13	0,14
Южная ветвь																
РТ-30-1454,5	Л	5,65	11,83	1,53	7,32	2,06	0,64	2,60	0,42	2,89	0,60	16,09	1,80	1,68	0,24	0,25
РТ-30-1455,5	Л	10,79	26,07	3,45	16,32	4,22	1,32	5,01	0,82	5,43	1,11	29,26	3,35	3,15	0,46	0,47
РТ-30-1460,9	Л	6,14	13,26	1,67	7,67	1,95	0,79	2,43	0,40	2,63	0,54	14,72	1,62	1,51	0,22	0,22
РТ-30-1493,7	Го	3,85	8,78	1,17	5,73	1,57	0,61	2,03	0,33	2,24	0,47	12,35	1,44	1,33	0,19	0,21
РТ-30-1496	Гп	2,45	5,71	0,78	3,82	1,03	0,37	1,32	0,22	1,50	0,31	8,32	0,98	0,95	0,13	0,14
РТ-30-1498,5	Гп	2,71	6,24	0,84	4,11	1,11	0,36	1,42	0,23	1,56	0,32	8,46	0,98	0,92	0,13	0,15
РТ-30-1501,2	Гп	3,00	7,18	0,97	4,67	1,27	0,42	1,64	0,27	1,82	0,37	9,75	1,14	1,03	0,15	0,16
РТ-30-1505	Гп	2,84	6,32	0,87	4,17	1,21	0,40	1,60	0,27	1,66	0,34	9,13	1,06	1,04	0,15	0,15
РТ-30 1509	Гп	3,37	7,01	1,01	3,79	1,33	0,35	1,27	0,28	1,65	0,27	9,65	1,14	0,9	0,16	0,16
РТ-30-1510,5	Гп	3,42	8,06	1,13	5,38	1,56	0,44	1,94	0,32	1,95	0,40	10,24	1,18	1,08	0,16	0,15
РТ-30-1513,1	Гп	3,52	8,15	1,16	4,75	1,9	0,56	1,54	0,32	1,8	0,43	10,1	1,32	1,04	0,22	0,19
РТ-30-1516	Гп	2,92	6,78	0,90	4,36	1,20	0,41	1,56	0,25	1,59	0,33	8,81	1,03	0,95	0,13	0,14
РТ-30 1517	Гп	3,1	7,04	1,09	4,72	1,41	0,43	1,4	0,28	1,69	0,35	8,93	1,05	1,09	0,17	0,19
РТ-30-1523	Гп	3,55	8,54	1,15	5,62	1,55	0,54	1,96	0,33	2,22	0,47	12,28	1,42	1,34	0,19	0,20
РТ-30-1529	Гп	2,96	6,88	0,96	4,55	1,32	0,40	1,70	0,27	1,72	0,36	9,25	1,05	1,02	0,15	0,13
РТ-30 1532,2	Гп	3,77	8,17	1,14	4,87	1,78	0,51	1,78	0,27	1,9	0,46	11,9	1,1	1,21	0,15	0,16
РТ-30-1533,2	Гп	3,57	7,88	1,06	5,01	1,45	0,57	1,87	0,31	1,97	0,43	10,87	1,27	1,26	0,18	0,18
РТ-7-1473,8	Гп	3,14	6,99	0,98	4,19	1,43	0,38	1,39	0,24	1,49	0,35	9,41	1,06	0,98	0,14	0,17
РТ-7-1476	Гп	2,38	5,79	0,78	3,36	1,33	0,56	1,22	0,18	1,47	0,41	8,53	0,88	0,85	0,13	0,18
РТ-7-1480	Гп	2,96	6,81	0,88	4,16	1,61	0,39	1,15	0,24	1,7	0,32	9,17	0,99	0,8	0,14	0,15
РТ-7-1486	ГТ	2,06	5,36	0,76	3,94	1,41	0,41	1,55	0,36	2,23	0,43	10,9	1,33	0,9	0,17	0,14
РТ-7-1492	ГТ	2,82	7,17	0,96	4,47	1,18	0,55	1,54	0,27	2,06	0,48	9,8	1,22	0,97	0,16	0,12
РТ-30-1538	ГТ	3,09	6,74	0,92	4,42	1,30	0,43	1,63	0,27	1,72	0,36	9,47	1,10	1,12	0,16	0,16
РТ-30 1540,5	ГТ	3,39	7,76	1	4,32	1,18	0,38	1,37	0,28	1,63	0,34	9,32	0,97	0,9	0,11	0,17
РТ-30-1541	ГТ	7,46	17,04	2,15	9,92	2,55	0,98	3,18	0,52	3,39	0,71	18,86	2,13	1,98	0,29	0,30
РТ-30 1545,7	ГТ	4,11	9,54	1,5	5,84	2,04	0,56	2,04	0,28	2,19	0,48	14	1,17	1,23	0,18	0,23

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Состав сульфидных минералов

Таблица Б.1. Состав минералов группы халькопирита (мас. %).

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	S	Co	Сумма
Северная ветвь								
PT-107-1652	Гп	Халькопирит	30,44	33,85	0,06	35,21		99,55
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	31,18	32,19	0,60	35,68	0,05	99,69
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,68	33,15	0,16	35,00	0,03	99,02
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,35	33,98	0,12	35,29	0,02	99,77
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,39	33,95	0,09	35,11	0,02	99,55
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,35	33,90	0,06	35,23	0,01	99,55
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,45	33,94	0,08	35,31	0,01	99,79
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,31	32,99		35,38		98,68
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,57	33,27	0,03	35,42	0,02	99,31
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,65	33,08	0,08	35,13	0,02	98,96
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,32	33,11	0,02	35,12	0,01	98,57
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,54	33,20	0,00	35,18	0,01	98,92
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,33	33,92	0,01	35,21	0,01	99,48
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,42	32,86	0,01	35,13	0,01	98,42
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,44	33,80	0,01	35,43		99,67
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,48	33,80	0,01	35,47	0,02	99,78
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,50	33,94	0,02	35,50	0,02	99,98
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,48	33,04	0,00	35,39		98,91
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,44	32,76		35,49	0,01	98,71
PT-107-1656,4	Гп	Халькопирит	30,53	32,55	0,00	35,40		98,48
PT-107-1665,4	Гп	Халькопирит	32,69	33,07	0,25	34,33		100,34
PT-107-1665,4	Гп	Халькопирит	32,99	32,30	0,33	34,58		100,2
PT-107-1665,4	Гп	Хейкокит	32,47	33,52	0,30	34,03		100,3
PT-107-1665,4	Гп	Хейкокит	33,11	31,84	0,32	34,96		100,2
PT-107-1665,4	Гп	Хейкокит	32,57	32,23	0,30	34,51		99,61
PT-107-1665,4	Гп	Халькопирит	31,99	33,61	0,26	33,42		99,27
PT-107-1665,4	Гп	Халькопирит	33,49	30,62	0,22	35,49		99,82
PT-107-1665,4	Гп	Халькопирит	32,72	32,42	0,32	34,72		100,2
PT-107-1665,4	Гп	Халькопирит	33,03	31,74	0,29	35,06		100,1
PT-107-1673,6	Гп	Халькопирит	30,72	33,90	0,03	35,33		99,98
PT-107-1673,6	Гп	Халькопирит	30,58	34,01	0,03	35,36	0,01	99,99
PT-107-1673,6	Гп	Халькопирит	30,68	34,11	0,05	35,42	0,01	100,3
PT-107-1673,6	Гп	Халькопирит	30,65	33,85	0,05	35,42		99,96
PT-107-1673,6	Гп	Халькопирит	30,59	34,01	0,04	35,42	0,00	100,1
PT-107-1677,9	Гт	Халькопирит	30,58	34,19		34,81	0,00	99,58
PT-107-1677,9	Гт	Халькопирит	30,55	33,67		34,76		98,98
PT-107-1677,9	Гт	Халькопирит	30,50	34,32		34,82		99,64
PT-107-1677,9	Гт	Халькопирит	30,72	34,09	0,00	34,86		99,67
PT-107-1677,9	Гт	Халькопирит	30,77	34,14	0,00	34,86		99,77
PT-107-1677,9	Гт	Халькопирит	30,64	34,10	0,01	34,79		99,53
PT-107-1677,9	Гт	Халькопирит	30,50	34,31	0,01	34,61		99,43

Продолжение таблицы Б.1

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	S	Co	Сумма
РТ-107-1677,9	ГТ	Халькопирит	30,60	34,18	0,01	34,80		99,59
РТ-107-1677,9	ГТ	Халькопирит	30,53	34,27	0,00	34,68		99,48
РТ-107-1677,9	ГТ	Халькопирит	30,55	34,29		34,82		99,66
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,59	34,52	0,18	32,84		99,13
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,79	34,80	0,16	32,73		99,48
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,58	34,49	0,16	32,71		98,94
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,74	34,88	0,14	32,73		99,49
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,58	34,95	0,16	32,64		99,32
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,72	34,49	0,18	32,88		99,26
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,63	34,73	0,16	32,64		99,16
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,64	34,54	0,15	32,79		99,12
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,62	34,64	0,14	32,82		99,22
РТ-101-1709,2	М	Мойхукит	31,84	34,71	0,17	32,80		99,52
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	32,82	32,91	0,72	33,19		99,64
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	33,02	32,39	0,84	33,10		99,36
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	33,22	32,61	0,88	33,21		99,91
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	33,17	32,63	0,85	33,05		99,7
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	33,14	32,52	0,83	33,09		99,59
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	33,17	32,10	0,85	33,16		99,29
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	33,13	32,05	0,85	33,46		99,5
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	33,10	32,37	0,82	32,98		99,27
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	33,13	32,34	0,80	33,08		99,34
РТ-101-1709,2	М	Путоранит	33,15	31,92	0,81	33,07		98,94
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,10	32,48	1,03	33,12		99,73
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,15	32,29	0,98	33,22		99,65
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,70	34,41	0,27	32,96		99,34
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,74	34,68	0,28	32,78		99,48
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,85	34,76	0,23	32,96		99,79
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,91	34,64	0,24	32,70		99,49
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,76	34,66	0,24	32,82		99,49
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,93	34,54	0,28	33,03		99,79
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,78	34,63	0,22	32,81		99,44
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,27	32,48	0,99	33,16		99,89
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,17	32,21	1,02	32,95		99,35
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,19	32,15	1,02	32,96		99,32
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,36	32,35	1,01	33,02		99,73
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,23	32,34	1,01	32,92		99,51
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,19	32,29	1,02	32,99		99,5
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,08	32,19	0,97	33,08		99,32
РТ-101-1712	М	Путоранит	32,92	32,05	1,00	32,91		98,88
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,15	32,18	0,98	33,00		99,3
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,21	32,25	0,99	33,12		99,56
РТ-101-1712	М	Путоранит	33,13	32,50	1,01	32,73		99,37
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,90	34,56	0,28	32,73		99,46
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,91	34,47	0,22	32,74		99,35
РТ-101-1712	М	Мойхукит	31,83	34,65	0,23	32,49		99,19
РТ-101-1712	М	Мойхукит	32,04	34,45	0,25	32,55		99,28

Продолжение таблицы Б.1

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	S	Co	Сумма
PT-101-1712	М	Мойхукит	31,90	34,35	0,21	32,84		99,28
PT-101-1712	М	Мойхукит	31,94	34,49	0,29	32,56		99,28
PT-101-1712	М	Мойхукит	31,86	34,56	0,24	32,69		99,35
PT-101-1712	М	Мойхукит	32,16	33,91	0,47	32,78		99,33
PT-101-1712	М	Мойхукит	31,90	34,51	0,23	32,76		99,4
PT-101-1712	М	Мойхукит	31,92	34,59	0,30	32,86		99,68
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,75	36,94	1,18	32,53	0,01	99,41
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,86	36,75	1,17	32,53		99,31
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,83	36,94	1,13	32,47		99,38
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,75	36,95	1,14	32,49		99,34
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,66	36,85	1,20	32,40		99,11
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,90	36,86	1,25	32,73		99,73
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,66	36,71	1,14	32,35		98,87
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,82	36,72	1,16	32,53		99,24
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,76	36,88	1,17	32,36		99,17
PT-101-1715,9	М	Талнахит	28,44	36,25	1,13	32,34		98,17
PT-30-1501,2	Гп	Халькопирит	29,44	29,59	0,244	35,42		94,69
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,67	34,54	0,18	35,72		101,1
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	34,47	30,05	0,12	36,05		100,7
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,59	34,46	0,13	35,73		100,9
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,60	34,55	0,12	35,65		100,9
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,22	34,00	0,17	34,48	0,01	98,89
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,59	34,69	0,11	35,72	0,00	101,1
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,58	34,42	0,11	35,69	0,01	100,8
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,62	34,47	0,11	35,86	0,01	101,1
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,69	34,51	0,11	35,78	0,01	101,1
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,61	34,72	0,12	35,75	0,01	101,2
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,63	34,61	0,10	35,77	0,00	101,1
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,66	34,61	0,10	35,87	0,00	101,2
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,76	34,58	0,10	35,89	0,01	101,3
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,60	34,14	0,08	35,94		100,8
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,61	34,46	0,07	35,73		100,9
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,66	34,33	0,09	35,80		100,9
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,56	34,09	0,10	35,84	0,01	100,6
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,64	34,45	0,09	35,79		101
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,56	34,38	0,09	35,88	0,02	100,9
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,49	34,27	0,14	35,64	0,01	100,6
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,65	34,53	0,09	35,68	0,01	101
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,56	34,47	0,07	35,66		100,8
PT-30-1517	Гп	Халькопирит	30,45	33,77	0,06	35,72	0,01	100
PT-30-1523	Гп	Халькопирит	30,44	33,52	0,005	35,07		99,03
PT-30-1523	Гп	Халькопирит	31,44	33,82		35,38		100,6
PT-30-1523	Гп	Халькопирит	31,44	32,31	0,149	35,33	0,01	99,23
PT-30-1523	Гп	Халькопирит	31,44	33,71	0,007	34,99		100,1
PT-30-1545,7	Гт	Халькопирит	30,04	33,33	0,03	35,38		98,77
PT-30-1545,7	Гт	Халькопирит	30,94	33,39	0,01	35,38	0,01	99,73
PT-30-1545,7	Гт	Халькопирит	30,07	33,31	0,02	35,29	0,01	98,7

Продолжение таблицы Б.1

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	S	Co	Сумма
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,84	33,31	0,06	35,23	0,02	99,46
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,85	33,24	0,01	35,26		99,36
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,85	33,18	0,01	35,13		99,17
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,75	33,07		35,12	0,01	98,95
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	31,66	33,15	0,03	35,14	0,01	99,99
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	31,88	33,14	0,02	35,86	0,00	100,9
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	31,64	33,14	0,01	35,13	0,01	99,93
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	31,08	34,01	0,01	34,55		99,66
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,99	33,75	0,02	34,72	0,01	99,49
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,71	33,12	0,00	34,71		98,54
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	31,72	33,29	0,00	35,77		100,8
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,78	34,47		34,75	0,02	100
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,95	34,45		34,59		99,99
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,81	34,46		34,46	0,02	99,76
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,65	33,37	0,01	34,63	0,01	98,67
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,64	34,26	0,00	34,48		99,38
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,59	34,33	0,01	34,30		99,23
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,04	34,33	0,03	34,38		98,77
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,94	34,39	0,01	34,38	0,01	99,73
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,07	34,31	0,02	34,29	0,01	98,7
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,84	34,31	0,06	35,23	0,02	100,5
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,85	34,24	0,01	35,26		100,4
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,85	34,18	0,01	35,13		100,2
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,75	34,12		35,12	0,01	100
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,66	34,15	0,03	35,14	0,01	99,99
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,88	34,14	0,02	34,86		99,89
РТ-30-1545,7	ГТ	Халькопирит	30,64	34,14	0,01	35,13	0,01	99,93
РТ-30-1560,8	М	Халькопирит	30,11	33,99		35,9		100
РТ-30-1560,8	М	Халькопирит	30,33	34,05		35,63		100
РТ-30-1560,8	М	Халькопирит	29,93	33,6		35,83		99,36
РТ-30-1560,8	М	Халькопирит	29,28	32,82		34,58		96,68
РТ-30-1566	М	Халькопирит	30,26	33,93		35,81		100
РТ-30-1566	М	Халькопирит	30,17	34,07		35,76		100
РТ-30-1566	М	Халькопирит	30,48	33,62		35,9		100
РТ-30-1566	М	Халькопирит	29,87	33,71		35,42		99
РТ-30-1566,6	М	Халькопирит	30,72	34,17		35,11		100
РТ-30-1566,6	М	Халькопирит	31	29,66	3,95	35,39		100
РТ-30-1569	М	Халькопирит	30,97	33,84		35,19		100
РТ-30-1569	М	Халькопирит	30,57	34,27		35,16		100
РТ-30-1569	М	Халькопирит	31,6	33,07		35,33		100
РТ-30-1569	М	Халькопирит	30,33	34,3		35,37		100
РТ-30-1569	М	Халькопирит	30,48	34,52		35,01		100
РТ-30-1575	М	Халькопирит	30,7	34,34		34,96		100
РТ-30-1575	М	Халькопирит	30,83	33,22	0,78	35,17		100
РТ-30-1575	М	Халькопирит	30,5	34,4		35,11		100
РТ-30-1575	М	Халькопирит	30,91	33,17	0,5	35,43		100

Таблица Б.2. Состав пентландита (мас.%).

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	Co	S	Сумма
Северная ветвь								
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,53		36,1	1,71	33,9	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,35		36,2	1,47	33,7	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,56		36	1,35	33,5	100
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,43		36,4	1,43	33,8	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,46		36,1	1,63	33,6	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,33		35,8	1,54	33,9	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,43		36,2	1,41	33,7	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,54		36,1	1,51	33,8	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,29		36	1,5	33,8	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,50	0	36	1,3	33,7	100
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,60	0,01	36,2	1,37	33,7	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,09		36,2	1,28	33,7	100
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,34		36,5	1,35	33,8	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	28,88	0,01	36,2	1,77	33,8	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	28,74		36,1	1,62	33,4	99,9
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,34		36,3	1,33	33,8	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	28,95	0,03	36,2	1,35	34	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	28,88		36,3	1,36	33,8	100
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,40		35,9	1,59	33,8	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,28		36	1,41	33,9	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,34	0,02	35,8	1,61	33,6	100
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,41		35,9	1,49	33,7	100
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,29		36	1,43	33,8	100
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,29		35,9	1,68	33,8	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,19		36,2	1,48	33,8	101
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,29		36,2	1,46	33,4	100
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,12		36,2	1,27	33,6	100
PT-107-1652	Гп	Fe-пентландит	29,15		36,2	1,36	33,8	100
PT-107-1656,4	Гп	Fe-пентландит	34,95	0,06	30,8	0,99	34	101
PT-107-1656,4	Гп	Fe-пентландит	34,89	0,04	30,8	1,07	33,7	101
PT-107-1656,4	Гп	Fe-пентландит	35,27	0,02	30,7	1,03	33,3	100
PT-107-1656,4	Гп	Fe-пентландит	33,41	12	18,6	0,55	34,4	98,9
PT-107-1656,4	Гп	Fe-пентландит	34,95	0,27	30,5	1,02	33,9	101
PT-107-1656,4	Гп	Fe-пентландит	34,83	0,3	30,3	1,02	33,8	100
PT-107-1656,4	Гп	Fe-пентландит	34,94	0,12	30,4	0,99	33,6	100
PT-107-1656,4	Гп	Fe-пентландит	34,98	0,09	30,7	1,04	34	101
PT-107-1656,4	Гп	Fe-пентландит	35,52	0,1	30,7	1,13	33,9	101
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,85		30,1	0,52	33,9	100
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,02		30,9	0,8	34	101
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,68	0,02	30,5	0,6	33,9	101
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,07		30,8	0,76	33,7	100
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,19		30,7	0,84	33,8	101
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,24		30,6	0,64	34	101
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,14	0,01	30,8	0,76	33,9	101
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,93	0,01	29,9	0,68	33,9	100

Продолжение таблицы Б.2

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	Co	S	Сумма
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,23	0,04	30,4	0,97	33,9	101
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,09		30,5	0,81	34	100
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,00	0,02	30,6	0,8	34	100
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	34,93		31,2	0,87	33,7	101
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	34,87		30,7	0,69	34,1	100
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,19	0,01	30,9	0,7	33,8	101
PT-107-1657,2	Гп	Fe-пентландит	35,71	0,01	30,4	0,67	33,7	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	40,97	0,27	24,5	0,54	33,8	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,12	0,27	24,5	0,52	33,9	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	40,81	0,15	24,5	1,02	33,8	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	40,98	0,19	24,5	1,01	33,7	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,25	0,26	23,9	0,93	33,9	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,68	0,91	22,7	0,68	34,2	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,38	0,29	24,3	0,5	34,1	101
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,61	1,06	23,6	0,37	33,9	101
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	43,24	6,96	16,2	0,08	33,7	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	40,66	0,75	24,6	0,69	33,8	101
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,69	0,8	23,4	0,65	34	101
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	42,02	0,76	23,2	0,74	33,7	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,72	0,68	23,5	0,82	34,1	101
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,40	0,21	24,1	0,79	34	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,21	0,2	23,8	1,03	33,9	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,29	0,26	24,2	0,5	33,7	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,25	0,26	24,4	0,69	34,1	101
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	40,32	0,1	24,5	1,33	34,2	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,72	0,44	23,8	0,61	33,9	100
PT-107-1665,4	Гп	Fe-пентландит	41,12	0,29	23,8	1,2	34,1	100
PT-107-1673 ,6	Гп	Fe-пентландит	36,58	0,03	28,5	1,01	33,8	99,9
PT-107-1673 ,6	Гп	Fe-пентландит	34,96	7,8	21,8	0,69	34,2	99,5
PT-107-1673 ,6	Гп	Fe-пентландит	35,93	1,99	27,1	0,97	34	99,9
PT-107-1673 ,6	Гп	Fe-пентландит	34,75	9,17	20,8	0,67	34,4	99,8
PT-107-1673 ,6	Гп	Fe-пентландит	36,59	0,34	28,8	1,02	33,9	101
PT-107-1673 ,6	Гп	Fe-пентландит	35,90	2,74	26,7	0,92	33,5	99,7
PT-107-1673 ,6	Гп	Fe-пентландит	35,91	5,56	23,3	0,69	34,5	100
PT-107-1673 ,6	Гп	Fe-пентландит	37,42	3,75	23,6	0,71	34,6	100
PT-107-1673 ,6	Гп	Fe-пентландит	36,18	0,73	28,2	0,95	33,9	100
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,75		32,3	1,22	33,3	99,6
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,60		32,2	1,27	33,3	99,4
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,78		32,3	1,24	33,1	99,4
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,86		32,3	1,21	33,3	99,6
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,87		32,1	1,24	33,2	99,5
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,65		31,7	1,24	33,3	98,8
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,74		32,2	1,27	33,2	99,4
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,72		32,2	1,27	33,1	99,3
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,75		32,4	1,26	33	99,5
PT-107-1677 ,9	Гт	Fe-пентландит	32,85		32,3	1,24	33,3	99,7
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	39,78	1,17	25,4	0,01	33,2	99,6

Продолжение таблицы Б.2

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	Co	S	Сумма
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	40,14	0,97	25	0,01	33,1	99,3
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	39,58	1,32	25,2	0	33,2	99,3
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	39,72	1,24	25,3	0,02	33,2	99,5
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	39,65	1,26	24,9	0,01	33,3	99,1
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	39,76	1,25	25,1	0,02	33,1	99,3
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	40,19	1,3	24,7	0,03	33	99,2
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	40,25	1,4	24,7	0,02	33,2	99,5
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	39,65	1,11	24,6	0,02	33,2	98,7
PT-101-1709 ,2	М	Fe-пентландит	40,12	1,44	24,7	0	33,1	99,4
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,69	0,71	30,7	1,32	33,1	99,5
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,88	0,55	30,8	1,26	33	99,5
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,57	0,58	30,8	1,45	33,1	99,5
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,63	0,8	30,7	1,35	33,1	99,6
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,53	0,67	30,8	1,38	33	99,4
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,39	0,89	30,6	1,35	32,6	98,8
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,51	0,96	30,5	1,27	33,1	99,3
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,66	0,64	30,7	1,29	32,8	99,1
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,59	0,67	30,4	1,25	32,9	98,8
PT-101-1715 ,9	М	Fe-пентландит	33,50	0,65	30,5	1,29	33	98,9
PT-30-1501,2	Гп	Fe-пентландит	41,03	0,21	24,5	0,88	33,8	100
PT-30-1501,2	Гп	Fe-пентландит	41,06	0,12	24,8	0,76	33,9	101
PT-30-1501,2	Гп	Fe-пентландит	38,41	0	27,4	0,7	33,8	100
PT-30-1501,2	Гп	Fe-пентландит	41,43	0,22	24,4	0,91	33,9	101
PT-30-1501,2	Гп	Fe-пентландит	41,46	1,12	23,5	0,88	33,8	101
PT-30-1501,2	Гп	Fe-пентландит	40,74	0,1	24,8	1,23	33,8	101
PT-30-1501,2	Гп	Fe-пентландит	45,03	2,17	18,8	0,95	34,5	101
PT-30-1501,2	Гп	Fe-пентландит	39,58	0,03	26,4	0,7	34	101
PT-30-1516	Гп	Fe-пентландит	33,46		32,1	1,34	33,9	101
PT-30-1516	Гп	Fe-пентландит	33,73		32,5	0,81	33,2	100
PT-30-1516	Гп	Fe-пентландит	34,17		32,1	0,74	34	101
PT-30-1516	Гп	Fe-пентландит	33,31		32,6	1,26	33,6	101
PT-30-1516	Гп	Fe-пентландит	34,16	0,02	31,8	0,79	33,9	101
PT-30-1516	Гп	Fe-пентландит	33,46		32,7	0,88	33,8	101
PT-30-1516	Гп	Fe-пентландит	33,43		32,6	0,88	33,9	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	33,59	0,02	32,6	0,85	33,9	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	33,75		32,6	0,8	34,1	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	33,65		32,5	0,86	34,2	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	33,71	0	32,3	0,96	34	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	33,67	0	32,5	0,94	34	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	29,51	0,12	36,4	1,36	33,9	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	29,54	0,1	36,3	1,34	33,9	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	29,60	0,24	36	1,35	34,1	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	29,47	0,56	35,8	1,31	34,1	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	29,45	0,08	36,1	1,41	34,2	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	29,50	0,24	36,2	1,4	34	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	29,49	0,08	36,2	1,52	34	101
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	29,57	0,05	36,2	1,47	34,2	102

Продолжение таблицы Б.2

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	Co	S	Сумма
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	29,65	0,1	36,3	1,43	34	102
PT-30-1517	Гп	Fe-пентландит	31,38	0,09	34,3	1,32	34,5	102
PT-30-1523	Гп	Fe-пентландит	30,86		34,3	1,71	33,5	100
PT-30-1523	Гп	Fe-пентландит	29,96	0,02	34,2	1,76	33,9	99,9
PT-30-1545 ,7	Гт	Fe-пентландит	29,07		34	1,64	33,3	98
PT-30-1545 ,7	Гт	Fe-пентландит	28,86		33,8	1,66	33,2	97,6
PT-30-1545 ,7	Гт	Fe-пентландит	28,84		33,8	1,6	33,3	97,5
PT-30-1545 ,7	Гт	Fe-пентландит	28,76	0,01	33,8	1,64	33,3	97,6
PT-30-1545 ,7	Гт	Fe-пентландит	28,71		33,6	1,64	33,3	97,2
PT-30-1545 ,7	Гт	Fe-пентландит	28,65	0,01	33,6	1,64	33,2	97,1
PT-30-1545 ,7	Гт	Fe-пентландит	28,56		33,5	1,64	33,3	97,1
PT-30-1545 ,7	Гт	Fe-пентландит	28,36		33,4	1,53	33,1	96,5
PT-30-1545 ,7	Гт	Fe-пентландит	28,51	0,01	33,4	1,55	33,1	96,6
PT-30-1550	Гт	Ni-пентландит	29,43		36,3		34	99,7
PT-30-1550	Гт	Ni-пентландит	29,37		35,9		33,9	99,2
PT-30-1550	Гт	Ni-пентландит	29,26		36,4		34,3	100
PT-30-1559,3	М	Ni-пентландит	29,1		34,3		34,4	97,8
PT-30-1559,3	М	Ni-пентландит	29,5		33,8		33,7	97
PT-30-1559,3	М	Ni-пентландит	29,1		34,2		33,7	97
PT-30-1560,8	М	Ni-пентландит	29,9		35		34,6	99,5
PT-30-1560,8	М	Ni-пентландит	29,4		35,2		34	98,5
PT-30-1560,8	М	Ni-пентландит	29,5		33,8	1,84	33,2	98,4
PT-30-1560,8	М	Ni-пентландит	29,7	1,35	32,7		33,4	97,1
PT-30-1566	М	Ni-пентландит	30,4		35,3		34,3	100
PT-30-1566	М	Ni-пентландит	30,6		34,9		34,5	100
PT-30-1566	М	Fe-пентландит	33,9		31,3		34,8	100
PT-30-1566	М	Ni-пентландит	30,3		34,9		33,9	99
PT-30-1566,6	М	Fe-пентландит	32,2		33,8		34	100
PT-30-1566,6	М	Fe-пентландит	31,5	0,92	32,8		34,7	100
PT-30-1569	М	Fe-пентландит	32,6		33,5		33,9	100
PT-30-1569	М	Fe-пентландит	32,9		33,2		33,9	100
PT-30-1569	М	Fe-пентландит	32,7		33,6		33,7	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,4		31,5		34,1	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,3		31,8		33,8	100
PT-30-1575	М	Ni-пентландит	30,6		34,1		35,2	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	35,2		30,8		34	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,3		31,8		33,9	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,8		31,3		33,9	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,8		31,3		33,9	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,7		31,5		33,8	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,3		31,8		34	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,6	1,16	30		34,3	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,5		31,6		33,9	100
PT-30-1575	М	Fe-пентландит	34,2		31,7		34,1	100
PT-7-1503,8	М	Ni-пентландит	29,6		34,2	2,59	33,6	100
PT-7-1503,8	М	Ni-пентландит	28,7		34,8	2,77	33,7	100

Таблица Б.3. Состав пирротина (мас.%).

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	Co	S	Сумма
Северная ветвь								
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,53	0,00	0,10	0,00	39,16	99,80
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,28		0,11	0,00	39,24	99,64
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,52	0,01	0,10		39,15	99,78
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,10		0,10		39,29	99,49
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,48	0,02	0,11	0,00	39,10	99,71
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,21		0,09		39,32	99,62
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,35	0,01	0,08		39,52	99,95
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,29	0,01	0,09	0,02	39,69	100,10
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,04	0,01	0,12		39,48	99,65
РТ-107-1656,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,23	0,01	0,11		39,30	99,66
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,45	0,01	0,01		37,52	99,99
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,48	0,04	0,03		37,41	99,96
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,35	0,02			37,43	99,81
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,32		0,01		37,42	99,75
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,44	0,01	0,01	0,01	37,50	99,97
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,38			0,01	37,54	99,94
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,11	0,00	0,01	0,02	37,54	99,68
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,19	0,03		0,00	37,65	99,87
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,24	0,00	0,01		37,27	99,52
РТ-107-1656,4	Гп	Троилит	62,19	0,01	0,00	0,01	37,24	99,45
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,69		0,10		39,16	99,95
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,44	0,03	0,13		39,15	99,75
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,72	0,01	0,13		39,04	99,89
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	62,51	0,01	0,02		37,21	99,75
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,83		0,11		39,23	100,17
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,65		0,09		39,38	100,11
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,79		0,09		38,77	99,65
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,80		0,11		39,26	100,16
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,74	0,00	0,11		39,23	100,08
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,96	0,02	0,11		39,14	100,22
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,98	0,01	0,13		39,26	100,39
1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,50	0,01	0,09		39,07	99,67
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,51	0,01	0,12		38,66	99,31
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	62,19		0,02		37,53	99,74
РТ-107-1657,2	Гп	Гексагональный пирротин	60,65	0,00	0,09		38,87	99,61
РТ-107-1665,4	Гп	Гексагональный пирротин	60,67	0,02	0,12		39,55	100,36
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,47	0,03	0,03	0,01	37,61	100,14
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,57	0,03	0,03		37,27	99,90
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,21	0,04	0,02	0,02	37,60	99,90
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,46	0,01	0,01		37,47	99,95
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,56	0,01	0,03		37,27	99,87
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,36		0,02		37,54	99,91
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,43	0,02	0,04		37,49	99,98
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,51	0,03	0,01	0,00	37,41	99,96
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,46	0,03	0,01		37,47	99,96
РТ-107-1673,6	Гп	Троилит	62,35	0,01	0,01	0,01	37,40	99,78
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,75	0,01	0,57		39,01	99,33
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,92	0,02	0,60		38,85	99,39
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,84	0,02	0,59		39,07	99,52
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,70	0,01	0,60		39,11	99,42

Продолжение таблицы Б.3

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	Co	S	Сумма
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,49	0,02	0,59		38,91	99,01
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,65		0,55		39,02	99,21
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,60		0,61		38,86	99,07
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,88	0,02	0,60		39,19	99,69
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,96		0,62		39,12	99,69
РТ-107-1679,3	Гт	Гексагональный пирротин	60,10		0,59		38,98	99,67
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,57	0,17	0,47		38,98	99,19
РТ-107-1679,3	Гт	Моноклинный пирротин	59,70	0,02	0,44		39,05	99,20
Южная ветвь								
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,78		0,03		37,47	100,28
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,91				37,06	99,97
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,93	0,02	0,00		36,97	99,93
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,72	0,03	0,00		37,03	99,79
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,25	0,00	0,01		37,21	99,47
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,55	0,05	0,00		37,09	99,69
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,75	0,00	0,00		36,95	99,71
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	57,58	6,00	0,03		36,67	100,28
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,44				37,27	99,71
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,88	0,00	0,01		37,11	100,00
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,90	0,01	0,02		37,20	100,12
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,69				37,02	99,70
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,89				37,17	100,05
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,84	0,02			37,24	100,09
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,64	0,01	0,01		37,03	99,70
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,66	0,02			37,35	100,03
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,70		0,00		37,43	100,13
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,77				37,22	99,99
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,59	0,02			36,96	99,57
РТ-30-1501,2	Гп	Троилит	62,56	0,00	0,03		37,10	99,69
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,38	0,00	0,17		39,25	99,80
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,61		0,15		38,89	99,65
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,36	0,02	0,20		39,04	99,61
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,72	0,01	0,14		39,11	99,97
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	61,18	0,02	0,07		38,75	100,03
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,26	0,02	0,24		39,38	99,90
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,35	0,02	0,17		39,05	99,59
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	61,07	0,04	0,11		38,94	100,15
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,57		0,18		39,08	99,82
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,71	0,01	0,12		39,10	99,94
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,38	0,02	0,23		39,13	99,76
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,48	0,02	0,17		39,35	100,02
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,59		0,14		39,28	100,00
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,52	0,01	0,22		38,89	99,64
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,33	0,01	0,12		39,18	99,64
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,65		0,15		39,13	99,93
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,45	0,03	0,13		39,56	100,16
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,57	0,01	0,12		39,19	99,90
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,60		0,12		39,18	99,90
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,59	0,00	0,09		38,97	99,65
РТ-30-1516	Гп	Гексагональный пирротин	60,66	0,00	0,10		39,15	99,91
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,49	0,03	0,22	0,00	39,86	100,60
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,30	0,03	0,22	0,02	40,17	100,75

Продолжение таблицы Б.3

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	Co	S	Сумма
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,44	0,05	0,22	0,01	39,83	100,55
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,45	0,08	0,22	0,01	40,12	100,87
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,45	0,05	0,21		39,81	100,52
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,51	0,05	0,20		40,05	100,81
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,49	0,10	0,21	0,03	39,98	100,81
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,42	0,04	0,21	0,01	39,83	100,51
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,46	0,13	0,21	0,00	39,92	100,72
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,55	0,06	0,18	0,01	40,19	100,99
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,53	0,01	0,30		39,92	100,76
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,37	0,00	0,30	0,01	39,68	100,36
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,43	0,01	0,30		39,70	100,44
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,24		0,31	0,01	40,02	100,58
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,31	0,02	0,31		40,11	100,75
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,51	0,00	0,33	0,00	39,94	100,79
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,17		0,32	0,01	40,18	100,68
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,23	0,00	0,33	0,00	39,97	100,54
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,22		0,32	0,00	39,84	100,38
РТ-30-1517	Гп	Гексагональный пирротин	60,24	0,00	0,33		39,65	100,22
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	59,95		0,46		39,60	100,01
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,16	0,03	0,43		39,47	100,08
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,17	0,02	0,42		39,54	100,14
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,02	0,03	0,40		39,65	100,10
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	59,98	0,01	0,45		39,48	99,92
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,15	0,01	0,49		39,49	100,13
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	59,95		0,48		39,39	99,83
РТ-30-1523	Гп	Моноклинный пирротин	59,76	0,16	0,44		39,63	99,98
РТ-30-1523	Гп	Моноклинный пирротин	59,72	0,13	0,47		39,47	99,79
РТ-30-1523	Гп	Моноклинный пирротин	59,66		0,47		39,48	99,61
РТ-30-1523	Гп	Моноклинный пирротин	59,92	0,00	0,46		39,58	99,95
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,01		0,48		39,42	99,92
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,26	0,02	0,47		39,22	99,97
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,13		0,42		39,51	100,06
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	59,96	0,03	0,41		39,61	100,01
РТ-30-1523	Гп	Моноклинный пирротин	59,69	0,01	0,48		39,83	100,01
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	59,95	0,05	0,42		39,57	99,99
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,11		0,44		39,60	100,16
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	59,64		0,49		39,13	99,27
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,20	0,02	0,47		39,21	99,91
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,16	0,00	0,45		39,37	99,98
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	59,49	0,00	0,38		39,45	99,32
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,03		0,48		39,45	99,97
РТ-30-1523	Гп	Гексагональный пирротин	60,09		0,45		39,42	99,96
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,82	0,01	0,77	0,01	38,81	99,43
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,79	0,01	0,76	0,00	38,75	99,31
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,77	0,02	0,44	0,02	39,06	99,32
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,64	0,01	0,79	0,01	38,81	99,26
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,83		0,72	0,02	38,60	99,18
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,82	0,01	0,74		38,54	99,11
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,63	0,00	0,71	0,02	38,50	98,87
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,37		0,51	0,00	38,98	98,86
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,42		0,77		38,62	98,81
РТ-30-1545,7	Гт	Моноклинный пирротин	59,61		0,72	0,01	38,37	98,72

Продолжение таблицы Б.3

Образец	Порода	Минерал	Fe	Cu	Ni	Co	S	Сумма
РТ-30-1550	ГТ	Моноклинный пирротин	59,07		0,47		39,64	99,18
РТ-30-1550	ГТ	Моноклинный пирротин	59,42		1,07		40,04	100,53
РТ-30-1559,3	М	Моноклинный пирротин	57,76	0,49	0,46		39,00	97,71
РТ-30-1560,8	М	Моноклинный пирротин	58,62		0,62		39,16	98,4
РТ-30-1560,8	М	Моноклинный пирротин	59,84		0,65		39,51	100
РТ-30-1560,8	М	Моноклинный пирротин	58,61		0,52		39,64	98,77
РТ-30-1560,8	М	Моноклинный пирротин	58,50		0,67		39,00	98,17
РТ-30-1566	М	Моноклинный пирротин	59,34		0,92		39,74	100
РТ-30-1566	М	Моноклинный пирротин	60,04		0,46	0,01	39,50	100,01
РТ-30-1566,6	М	Гексагональный пирротин	61,01		0,46		38,52	99,99
РТ-30-1569	М	Гексагональный пирротин	60,93		0,28		38,78	99,99
РТ-30-1575	М	Троилит	63,27				36,73	100
РТ-30-1575	М	Гексагональный пирротин	61,24				38,76	100
РТ-30-1575	М	Троилит	63,22				36,78	100
РТ-30-1575	М	Троилит	63,33				36,67	100
РТ-30-1575	М	Гексагональный пирротин	61,56				38,44	100
РТ-30-1575	М	Гексагональный пирротин	60,82	1,03			38,15	100
РТ-30-1575	М	Троилит	62,60				37,40	100
РТ-30-1575	М	Троилит	63,25				36,75	100
РТ-30-1503,8	М	Моноклинный пирротин	59,81		0,58		39,61	100
РТ-30-1503,8	М	Моноклинный пирротин	59,28	0,56	0,49		39,67	100
РТ-30-1503,8	М	Моноклинный пирротин	59,45		0,80		39,75	100
РТ-30-1510	М	Гексагональный пирротин	60,84		0,38		38,78	100
РТ-30-1510	М	Гексагональный пирротин	60,46		0,48		39,06	100
РТ-30-1510	М	Гексагональный пирротин	59,48	0,52	0,65		39,35	100
РТ-30-1512	М	Гексагональный пирротин	60,91		0,50		38,89	100,3
РТ-30-1512	М	Гексагональный пирротин	60,84				39,16	100
РТ-30-1512	М	Гексагональный пирротин	60,82		0,54		38,65	100,01
РТ-30-1512	М	Гексагональный пирротин	60,83		0,44		38,73	100
РТ-30-1512	М	Гексагональный пирротин	61,15				38,85	100

Таблица Б.4. Состав кубанита (мас.%).

Образец	Порода	Fe	Cu	Ni	S	Co	Сумма
Северная ветвь							
PT-107-1673,6	Гп	40,9	22,8	0,05	36,2	0	100
PT-107-1673,6	Гп	40,7	22,3	0,05	36,2		99,3
PT-107-1673,6	Гп	40,9	22,8	0,04	36	0	99,8
PT-107-1673,6	Гп	40,9	22,9	0,04	36,2		100
PT-107-1673,6	Гп	40,9	22,4	0,05	36,3		99,5
PT-107-1673,6	Гп	41	22,9	0,04	36,3	0	100
PT-107-1673,6	Гп	40,8	22,4	0,04	36,3	0,01	99,5
PT-107-1673,6	Гп	40,9	22,7	0,04	36,1	0	99,8
PT-107-1673,6	Гп	40,8	22,6	0,03	36,2	0,02	99,6
PT-107-1673,6	Гп	40,7	22,6	0,04	36,2		99,5
PT-107-1673,6	Гп	38,9	21,4	0,04	33,6	0,02	93,9
PT-107-1673,6	Гп	40,7	22,8	0,04	35,8	0,01	99,3
PT-107-1673,6	Гп	40,7	22,7	0,04	36	0,02	99,4
PT-107-1673,6	Гп	36,4	27,8	0,03	35,6	0,02	99,8
PT-101-1709,2	М	40,3	23,7	0,04	35,2		99,2
PT-101-1709,2	М	40,4	23,6	0,02	35,2		99,1
PT-101-1709,2	М	40,5	23,5	0,02	35,1		99,1
PT-101-1709,2	М	40,4	23,6	0,04	35,3		99,3
PT-101-1709,2	М	40,3	23,6	0,21	34,9		99
PT-101-1709,2	М	40,2	23,6	0,01	35,1		99
PT-101-1709,2	М	40,3	23,7	0,05	35,1		99,2
PT-101-1709,2	М	40,5	22	1,81	34,8		99,1
PT-101-1709,2	М	40,3	23,8	0	35,1		99,2
PT-101-1709,2	М	40,4	23,6	0,03	35,2		99,2
Южная ветвь							
PT-30-1508	Гп	40,4	21,8		37,8		100
PT-30-1511	Гп	41,9	23		36,1		101
PT-30-1511	Гп	41,6	22,8		36		100
PT-30-1575	М	41,2	23,4		35,4		100
PT-30-1575	М	41,5	22,9		35,7		100
PT-30-1575	М	41	23,3		35,7		100
PT-30-1575	М	41,1	23,5		35,4		100
PT-30-1508	Гп	40,4	21,8		37,8		100
PT-30-1511	Гп	41,9	23		36,1		101

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Химический состав изученных сульфидных руд

Таблица В.1. Состав вкрапленных и массивных руд, пересчитанный на 100% сульфид.

Образец	Порода	Ni	Co	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Ag	Cu
Северная ветвь												
PT-107-1619,8	ГТ	186,37	5,02	-	50,18	142,29	486,36	2703,81	6563,85	196,41	н.а.	9,60
PT-107-1657,2	ГП	6,66	0,21	-	0,09	0,22	0,75	5,49	18,42	0,95	30,53	28,14
PT-107-1658,3	ГП	6,79	4,90	1,49	0,12	0,32	1,03	7,21	27,43	1,49	20,89	13,92
PT-107-1659,1	ГП	6,50	0,24	0,08	0,17	0,42	1,48	12,25	42,35	2,35	32,66	19,75
PT-107-1662	ГП	5,94	3,66	0,04	0,06	0,16	0,54	8,68	26,61	1,54	17,24	17,54
PT-107-1665,4	ГП	7,59	0,25	-	0,08	0,21	0,75	37,32	110,02	7,41	183,30	36,86
PT-107-1667	ГП	12,23	5,21	-	-	0,15	0,54	25,81	75,65	4,79	123,10	15,71
PT-107-1668,6	ГП	8,36	0,34	-	0,14	0,37	1,34	10,64	37,46	2,04	25,02	9,76
PT-107-1670,5	ГП	9,11	0,38	-	-	0,31	1,00	8,45	29,30	1,66	119,64	14,41
PT-107-1673,6	ГП	4,57	0,40	-	-	0,24	0,85	5,35	25,10	1,33	н.а.	5,91
PT-107-1675,2	ГП	6,45	0,45	-	0,23	0,30	1,05	7,86	36,45	2,03	36,50	8,83
PT-107-1675,3	ГП	5,20	0,29	-	-	0,19	0,66	4,91	22,77	1,27	н.а.	9,45
PT-107-1677,9	ГП	10,98	9,62	-	-	0,21	0,66	4,37	19,96	1,17	42,12	13,40
PT-101-1668,9	ГП	9,50	0,35	-	0,17	0,41	1,53	13,49	50,42	2,66	85,05	23,92
PT-101-1683,4	ГП	7,78	0,39	-	0,25	0,18	0,48	3,61	14,47	0,71	22,65	10,78
PT-107-1679,5	ГТ	6,21	0,15	-	-	0,23	0,80	5,62	26,50	1,45	9,05	10,76
PT-107-1698,2	ГТ	1,08	0,14	-	-	-	0,49	5,82	22,76	1,45	н.а.	2,95
PT-107-1699,9	ГТ	34,03	0,16	-	-	-	1,27	13,34	60,73	3,53	1,30	13,42
PT-101-1699	ГТ	9,84	0,32	-	0,10	0,13	0,43	5,84	27,94	1,47	46,30	39,57
PT-101-1704,4	ГТ	11,48	0,46	-	0,10	0,20	0,83	54,50	105,78	6,78	169,45	38,54
PT-107/1701,9	Руда	3,98	0,08	-	-	0,02	0,05	6,87	45,13	4,50	26,58	406,06
PT-107/1703,5	Руда	4,48	0,09	-	-	0,01	0,07	6,86	47,57	4,26	27,44	454,79
PT-101 1709,2	Руда	4,53	0,11	0,01	0,01	0,01	0,04	12,44	50,46	4,10	68,36	429,68

Продолжение таблицы В.1

Образец	Порода	Ni	Co	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Ag	Cu
PT-101 1709,8	Руда	4,28	0,08	0,01	0,01	0,01	0,05	10,28	53,89	6,23	77,44	431,46
PT-101 1710,7	Руда	4,06	0,08	0,01	0,01	0,01	0,06	13,57	57,62	5,22	72,95	425,99
PT-101 1712	Руда	4,28	0,09	0,11	0,01	0,01	0,07	10,86	49,52	3,48	63,93	418,02
RT-101-1712,9	Руда	4,36	0,09	-	0,01	0,01	0,06	7,55	42,41	3,74	64,08	415,51
RT-101-1713,6	Руда	4,03	0,09	-	0,01	0,01	0,04	7,38	35,40	2,50	126,94	415,21
RT-101-1714,3	Руда	4,80	0,10	0,01	0,01	0,01	0,05	9,17	41,58	2,32	64,44	410,04
RT-101-1715,1	Руда	6,65	0,14	0,11	0,01	0,03	0,34	5,79	43,25	1,52	41,09	413,88
PT-101 1715,9	Руда	3,87	0,11	-	0,01	0,03	0,23	4,98	39,44	1,43	н.а.	469,26
PT-106 1695,7	Руда	1,81	0,11	-	-	0,55	0,13	10,03	34,41	5,38	57,99	460,10
PT-106 1696,5	Руда	3,08	0,09	-	-	0,72	0,08	7,90	31,36	0,12	36,96	413,00
Южная ветвь												
PT-30-1496	Гп	15,02	1,09		-	1,55	3,42	18,95	68,43	3,18	38,60	2,58
PT-30-1498,5	Гп	9,55	0,48	-	-	0,76	1,82	11,15	45,37	2,09	29,13	7,15
PT-30-1501,2	Гп	11,81	0,46	-	0,20	0,69	5,87	32,39	115,61	20,04	40,26	11,71
PT-30-1505	Гп	10,00	0,80	-	0,14	0,50	1,55	11,95	43,15	2,52	40,39	15,04
PT-30 1509	Гп	9,44	0,34	0,09	0,16	0,40	1,43	9,26	37,32	1,85	36,58	23,48
PT-30-1510,5	Гп	20,71	0,15	-	0,18	0,40	1,58	9,23	36,13	1,73	58,68	20,87
PT-30-1513,1	Гп	3,71	0,21	0,09	0,15	0,40	1,53	9,01	35,31	1,83	35,58	14,47
PT-30-1516	Гп	1,22	0,08	-	0,08	0,11	0,64	4,01	12,88	6,71	4,74	4,55
PT-30 1517	Гп	6,93	0,37	0,15	0,15	0,34	1,22	7,70	32,72	1,59	46,08	10,93
PT-30-1523	Гп	5,32	0,35	-	0,16	0,30	4,80	23,46	76,41	21,15	33,39	10,37
PT-30-1529	Гп	10,26	4,95	0,11	0,11	0,20	0,71	4,69	22,29	1,16	35,91	19,33
PT-30 1532,2	Гп	5,18	0,29	0,11	0,11	0,23	0,89	6,08	26,79	1,39	32,89	12,26
PT-30-1533,2	Гп	11,93	9,23	0,16	0,16	0,21	0,70	4,56	22,62	1,07	42,75	15,75
PT-7-1473,8	Гп	7,00	0,32	0,11	0,17	0,39	1,39	8,73	30,38	1,24	31,18	21,12
PT-7-1476	Гп	12,56	0,34	0,09	0,18	0,45	1,55	8,13	27,94	1,16	33,47	25,99
PT-7-1480	Гп	13,08	0,75	0,52	1,53	1,53	5,68	42,27	153,62	6,77	190,28	11,66
PT-7-1486	Гт	17,60	0,56	0,15	0,13	0,33	1,26	10,89	39,67	1,67	54,79	32,19
PT-7-1492	Гт	10,45	0,42	0,10	0,06	0,15	0,54	4,32	18,62	0,75	21,79	32,63

Продолжение таблицы В.1

Образец	Порода	Ni	Co	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Ag	Cu
PT-30-1538	ГТ	6,61	6,05	0,07	0,07	0,15	0,66	7,53	28,87	1,98	33,62	12,65
PT-30 1540,5	ГТ	5,18	0,26	0,07	0,07	0,14	0,58	5,21	23,61	1,44	44,16	18,60
PT-30-1541	ГТ	4,01	0,61	0,09	0,09	0,11	1,11	9,71	49,64	7,40	3,56	8,61
PT-30 1545,7	ГТ	13,63	0,55	0,16	0,16	0,19	0,57	4,40	19,95	1,12	37,68	21,71
PT-30 1550	ГТ	5,07	0,17	0,07	0,15	0,45	1,24	4,77	20,24	0,80	27,02	22,00
PT-30-1554,5	ГТ	5,69	0,25	0,08	0,12	0,33	1,23	5,62	23,89	1,21	31,16	19,64
PT-30-1558,3	Руда	4,44	0,17	-	-	0,52	0,30	0,72	7,85	0,00	1,30	61,87
PT-30-1560,5	Руда	4,58	0,20	-	-	0,10	0,89	1,72	10,46	0,03	2,54	63,64
PT-30-1562,6	Руда	5,03	0,20	0,03	0,05	1,10	1,08	1,13	12,53	0,06	1,80	64,08
PT-30-1564	Руда	5,09	0,21	0,27	0,43	1,02	0,81	1,87	11,02	0,13	2,14	61,72
PT-30-1566,6	Руда	3,91	0,20	0,04	0,05	1,08	0,52	2,86	12,78	0,08	1,34	70,88
PT-30-1568,2	Руда	5,30	0,22	-	-	0,45	0,51	2,45	13,21	-	3,77	34,99
PT-30-1569,2	Руда	6,19	0,26	0,03	0,03	0,66	0,45	2,87	15,95	0,06	4,07	43,71
PT-30-1571	Руда	4,20	0,17	0,05	0,07	0,77	1,11	2,39	18,01	0,23	6,00	103,66
PT-30-1573	Руда	4,63	0,19	0,08	0,13	0,91	1,03	4,38	25,07	0,25	16,11	55,22
PT-30-1575	Руда	4,26	0,16	0,04	0,05	0,13	0,54	5,63	25,23	0,28	15,33	108,97
PT-7-1502,6	Руда	3,64	0,21	-	0,07	0,24	0,62	1,11	5,41	0,23	2,82	44,15
PT-7 -1503,8	Руда	4,09	0,22	-	0,15	0,55	1,17	0,78	4,39	0,16	3,57	48,87
PT-7-1505,1	Руда	3,73	0,21	-	0,03	0,07	0,45	0,89	4,68	0,14	4,26	39,42
PT-7-1507	Руда	3,35	0,19	-	-	0,03	0,27	1,12	5,82	0,18	4,54	46,81
PT-7-1510	Руда	3,10	0,27	-	-	0,03	0,24	1,47	8,82	0,31	6,18	60,69
PT-7 -1512	Руда	2,91	0,16	-	0,01	0,01	0,23	0,93	5,19	0,20	5,14	55,67
PT-7-1513,5	Руда	3,74	0,18	-	-	0,01	0,17	1,49	8,21	0,29	5,97	66,00

Примечание: н.а. – не анализировалось; прочерк – значение ниже предела обнаружения.