

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)
Институт Наук о Земле

ПЕРХУРОВА Виктория Алексеевна

Выпускная квалификационная работа

**МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ ПИРОКСЕНИТОВ
КОНДЕРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЛАТИНЫ (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

Магистерская диссертация

05.04.01 «Геология»

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель: к.г.-м.н., доц.,
АНТОНОВ Андрей Александрович

_____ 2019
«__» _____

Рецензент: к.г.-м.н., доц.,
СТАРИКОВА Елена Вячеславовна

Санкт-Петербург

2019

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
СПИСОК ПРИНЯТЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.....	6
2. МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБРАЗЦОВ	11
3. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ ПИРОКСЕНИТОВ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МАТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ	18
3.1. Главные минералы	18
3.2. Второстепенные минералы	25
3.3. Акцессорные минералы	34
3.4. Благороднометальная минерализация.....	44
4. МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ РУДНЫХ ПИРОКСЕНИТОВ.....	48
5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	58
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	59
ПРИЛОЖЕНИЯ	62

СПИСОК ПРИНЯТЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

Ab – альбит	Hscn – гидроксиканкринит
Aeg – эгирин	HdAp – гидроксилапатит
Anl – анальцим	Lmp – лампрофиллит
Arg – акантит	Mag - магнетит
Atg - антигорит	Marf – магнезиоарфедсонит
Bdy – бадделеит	Mlc – малахит
Bn – борнит	Msl - масловит
BrCe – бритоцит-Се	Ntr - натролит
Brch – брошантит	Nph – нефелин
Cbl – кобальтит	Pct – пектолит
Csp - халькопирит	Phl - флогопит
Cst - халькозин	Pn - пентландит
Chr – хромит	Po – пирротин
ChrMgh-хроммагнетит	Pу - пирит
CrI - карролит	Rct – рихтерит
Ctl - хризотил	Sap - сапонит
Di – диопсид	Sbl – соболевскит
Dpt – диоптаз	Srph - стронадельфит
En – энстатит	Str – стронцианит (?)
FeCa – феррикатафорит	Strs – строналсит
Fenub – ферринибеит	Thm-Ca – томсонит-Са
Flap - фторапатит	Thm-Sr – томонит -Sr
Fo – форстерит	Tro – троилит (?)
Fs – ферросилит	Ttn – титанит
Gn – геленит	Vrm – вермикулит

Примечание - список сокращений составлен с использованием литературных данных: Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95,185–187

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа посвящена изучению минерального состава рудных пироксенитов массива Кондер. Массив относится к расслоенным кольцевым интрузивам и имеет разнообразный минеральный состав. Повышенный интерес к Кондерскому массиву начался еще в 60-х годах, в то время начали проводить поисково-разведочные работы и тематические исследования. В существующих статьях и монографиях освещающие вопросы геологического строения, вещественного состава ультраосновных и основных пород ядра. Из-за связанной с ним богатых проявлений ферроплатины, заключенной в шлирах и прожилках хромита.

К настоящему моменту платиноносная россыпь реки Кондер существенно истощена. По-видимому, в связи с этим активизировались работы по изучению коренной платины месторождения. Следует отметить, что в конечном концентрате россыпной ферроплатины практически постоянно присутствуют частицы золота. Как показали исследования последних лет, источником золота являются рудные пироксениты, а точнее – некоторые их разновидности, содержащие обильную медно-сульфидную минерализацию. Также выяснилось, что эти породы обогащены палладием, платиной, серебром. Некоторые авторы высказывали идею о связи благороднометального оруденения с внедрением поздних щелочных интрузий [3].

Данная работа направлена на проверку этого тезиса путем детального минералогического изучения рудных пироксенитов и связанных с ними контактовых образований. Поэтому целью настоящей работы является детальное изучение и анализ химического и минерального состава рудных пироксенитов Кондерского массива, гидротермально-метасоматических образований, связанных с ними и продуктов их выветривания.

Для этого были поставлены следующие задачи:

- Дать минералого-петрографическую характеристику исследуемым породам
- Провести качественный и количественный анализ минерального состава
- Диагностировать и охарактеризовать минералы, выявить особенности их морфологии, структуры и химического состава, внутреннего строения при помощи оптико-микроскопических и электронно-микроскопических методов исследования.
- Описать пространственные взаимоотношения и особенности распределения платино-метальной и редко металльной минерализации в рудных пироксенитах
- Охарактеризовать минералы зоны окисления рудных пироксенитов

Фактический материал для лабораторных исследований, предоставлен моим научным руководителем Антоновым А. А. Часть образцов отобрана с поверхности в местах выхода пород, другая получена в результате кернового бурения.

Для выполнения поставленных задач были использованы следующие методы:

- Энерго-дисперсионный микроанализ - проводился в ресурсном центре СПбГУ «Геомодель», на аппаратном комплексе, состоящем из сканирующего электронного микроскопа Hitachi «S-3400N» с приставкой количественного энерго-дисперсионного микроанализа «EDX - AzTec Energy 350» и комплекса программ «INCA Energy» компании Oxford Instruments.
- Оптическая микроскопия - проводилась на кафедре минералогии СПбГУ на микроскопе Leica «DM2500M».
- Рентгенофазовый анализ - проводился в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» на аппарате Rigaku «MiniFlex II» с использованием программы «PDXL» и базы данных «PDF-2» на излучении Cu-K α .
- Рентгеноструктурный микроанализ - проводился в РЦ СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» на аппаратном комплексе Bruker «D8 Discover». Построение структур выполнялось в программе Diamond 3.1d.

1. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Кондерский массив находится на севере Хабаровского края в междуречье Омни и Маймакана. На юго-востоке Алданского щита в пределах Батомгского и Учурского выступов. Он приурочен к области пересечения зоны палеорифтогенеза с разломами субширотного простирания. Геоморфология Кондерского массива отчетливо отражает его геологического строение. Геофизические данные показывают, что наиболее вероятной формой массива до глубины 10 км. является концентрически-зональный шток с вертикальными контактами. В плане массив имеет форму почти правильно круга, окружен кольцевым хребтом, с диаметром основания – 15 км, а вершины – 8 км (рис 2). В северной части, где круг хребта размыкается, с внутренних склонов берет начало река Кондер. Внутри кольца она образует радиальную гидросеть из небольших ручьев, расчлняя массив на ряд коротких и узких хребтов (отрогов). Поперечный профиль кольцевого хребта на внешних склонах выпуклый, а на внутренних – вогнутый, из-за интрузивных образований неустойчивых к выветриванию (рис. 1) [2].

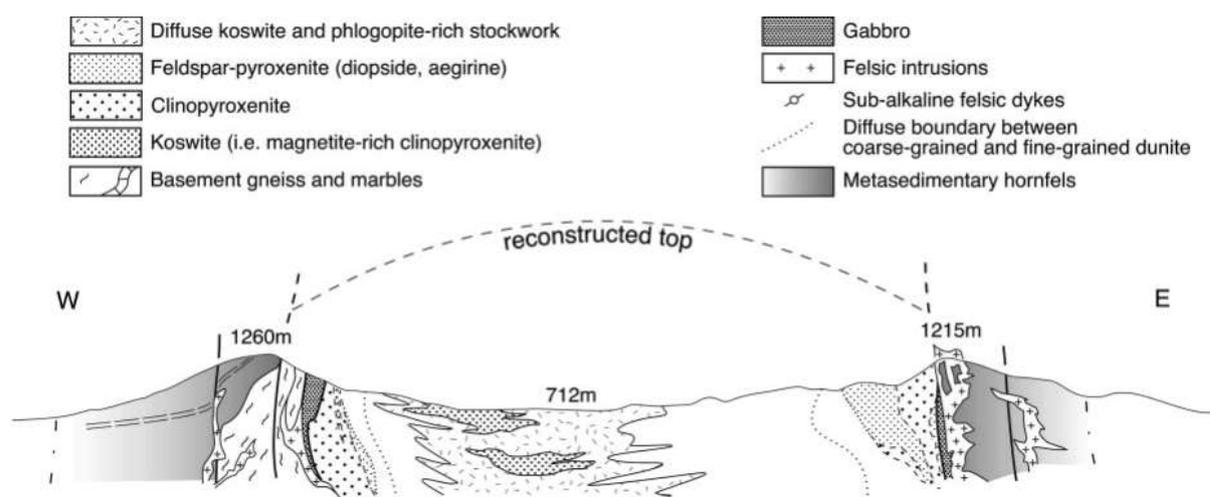


Рисунок 1 Схематический геологический разрез Кондерского массива. Вертикальный масштаб = горизонтальный масштаб [21]

Возрастные взаимоотношения пород являются предметом многолетних дискуссий. Различные методы, применяемые для определения возраста массива, такие как: прямые геологические наблюдения; радиоизотопное датирование (K-Ar, Sm-Nd,

Rb-Sr метод) для ультраосновных, основных и щелочных пород в целом, и для мономинеральных фракций из этих пород; палеомагнитные наблюдения, не дали единого ответа на данный вопрос. Поэтому в настоящее время существует две точки зрения относительно возраста пород массива. Согласно первой ультраосновные и щелочные породы, являются образованиями единого магматического цикла мезозойского возраста [4,12]. Согласно второй, породы массива разделены на два генетически самостоятельных комплекса - ультраосновные отнесены к раннепротерозойскому кондерскому комплексу, а субщелочные и щелочные образования - к раннемеловому алданскому [2].

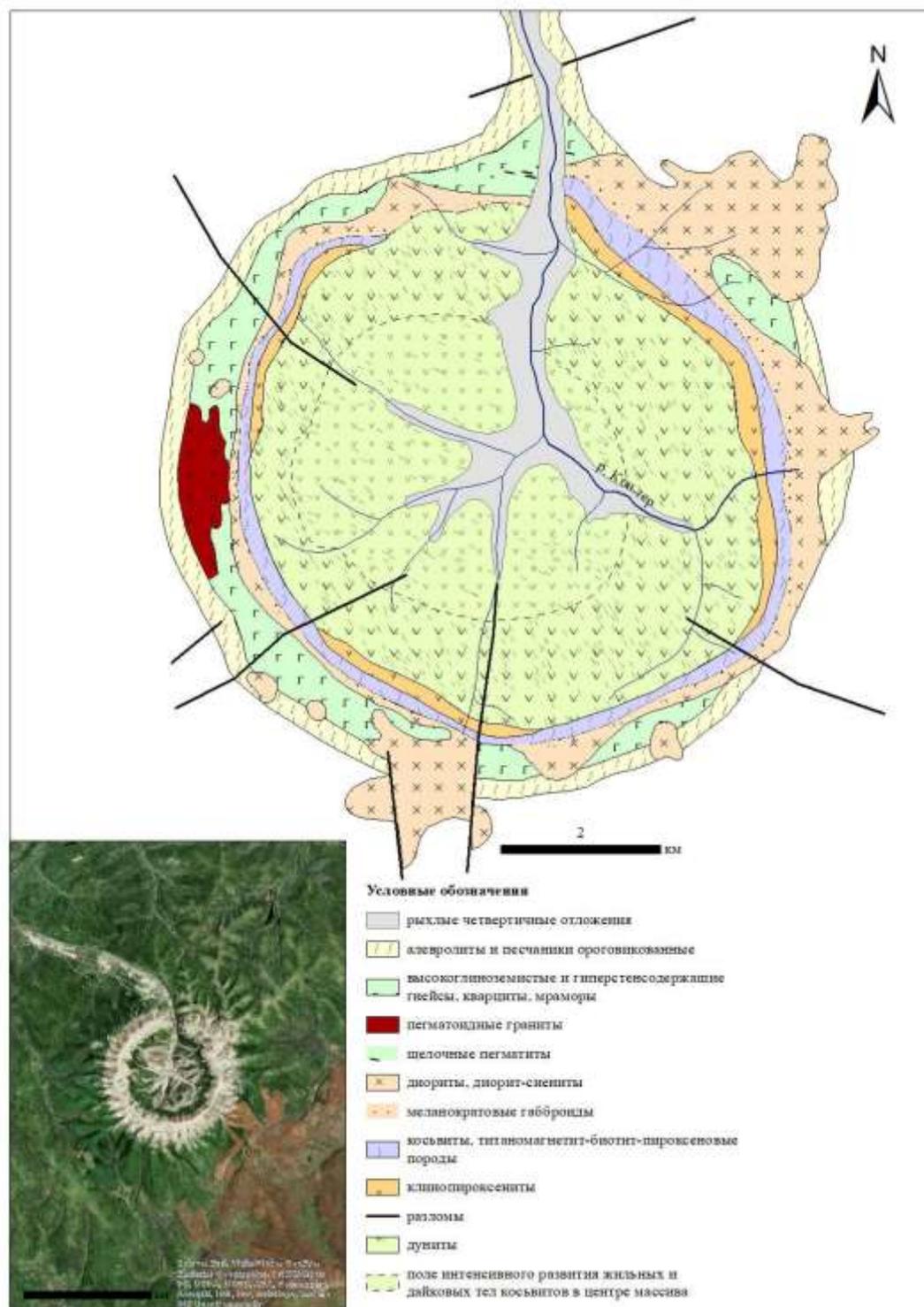


Рисунок 2 Схематичная геологическая карта строения Кондерского массива [7]

Кондерский комплекс сложен дунитами, дунит-пегматитами и клинопироксенитами. Дуниты и дунит-пегматиты слагают ядро массива (5,5 км диаметр). На большей части ядра обнажаются дуниты средне-мелкозернистые порфиоровидные, средне-мелкозернистые образуют кайму на его периферии, крупнозернистые вскрыты скважинами на глубинах 200 – 250 метров. Дунит-

пегматиты занимают площадь от нескольких до сотен квадратных метров, в виде тел неправильной формы и даек мощностью до 30 - 50 метров, протяженностью до 500 – 700 м. Наблюдаемые контакты с вмещающими дунитами, как правило, постепенные с шириной переходных зон от сантиметров до нескольких метров [2].

По периферии ядро окружают клинопироксениты шириной 100 – 750 м. Участки, имеющие нетектонический контакт между породами, содержат прожилки оливин-диопсидовых метасоматитов и рассеянную вкрапленность вторичных оливина и диопсида. Это может быть следствием внедрения дунитового расплава в клинопироксениты, сформировавшиеся одновременно с дунитами, но застывшими раньше дунитов из-за их нахождения на периферии интрузии [2]. По другой версии клинопироксениты являются продуктами переработки дунитов мезозойского возраста [18].

Алданский комплекс объединяет магматические породы трех серий: вулканогенной, монцонитоидной и щелочной, а также разнообразные контактовые и метасоматические образования, сформированные в результате внедрения интрузий. Вулканогенная серия в пределах Кондерского массива отсутствует и залегает на расстоянии до 8 км. среди песчаников и алевролитов.

Монцонитоидная серия объединяет породы двух фаз. Первая включает габбро и косьвиты, слагающие дуговые тала (протяженностью 6 км. и шириной 400 м.) на внешней периферии клинопироксенитового кольца. Кроме того, косьвиты в виде многочисленных даек присутствуют в пределах дунитового штока, а также слагают крупную интрузию в его западной части. С дунитами и клинопироксенитами косьвиты имеют резкие интрузивные контакты. Без каких-либо контактовых изменений и тех и других. Из-за малой мощности косьвитовых тел (мощность до 2 м.), заполняющих многочисленные разноориентированные трещины в дунитах, реже – в клинопироксенитах [2].

Вторая фаза моноцонитоидной серии обнажается на северо-восточной периферии массива среди метаморфических габбро и клинопироксенитовых пород. Породы фазы представлены субщелочными кварцевыми диоритами и кварцевыми монцодиоритами, субщелочными диоритами, а также их дайками и дайками щелочно-полевошпатовых сиенитов. Эти образования, за исключением щелочно-полевошпатовых сиенитов, обнажаются в основном на северо-восточной периферии массива среди габбро и клинопироксенитов.

Щелочная серия представлена дайками щелочных и фельдшпатоидных сиенитов их пегматитов и щелочных гранитов. В пределах каждой из групп пород выделяются

разновидности, различающиеся по минералогическим и структурным признакам. Внедрение интрузий щелочной и монцонитоидной серий алданского комплекса сопровождалось мощным метасоматическим воздействием на контактовые вмещающие породы, что обусловило формирование разнообразных метасоматических и контактово-измененных пород. Среди них выделяют около 11 разновидностей [2].

Щелочные метасоматиты (апатит-титаномагнетит-биотит, амфибол-клинопироксенового состава) слагают жилы и прожилки мощностью от нескольких сантиметров до десятков метров, в совокупности образуя штокверк вокруг контактов, залегающего на глубине тела косьвитов. Щелочные метасоматиты в небольшом количестве присутствуют и за пределами штокверка, что свидетельствует о том, что щелочной метасоматоз охватывал весь объем дунитового штока. Состав метасоматитов в пределах штокверка очень изменчив. Контакты метасоматитов с дунитами четкие, а с косьвитами могут быть как резкими, так и постепенными. В косьвитах, вскрытых скважинами, часто отмечаются минералы характерные для щелочных метасоматитов [2].

Оливин-диопсидовые метасоматиты развиты в пределах дунитового штока и по зоне контакта клинопироксенитов с мелкозернистыми дунитами. По характеру взаимоотношений между породами установлено, что формирование оливин-диопсидовых метасоматитов началось до внедрения косьвитов и габбро, а завершилось при внедрении щелочных сиенитов.

Внимание к ультраосновному магматизму на Алданском щите, связано с промышленно важными рудопоявлениями хромита, титаномагнетита и минералов платиновой группы (МПП). Уже с начала 60 – х годов здесь проводятся геолого-съемочные и поисково-разведочные работы. А с 1984 г. ведутся работы старателями артели «Амур» по добыче шлиховой платины. После отработки полигонов и истощения запасов мелкозалегающих россыпей внутри кольцевого хребта и за его пределами, началась разработка глубокозалегающей части месторождения. Параллельно продолжалось изучение возможных коренных источников. Предполагается, что россыпь образовалась за счет разрушения дунитов, содержащих платиноносные шпировые и линзовидные сегрегации хромитов [17]. Сопоставление возрастов МПП, полученных для одного из минералов платины с помощью Re-Os изотопной систематики, и самого ультрамафитового массива позволяет утверждать, что платиноидная минерализация сформировалась на Кондерском массиве в результате роста МПП на позднемагматической (палеозойской) стадии его становления [7]. Последующие магматические и метасоматические процессы повлияли на

перераспределение рудного компонента и элементов платиновой группы (ЭПГ) в породах.

1. МНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ОБРАЗЦОВ

В ходе экспедиции группы сотрудников СПбГУ на Кондерское месторождение платины, отобраны образцы различных типов пород, из которых были изготовлены

полированные шлифы и аншлифы. Из отобранных образцов, в данной работе, были изучены рудные пироксениты и связанных с ними щелочные и ультраосновные образования. Наиболее распространенным, является определение рудных пироксенитов или косъвитов, как клинопироксенитов с сидеронитовой структурой, содержащих титаномагнетит или ильменит (количество может варьироваться в широких пределах). Породы, в которых рудные минералы представлены сульфидами - халькопиритом и пирротинном, упоминаются как сульфидсодержащие клинопироксениты [2], либо как сульфидные полиминеральные Cu-Pt-Pd руды [3].



Рисунок 3 Контакт щелочной интрузии с пироксенитами и флогопитовой жилкой (фото Антонова А. А.)

Препараты рудных пироксенитов (рис. 4) в основном сложены зернами диопсида и флогопита. Местами они имеют вид черных, темно-коричневых вытянутых прямоугольных кристаллов. Вокруг щелочного прожилка наблюдается изменение минеральных зерен, они становятся более трещиноватые и имеют зеленоватый оттенок. Прожилки и небольшие светлые включения сложены цеолитами, с амфиболами и щелочными пироксенами, в качестве аксессуарных минералов. Рудная вкрапленность видна под микроскопом и представлена в основном халькопиритом, халькозином и

борнитом, есть магнетит, титанит и Au-Ag, Pt-Pd минерализация.

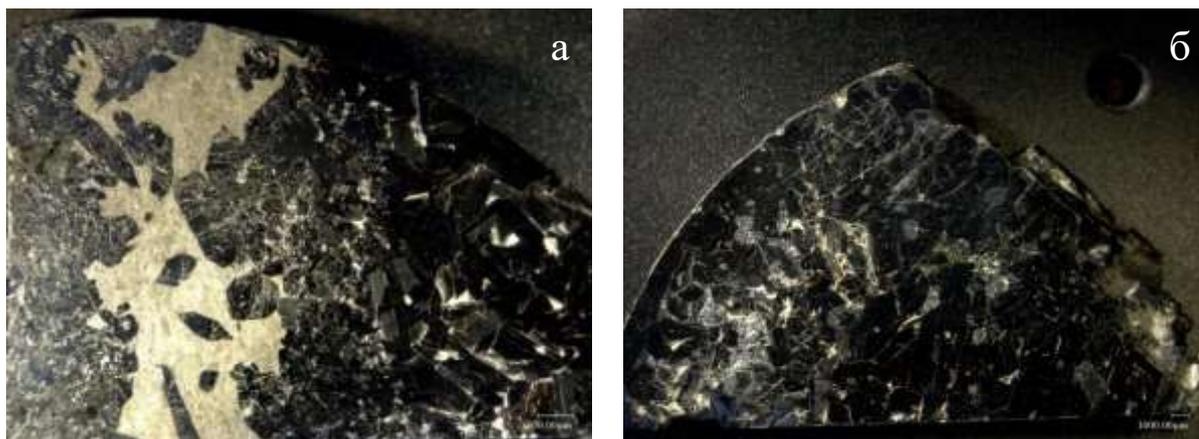


Рисунок 4 Рудный пироксенит (б) и рудный пироксенит с прожилком щелочных метасоматитов (а); (КР 2-1, КР 2-2)

В оптическом микроскопе (рис. 5) наблюдается сидеронитовая структура породы. Хорошо видны изотропные зерна сульфидов неправильной формы. Можно визуальнo оценить количественный минеральный состав: моноклинный пироксен – диопсид, составляет около 50-60%, флогопит - 15-20%: в виде крупных кристаллов (рис. 5б) или по зонкам-прожилкам (рис. 5а). Такие прожилки имеют вид мелкозернистой массы состоящей из цеолитов и слюд с включениями рудных зерен, амфиболов (как правило на контакте с диопсидом), и других пироксенов (эгирина) и занимают около 10% шлифа. Количество ксеноморфного халькозина, халькопирита и борнита достигает 10%, но расположено довольно неравномерно.

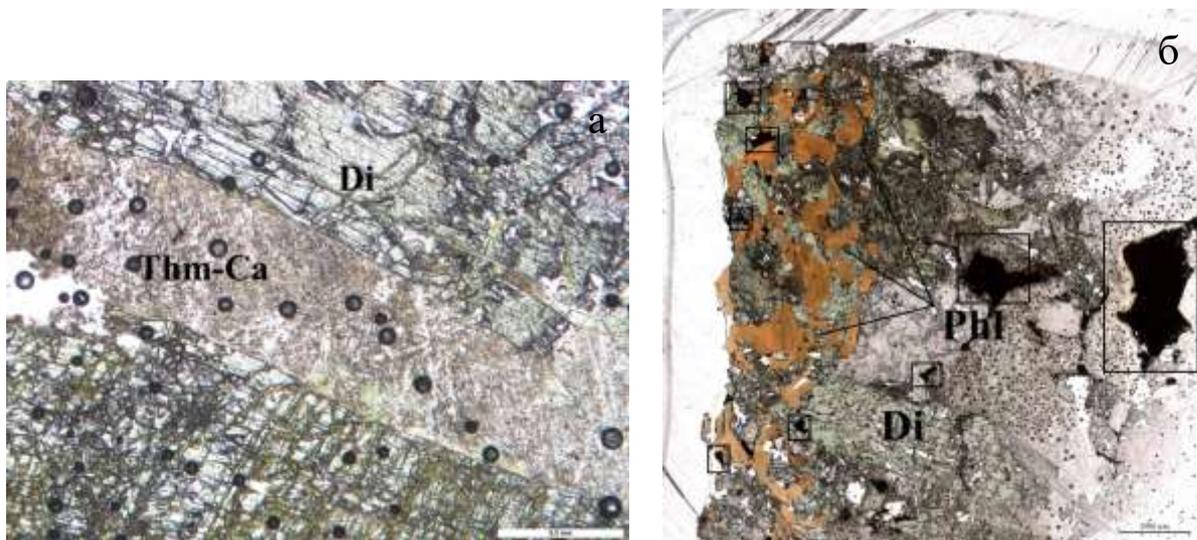


Рисунок 5 Флогопит-амфибол-цеолитовый (Thm-Ca) прожилок в рудном пироксените (а); минеральный состав рудного пироксенита: диопсид (Di), флогопит (Phl), медные сульфиды (б) (Ksh-1-1)

По мнению некоторых исследователей флогопитовые жилы и штокверки сформировались при отделении флюидной фазы от кристаллизующихся козьвитов. При движении ее по системе тектонических разломов. Размерность структур, образованных в результате этих процессов, определялась неравномерной кристаллизацией флюидонасыщенной магмы [3]. Так наиболее крупные тела флогопитовых пегматитов располагаются в центральной части структуры и могут достигать мощности 5-6 м, с размером пластин флогопита до 0,5 м., в краевых частях жилы менее мощные (рис. 3). Флогопитовые слюдиты с мелкозернистыми структурами (рис 6), имеют размер кристаллов от миллиметров до нескольких сантиметров. Слюда представлена флогопитом, чаще крупночешуйчатая, образует лепидобластовую структуру, на некоторых участках гидратирована до вермикулита. Кроме слюд в препаратах присутствуют диопсид, халькозин, хроммагнетит и борнит, минералы палладия (висмута). Сульфиды (в основном халькозин) встречается в виде крупных ксеноморфных и субидиоморфных зерен (до 2 мм) или развивается по границам кристаллов флогопита и в трещинах спайности.

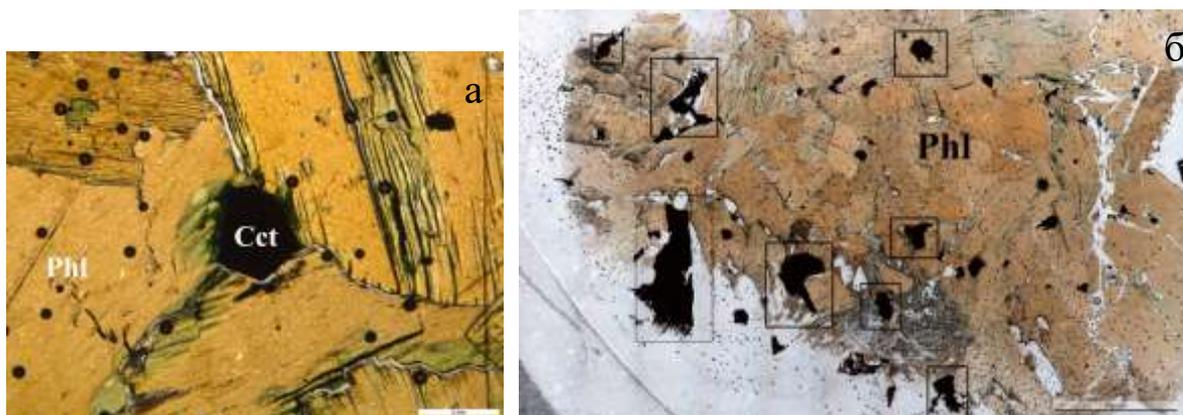


Рисунок 6 изменение флогопита по границам зерен (а) слюдит с включениями ксеноморфных сульфидов (б) (Ksh2-1)

Наиболее поздние образования это дайки щелочных сиенитов и жилы метасоматитов, являющиеся следствием мезозойской тектономагматической активизации [7]. Внедрение щелочных сиенитов и их пегматитов в дунитах центральной части массива и в клинопироксениты оторочки, происходило в раннемеловое время. Это подтверждается изотопными датировками, полученными с помощью К-Аг метода для нефелин-сиенитовых пегматитов [10]. Щелочные породы не являются предметом исследования данной работы, но есть мнение, что внедрение щелочных магм повысило температуру гидротермальной системы, тем самым усилило перераспределение металлов. Кроме того, щелочной метасоматоз сопровождался

разрушением сульфидов ранних генераций и выносом Cu, Pt, Pd и Au в пироксенитовые тела [3]. Контакты щелочных интрузий с основными и ультраосновными породами можно увидеть в масштабе, в обнажении на (рис. 3), где по контакту проходит флогопит - пегматитовая жила. Подобный контакт в уменьшенном виде на (рис. 7,8). Контакт флогопитового прожилка с нефелиновым сиенитом и дунитом четкий имеет ассиметричный секреторный вид. Основная масса сложена зернами слюды, ориентированными в одном направлении. На контакте со щелочными породами зерна флогопита становятся идиоморфными достигая размера до 1 мм. Во всем прожилке присутствуют неправильные выделения магнетита, которые заполняют пространство между зернами флогопита. Дунит выглядит как мелкозернистая масса оливина без видимых минеральных включений. Большая часть нефелинового сиенита сложена белым минералом, который определен как альбит-цеолитовая масса, с кристаллами нефелина и включениями темноокрашенной слюды.

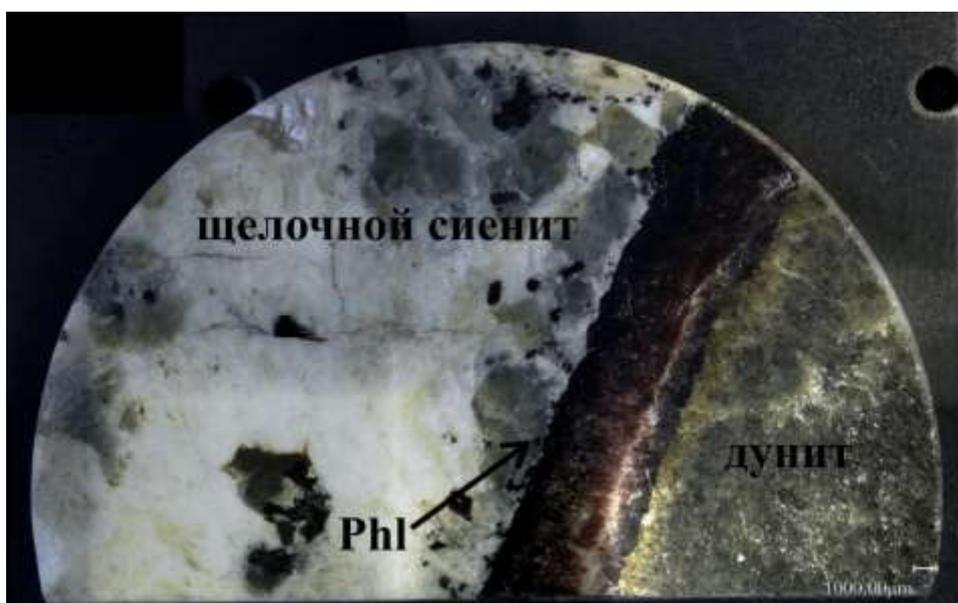


Рисунок 7 флогопитовый прожилок по контакту щелочных сиенитов и дунитов в полированном аншлифе

Дуниты, находящиеся справа от прожилка, имеют полнокристаллическую, панидиоморфнозернистую структуру с размером зерен от 0,1 до 1 мм. Оливин представлен форстеритом, который в существенной степени серпентинизирован (рис. 9б), особенно это проявлено вблизи контакта с прожилком. При этом характерно обогащение замещающей серпентиновой массы, мелкой рудной вкрапленностью. Рудная вкрапленность представлена субидиоморфными зернами хромита. Щелочная часть состоит из сплошной массы цеолитов, альбита и нефелина (рис. 9в). В массе присутствуют включения рудных минералов, амфиболов, и других редких минералов о которых будет сказано в следующих главах.

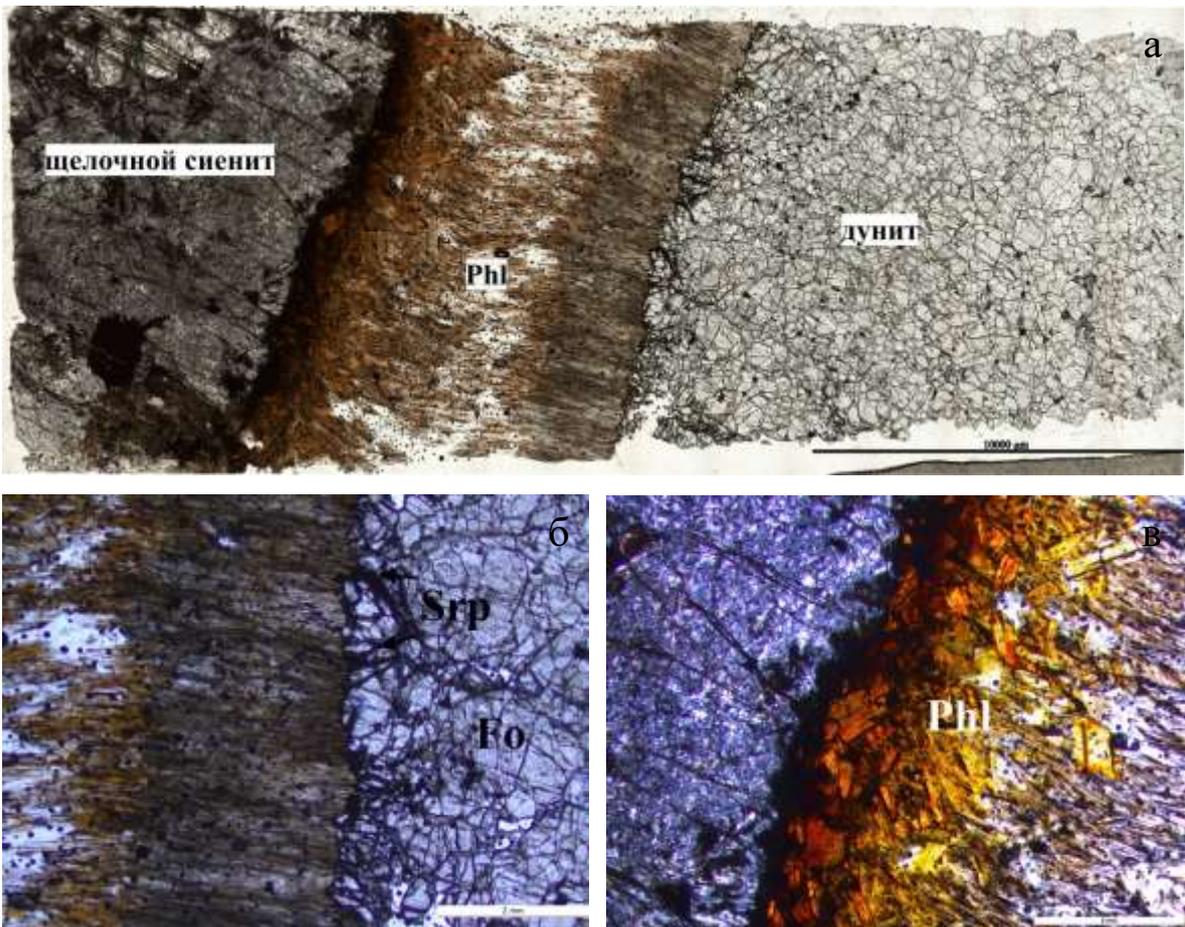


Рисунок 8 (а) зональность флогопитового прожилка на контакте щелочных сиенитов и дунитов (Ksh 3-1); (б) Форстерит с вкрапленностью хромита; (в) контакт флогопитового прожилка со щелочными породами

Далее в таблице 1 представлены все диагностированные минералы. Группы, на которые они разбиты, могут быть удобны для прослеживания минеральных парагенетических ассоциаций. Выделены следующие группы: рудные пироксениты; зона окисления рудных пироксенитов; контакты с дунитами и щелочными сиенитами. Так как слюдиты (флогопитовые пегматиты) и щелочные амфибол-цеолитовые прожилки являются продуктами более поздних геологических процессов, они объединены в отдельную группу и названы, как контактовые гидротермально-метасоматические вторичные образования.

Таблица 1

Минеральный состав рудных пироксенитов, дунитов, щелочных сиенитов и контактовых гидротермально-метасоматических образований.

		рудные пироксениты	метасоматиты на контакте с дунитами	метасоматиты на контакте со щелочными сиенитами	другие контактовые гидротермально метасоматические образования	зона окисления рудных пироксенитов
минералы	главные	Диопсид $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ Флогопит $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ Халькопирит CuFeS_2 Халькозин Cu_2S Борнит Cu_5FeS_4	Форстерит $\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$ Диопсид Хромит FeCr_2O_4	Анальцим $\text{Na}(\text{AlSi}_2\text{O}_6) \cdot \text{H}_2\text{O}$ Натролит $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}) \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ Альбит $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ Нефелин $\text{Na}_3\text{K}(\text{AlSiO}_4)_4$	Томсонит-Са $\text{NaCa}_2(\text{Al}_5\text{Si}_5\text{O}_{20}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Флогопит Вермикулит	Малахит $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ Вермикулит Брошантит $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ Диоптаз $\text{Cu}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ О Борнит халькозин Халькопирит
	второстепенные	Вермикулит $(\text{Mg}_{0,5} \cdot n\text{H}_2\text{O})$ $\text{Mg}_3(\text{AlSi}_3)_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ Хроммагнетит $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+}\text{Cr})_2\text{O}_4$ Сапонит $\text{Ca}_{0,3}\text{Mg}_3(\text{Al}_{0,5}\text{Si}_{3,5})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Антигорит $\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ Энстатит Mg_2SiO_4 Рихтерит $(\text{Na})(\text{NaCa})(\text{Mg}_5)(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$	Строналсит $\text{Na}_2\text{Sr}(\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16})$ Эгирин Магнезиоарфедсонит $(\text{Na})(\text{Na}_2)(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3+})(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$ Феррикатафорит $\text{Na}(\text{CaNa})(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3+})(\text{AlSi}_7\text{O}_{22})\text{O}(\text{OH})_2$ Гидроксиканкринит $\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Магнезио-арфедсонит Феррикатафорит Ферринибейт $\text{NaNa}_2(\text{Mg}_3\text{Fe}^{3+}_2][\text{AlSi}_7\text{O}_{22})(\text{OH})_2$ Эгирин Диопсид	Феррикатафорит Диопсид

акцессорные	Магнетит $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$	Магнетит	Томсонит-Sr	Титанит	Магнетит
	Титанит $\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$	Пентландит $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$	$\text{NaSr}_2(\text{Al}_5\text{Si}_5\text{O}_{20}) \cdot 6-7\text{H}_2\text{O}$	Халькопирит	Акантит
	Галенит PbS		Пектолит $\text{NaCa}_2[\text{Si}_3\text{O}_8(\text{OH})]$	Соболевскит	
	Гидроксиапатит (апатит-(CaOH)) $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$		Троилит? FeS	Халькозин Au-Cu фаза	
	Карролит $(\text{Co}_2\text{CuS}_4)$		Стронцианит $\text{Sr}(\text{CO}_3)?$		
	Соболевскит $\text{Pd}(\text{BiTe})$		Фторапатит (апатит-(CaF)) $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$		
	Масловит $\text{Pt}(\text{BiTe})$		Стронадельфит $\text{Sr}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$		
	Акантит Ag_2S		Лампрофиллит $\text{Na}_2\text{Sr}_2\text{Ti}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)_2$		
	Au-Cu фаза		$\text{O}_2(\text{OH})$		
			Бритолит-Ce $(\text{CaCe})\text{Ce}_3$		
			$(\text{SiO}_4)_3\text{O}$		
			Кобальтин $\text{Co}(\text{AsS})$		
			Бадделеит ZrO_2		
			Y-Zr-Ti фаза $\text{ThO}_2 - \text{UO}_2$ фаза;		

3. МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ ПИРОКСЕНИТОВ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МАТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ

3.1 Главные минералы

3.1.1 Пироксены

Пироксены, являются главными минералами рудных пироксенитов, и широко распространены в породах пространственно связанных с ними. Представлены несколькими изоморфными сериями: энстатит-ферросилитовой, диопсид-геденбергитовой и натриевым клинопироксеном – эгирином.

Диопсид слагает основную массу рудных пироксенитов в виде крупных разно ориентированных призматических зерен (от 0,5 до нескольких мм), наблюдаются хорошо заметные трещины спайности, а в некоторых зернах сильная трещиноватость. По химическому составу (табл. 22), в зависимости от минеральной ассоциации, могут содержать небольшой процент эгириновой составляющей $(Ca_{0,72} Na_{0,29})(Mg_{0,61} Fe^{2+}_{0,07} Fe^{3+}_{0,29} Ti_{0,01} Al_{0,01})[Si_{1,98} Al_{0,02} O_6]$ (спектр 1096). У диопсида из дунитов она почти отсутствует: $(Ca_{0,96} Na_{0,03})(Mg_{0,93} Fe^{2+}_{0,02} Fe^{3+}_{0,04} Cr_{0,02})[Si_{1,97} Al_{0,03} O_6]$ (спектр 953). Содержание оксида кальция варьируется от 15,20 до 25,24 масс.%, а оксида магния от 9,47 до 17,84 масс.%. Примесь титана до 0,52 масс.% TiO_2 , хрома до 1,27 масс.% Cr_2O_3 , а в единичных спектрах наблюдаются небольшие примеси марганца.

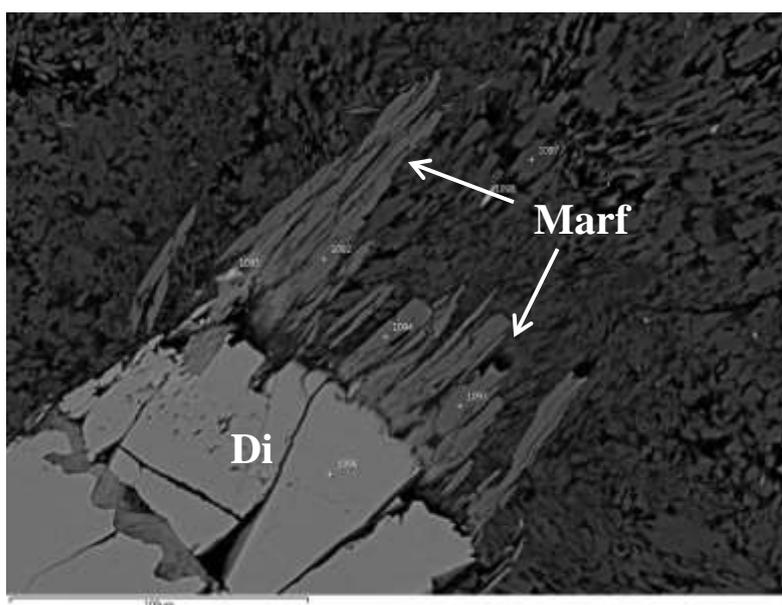


Рисунок 9 развитие магнезиоарфведсонита (Marf) по диопсиду (Di) на контакте с амфибол-цеолитовым прожилком (Ksh1-1)

Эгирина находится в виде мелких неправильных зерен в мелкозернистой массе амфибол-цеолитовых прожилков (рис. 10), секущих рудные пироксениты, и на контакте со щелочными сиенитами (рис. 16). Их химический состав (табл. 23) отличается более высоким содержанием кальция и железа двухвалентного в первом случае: $(\text{Na}_{0,89}\text{Ca}_{0,09})(\text{Fe}^{3+}_{0,76}\text{Mg}_{0,09}\text{Fe}^{2+}_{0,08}\text{Al}_{0,05}\text{Ti}_{0,01})[\text{Si}_{2,03}\text{O}_6]$ (спектр 591), относительно второго $(\text{Na}_{0,99}\text{Ca}_{0,05})(\text{Fe}^{3+}_{0,85}\text{Mg}_{0,06}\text{Al}_{0,04}\text{Ti}_{0,01})[\text{Si}_{1,98}\text{Al}_{0,02}\text{O}_6]$ (спектр 1013). Присутствует примесь титана (0,33 – 2,82 масс.% TiO_2) и ванадия (0,3 – 1,58 масс.% V_2O_5).

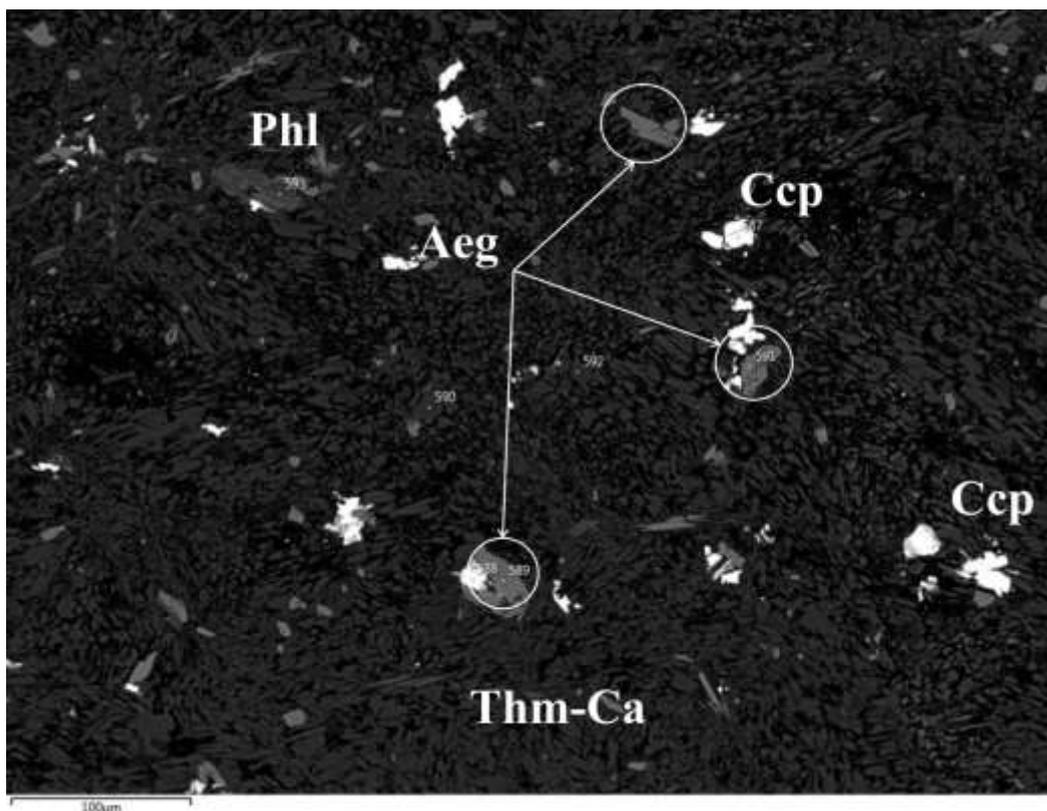


Рисунок 10 зерна эгирина (Aeg) в амфибол-цеолитовом прожилке из рудного пироксенита (Ksh 1-1); Thm-Ca-томсонит-Ca; Csp-халькопирит.

Пироксены энстатит-ферросилитовой серии имеют примерно одинаковый химический состав (табл. 24) и среднюю формулу: $(\text{Mg}_{1,39}\text{Fe}^{2+}_{0,43}\text{Fe}^{3+}_{0,06}\text{Na}_{0,04}\text{Ca}_{0,03}\text{Al}_{0,01})[\text{Si}_{2,02}\text{O}_6]$, приближаясь к энстатиту. С небольшой примесью натрия (0,33 - 0,78 масс.% Na_2O) и кальция (0,74 – 0,89 масс.% CaO). Невысокое содержание кальция, в сравнении со средним его содержанием в интрузивных породах (1,47-2,14 %), может быть связано с кристаллизацией пироксенов в условиях понижения температур или с процессами метасоматизма об этом говорит и отсутствие в виде примесей никеля, хрома, ванадия, характерных для ортопироксенов. Заполняет трещины в дуните на контакте с метасоматическими образованиями вместе с серпентином.

По диопсиду и эгирину на контактах со щелочными прожилками часто развивается амфиболы (рис. 9).

На графике (рис. 11) иллюстрируется обособление полей химического состава пироксенов в зависимости от их принадлежности к определённым породам. Таким образом, пироксены обладают явными типохимическими свойствами. Эгирин из метасоматитов отличается по соотношению компонентов от эгирина из щелочных сиенитов, диопсид из рудных пироксенитов приближается к эгирину, и образует отдельное от диопсида из дунитов поле.

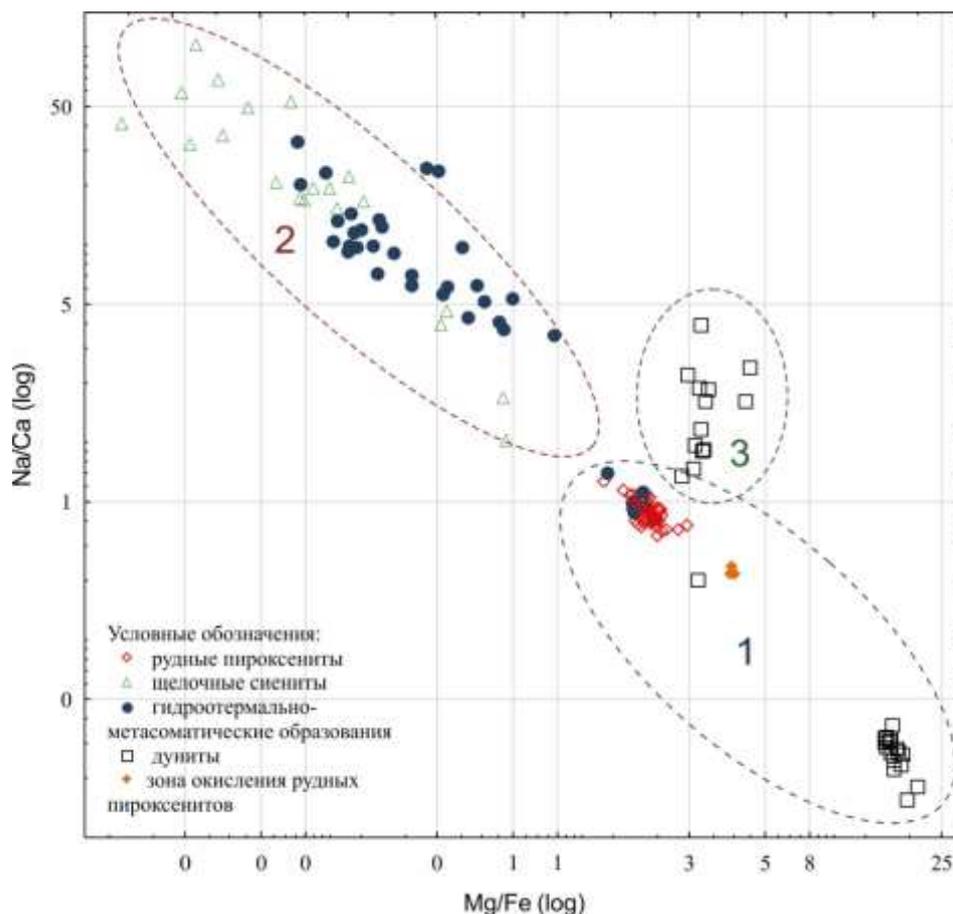


Рисунок 11 график изменения химического состава пироксенов. 1-диопсид, 2-эгирин, 3-энстатит.

3.1.2 Слюды

Слюды в изученных образцах, являются одним из главных минералов, слагающих рудные пироксениты. Кроме того, исходя из строения массива, можно сказать, что часть слюдистых тел образовалась в результате гидротермально-метасоматической переработки рудных пироксенитов. Главные элементы, входящие в их состав это кремний, алюминий, калий, магний и железо. Методами рентгенофазового анализа и энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС-анализ) слюды

диагностированы как флогопит и вермикулит. Из-за изоморфных замещений содержание главных компонентов в слюдах колеблется в широких пределах и связано с химизмом материнских пород: калия от 0 до 11 масс% K_2O , магния от 12 до 29 масс% MgO , алюминия от 8 до 16 масс% Al_2O_3 .

Флогопит представлен несколькими морфологическими разновидностями. В виде крупных идиоморфных зерен в рудных пироксенитах и слюдитях, а также частично на контакте с щелочными сиенитами (рис. 16). Кристаллы имеют идиоморфный облик и размер до 1-2 мм. Иную морфологию слюды имеют на контакте с дунитами - сплошная ксеноморфная масса, из сросшихся между собой вытянутых кристаллов флогопита с амфиболами (рис 22а). В амфибол-цеолитовых прожилках из рудных пироксенитов, слюды находятся среди мелкозернистой однородной массы минералов почти не различимых визуально.

В результате процессов выветривания почти во всех образцах в большей или меньшей степени флогопит переходит в вермикулит. Наиболее часто он развивается по трещинам спайности в флогопите как на (рис 12).

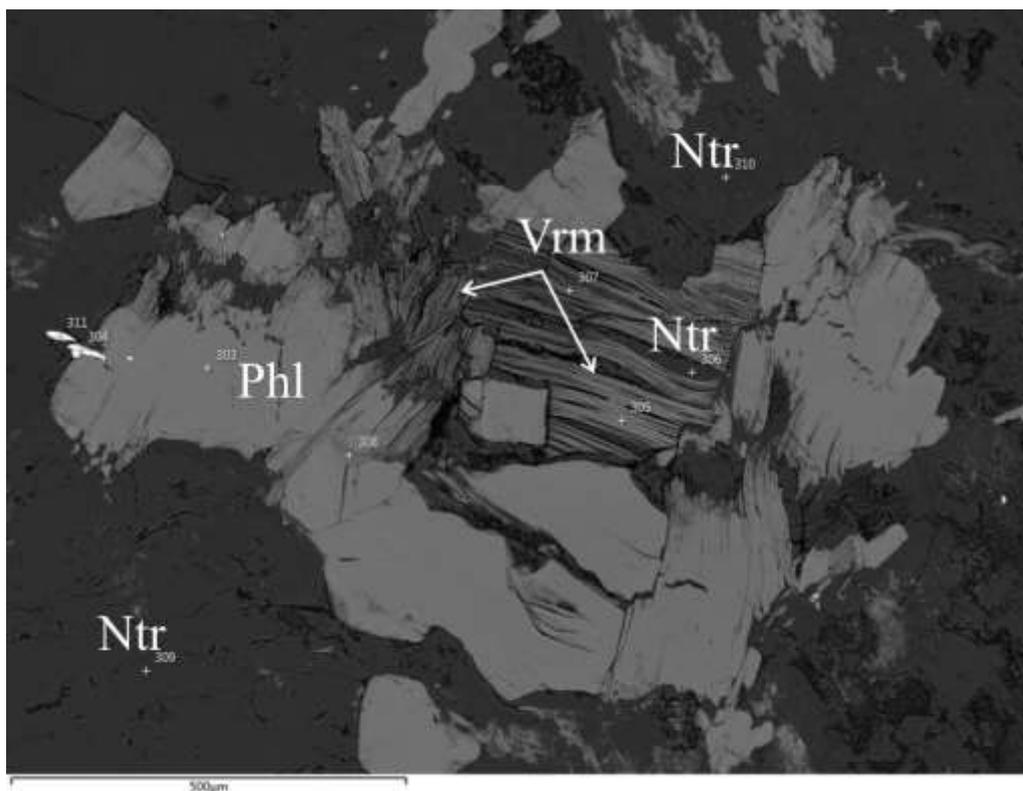


Рисунок 12 Флогопит (Phl) с вермикулитом (Vrm) из щелочных сиенитов (Ksh 3-1); Ntr-натролит.

Химический состав флогопита и вермикулита представлен в таблице 25, 26. Отмечается повышенное содержание кальция в слюдах из рудных пироксенитов. Содержание титана от 0 до 2,95 масс.% TiO_2 . В виде примеси марганец встречается редко, и достигает 1,26 масс.% MnO . В единичных анализах можно встретить барий и ванадий, до 1,29 масс.% Ba и до 0,65 масс.% V_2O_5 соответственно.

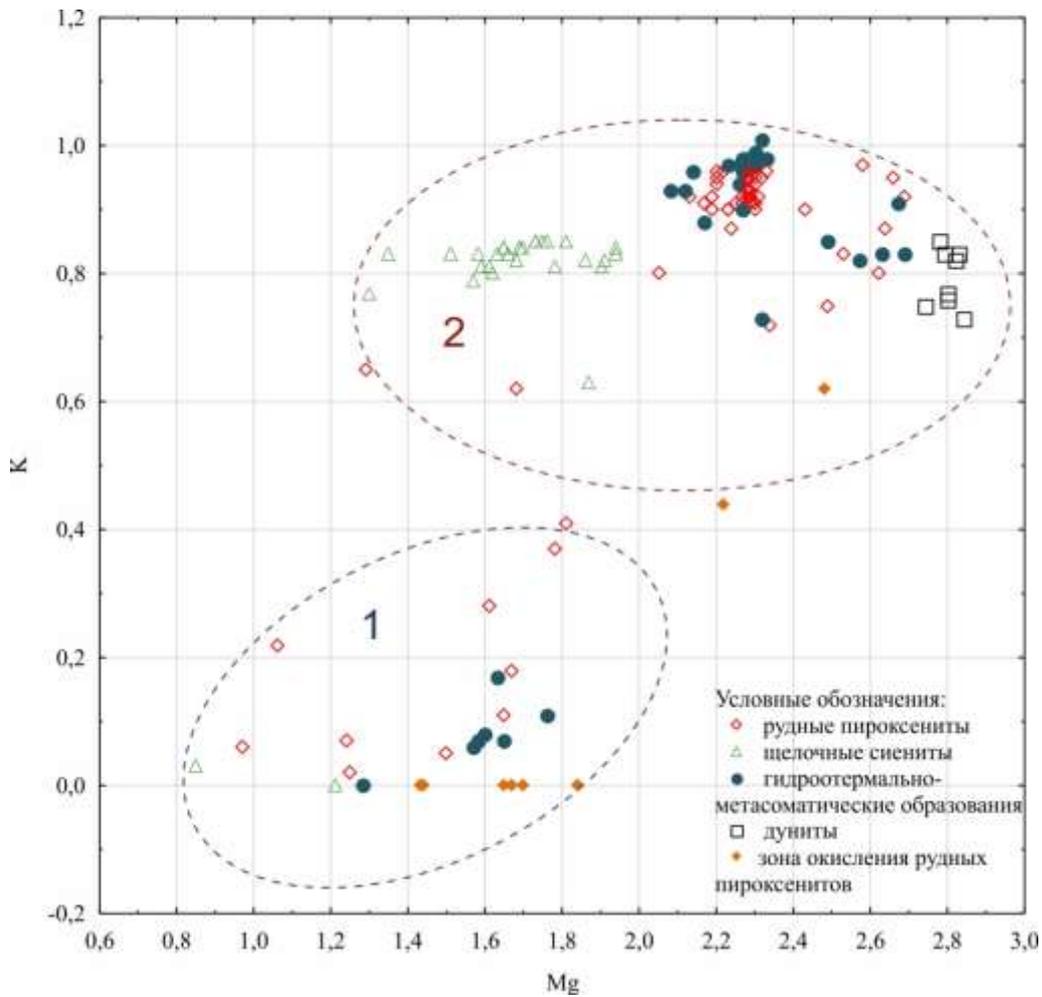


Рисунок 13 Вариации состава слюд в различных ассоциациях; 1-вермикулит, 2-флогопит

3.1.3 Халькозин, халькопирит, борнит.

Медносульфидная минерализация, в изучаемых рудных пироксенитах носит рассеянный или густовкрапленный характер. Оруденение встречается на контактах амфибол-цеолитовых прожилков или в виде крупных скоплений между зерен и в трещинах. Также отдельные мелкие зерна входят в саму щелочную матрицу (рис. 14).

В ходе микроскопических наблюдений были диагностированы минералы, в рудных пироксенитах представленные халькопиритом, халькозином и борнитом. В слюдитах, также наблюдается похожая медносульфидная минерализация.

По большей части в ассоциации с этими минералами, выявлена платина, палладий, золото и серебро. Благороднометальная минерализация наблюдается в виде микровключений в краевых частях медносульфидных выделений и, реже, в нерудных минералах.

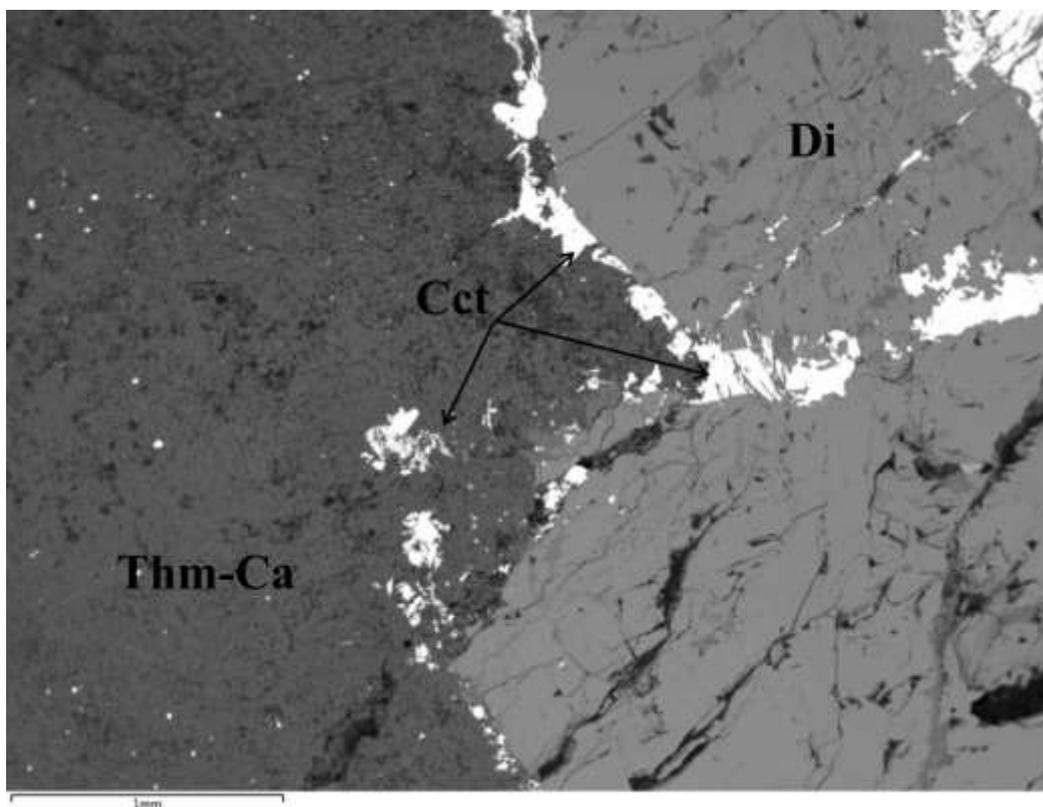


Рисунок 14 Развитие халькозина по границе амфибол-цеолитового прожилка и в трещинах диопсида и флогопита (Ksh 1-1).

Наиболее распространенным минералом медносульфидного парагенезиса, является халькозин. Наблюдаются ксеноморфные, идиоморфные и субидиоморфные выделения халькозина (рис. 15в). Также для халькозина характерны прорастания по спайности в кристаллах слюды и по трещинам в пироксенах (рис. 15г). Мономинеральные зерна почти не встречаются, они содержат многочисленные включения борнита и закономерные прорастания халькопирита (рис. 15а,б). В краевых

частях некоторых зерен наблюдаются выделения галенита. Борнит развивается по халькозину.

Халькопирит образуется после халькозина и борнита, хотя в некоторых случаях точно определить не представляется возможным. Наблюдаются ксеноморфные зерна и обрастания вокруг зерен халькозина, а также в межзерновом пространстве нерудных минералов. Интересны поздние ориентированные выделения халькопирита в борните. Некоторые исследователи связывают появление таких агрегатов с термальным метаморфизмом. Возможно, в нашем случае образование данных структур является следствием прогрева рудных пироксенитов дайками поздних щелочных пород.

Химические составы халькозина, борнита и халькопирита приведены в таблице 27.

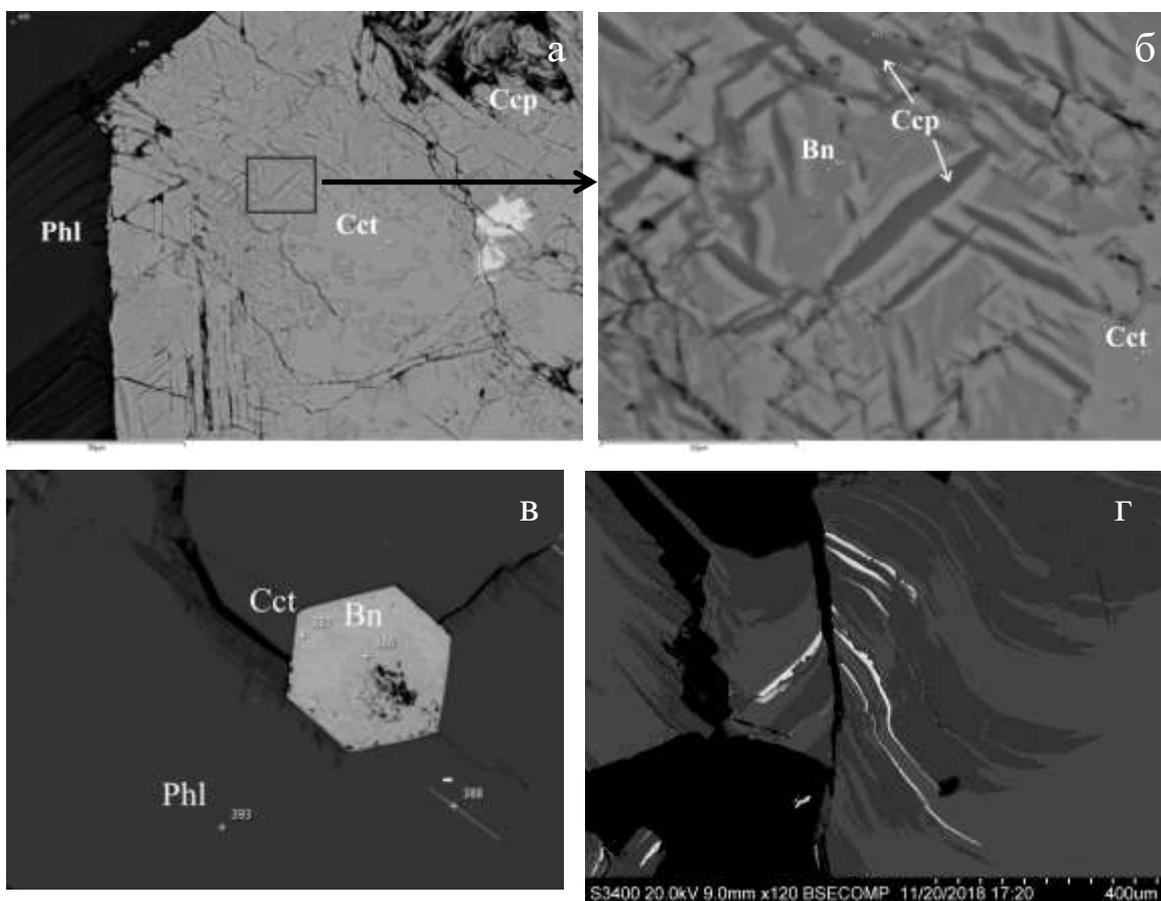


Рисунок 15 Формы выделения халькозина (Cct), борнита (Bn) и халькопирита (Ccp) в рудных пироксенитах и слюдитах.

3.2 Второстепенные минералы

В данной главе приведено описание минералов, являющихся второстепенными для рудных пироксенитов, и слагающие другие породы, описанные в данной работе.

3.2.1 Амфиболы.

В рассматриваемых образцах амфиболы присутствуют в качестве второстепенных минералов. Встречаются преимущественно на контактах со щелочными метасоматическими образованиями. Представляют собой вторичные образования, возникшие, видимо, в процессе изменения основных и ультраосновных пород, либо приурочены к прожилкам и метасоматическим породам постмагматического этапа формирования массива. На основании ЭДС-анализа, выполненного для амфиболов из различных пород, выделяются следующие минералы:

Магнезиоарфведсонит: $(\text{Na}_{0,95}\text{K}_{0,05})(\text{Na}_{1,29}\text{Ca}_{0,53})(\text{Mg}_{3,97}\text{Fe}^{2+}_{0,64}\text{Fe}^{3+}_{0,24}\text{Al}_{0,17}\text{Ti}_{0,16})(\text{Si}_{7,57}\text{Al}_{0,43}\text{O}_{22})(\text{OH})_2$ (Спектр 144)

Рихтерит: $(\text{Na}_{0,92}\text{K}_{0,08})(\text{Na}_{1,03}\text{Ca}_{0,82})(\text{Mg}_{4,67}\text{Fe}^{2+}_{0,38}\text{Al}_{0,06}\text{Mn}_{0,03})(\text{Si}_8\text{O}_{22})(\text{OH})_2$ (Спектр 236)

Феррикатафорит:

$(\text{Na}_{0,88}\text{K}_{0,12})(\text{Na}_1\text{Ca}_{0,88})(\text{Mg}_{2,87}\text{Fe}^{2+}_{1,51}\text{Fe}^{3+}_{0,39}\text{Al}_{0,17}\text{Ti}_{0,1}\text{Mn}_{0,07})(\text{Si}_{7,23}\text{Al}_{0,77}\text{O}_{22})(\text{OH})_2$
(Спектр 1086)

Ферринибейт:

$(\text{Na}_1)(\text{Na}_{1,83}\text{Ca}_{0,17})(\text{Mg}_{2,42}\text{Fe}^{2+}_{0,71}\text{Ca}_{0,22}\text{Fe}^{3+}_{1,21}\text{Al}_{0,13}\text{Ti}_{0,19}\text{Mn}_{0,04})(\text{Si}_{6,92}\text{Al}_{1,08}\text{O}_{22})(\text{OH})_2$
(Спектр 778)

В рудных пироксенитах амфиболы развиваются по диопсиду на границах с амфибол-цеолитовыми прожилками, и находятся в самих прожилках в виде вытянутых игольчатых кристаллов длиной до 50 микрометров (рис 9). По контактам с дунитами и щелочными сиенитами: в первом случае, находятся в массе флогопитовых зерен. Во втором, развиваются по зернам эгирина или флогопита, образуя крупные зональные участки до 300 микрометров в длину. Имеют вытянутую, игольчатую форму (рис 16). Также встречаются в щелочных сиенитах, в виде ксеноморфных образований среди цеолитов и альбита в ассоциации с флогопитом.

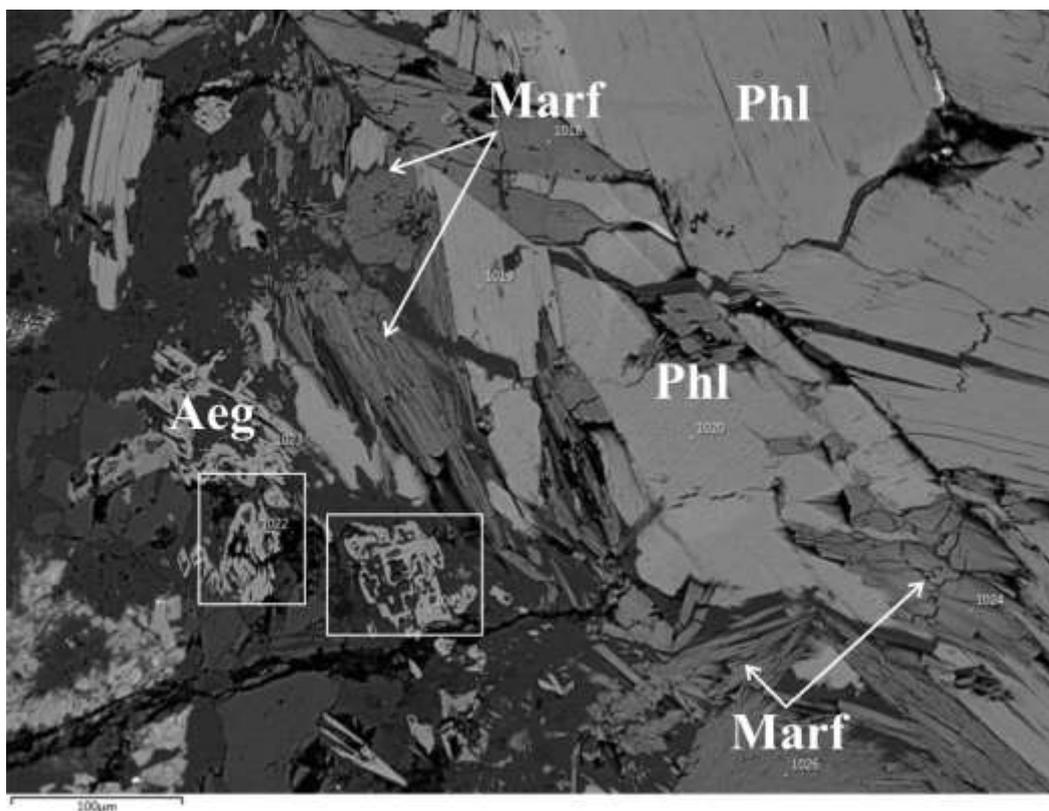


Рисунок 16 Magnesioarfvedsonite (Marf) на границе флогопитового прожилка и щелочной породы (Ksh 3-1)

По химическому составу наиболее распространенными являются магниевые и натриевые амфиболы с низким содержанием алюминия. Их состав отражает химические особенности вмещающих пород. Так рихтерит, характерен только для контакта с дунитами, а амфиболы с наиболее высоким содержанием натрия находятся в щелочных сиенитах (рис. 17). Химические составы минеральных видов приведены в таблице 28, 29, 30, 31.

Для многих спектров характерно наличие элементов-примесей: ванадия (0,45 – 0,99 масс. % V_2O_5), хрома (0,1 – 1 масс. % Cr_2O_3), титана (0,25 – 2,64 масс. % TiO_2), марганца (0,28-0,87 масс. % MnO)

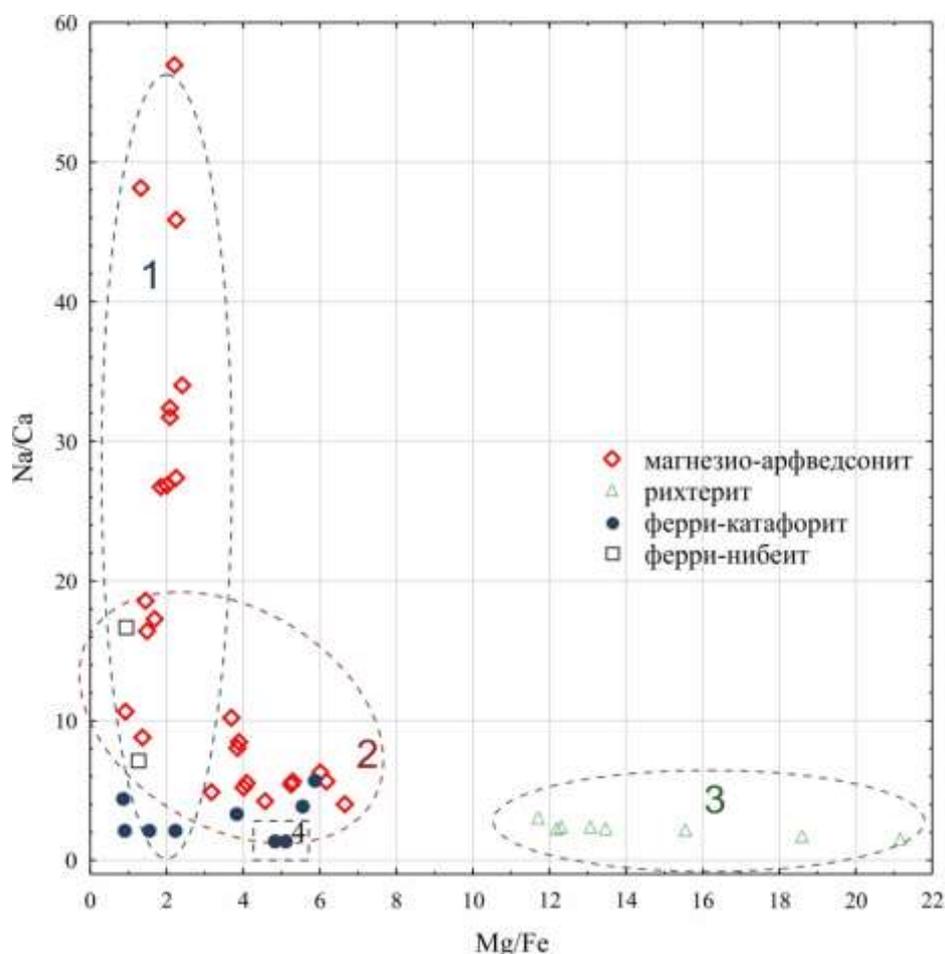


Рисунок 17 Схема отражающая распределение амфиболов по различным типам пород. 1-на контакте со щелочными сиенитами; 2-рудные пироксениты; 3-на контакте с дунитами; 4-зона окисления рудных пироксенитов

3.2.2 Сапонит

Кроме вермикулита по слюдам в рудных пироксенитах могли развиваться и другие слоистые силикаты. На некоторых участках флогопит имеет необычный вид, внешне напоминающий хлорит (рис. 18). Зерна неоднородны не только визуально, но и по химическому составу (табл. 34). Темные участки содержат больше калия (от 0,18 до 4,86 масс% K_2O) и их состав близок к флогопиту. На светлых, идет увеличение кальция (от 2,99 до 8,28 масс% CaO) с падением калия почти до нуля. Такой химический состав может отвечать сапониту, минералу из группы смектита: $(Ca_{0,51}K_{0,1})_{0,61}(Mg_{1,84}Fe_{0,92}Al_{0,19})_{2,95}(Si_{2,81}Al_{1,19})_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O$ (спектр 145). Для более точного определения, необходимы исследования с использованием дополнительных методов диагностики. В минерале присутствуют примеси титана, хрома и марганца.

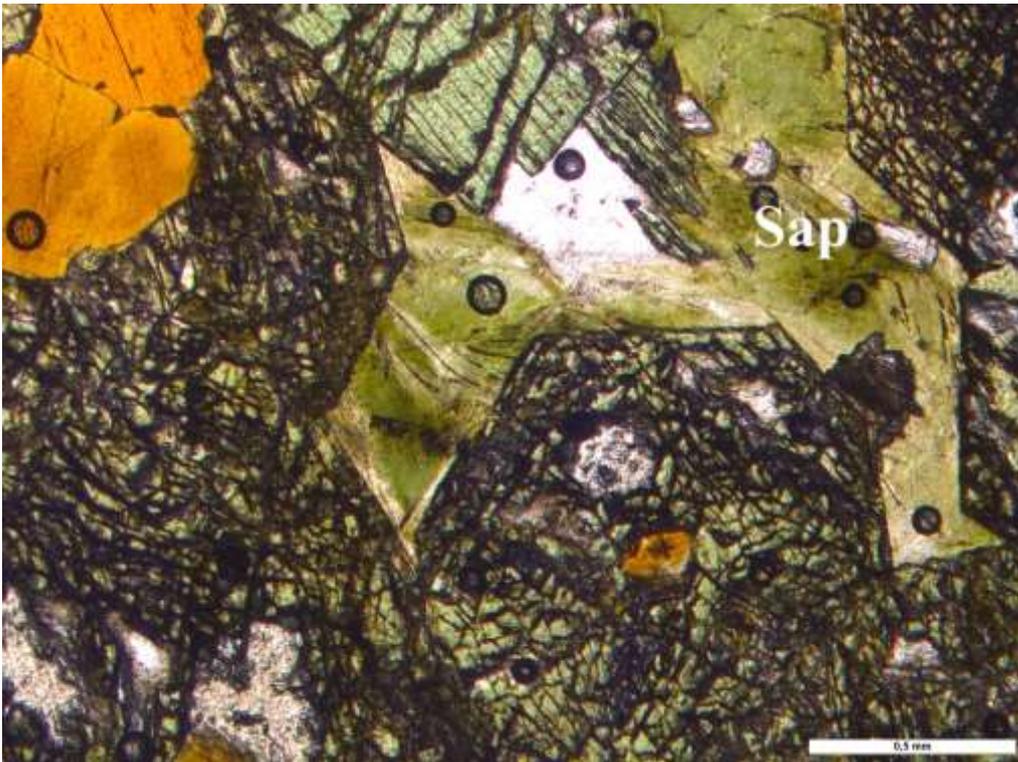


Рисунок 18 Крупное зерно сапонита (Sap) в рудном пироксените (Ksh 1-1).

3.2.3 Форстерит

Небольшой участок дунита, по которому проходит метасоматический контакт состоит из форстерита в ассоциации с диопсидом и хромитом (рис 19). Метасоматическое изменение породы, проявлено лишь в большей трещиноватости по контакту, и развито по этим трещинам энстатита с антигоритом. В остальном состав форстерита характеризуется низкой железистостью, в среднем $(Fe/(Mg + Fe)) = 0,09$. Что может трактоваться как признак их раннемагматического высокотемпературного и глубинного образования [19]. Размер зерен варьирует от 100 до 500 микрометров (рис. 19). В виде примесей в минерале присутствует кальций (от 0,19 до 0,35 масс,% CaO) и марганец (от 0,23 до 0,30 масс,% MnO). Состав форстерита для всех анализов постоянный приведен в таблице 32. Имеет среднюю формулу для всех анализов: $(Mg_{1,83}Fe_{0,17}Ca_{0,01})_{\Sigma 2,1}SiO_4$.

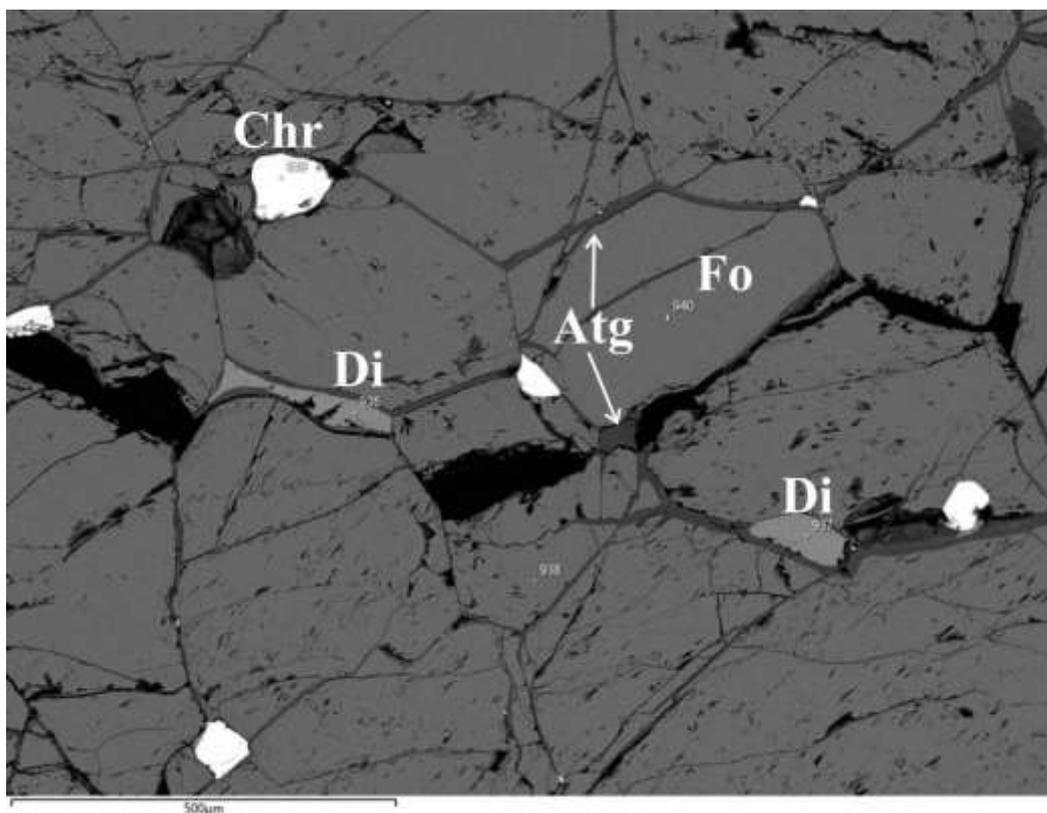


Рисунок 19 серпентинизированные зерна форстерита (Ksh 3-1).

3.2.4 Антигорит

Минерал группы серпентина представлен антигоритом. В описываемых дунитах он развивается между зернами форстерита и по трещинам, на контакте с флогопитовым прожилком образует зональность вместе с энстатитом (рис 19). Для спектра 935 формула будет иметь вид: $(Mg_{5,67}Fe_{0,26})_{\Sigma 2,97}[Si_{4,03}O_{10}](OH)_8$ (рассчитано на 14 зарядов). Содержит примеси алюминия (до 1 масс.% Al_2O_3) и никеля (до 0,36 масс.% NiO). Химический состав приведен в таблице 33

3.2.5 Альбит

Альбит является одним из основных минералов щелочных пород из части шлифа (Ksh 3-1). В оптическом микроскопе вместе с нефелином и цеолитами представляет сплошную однородную массу и не диагностируется. Под электронным микроскопом заметно отличается от соседствующего с ним анальцима (рис. 20). Определить облик зерен не представляется возможным из-за обширного развития по нему цеолитов.

Химический состав достаточно постоянен (табл. 35) и (при пересчете на пять катионов) имеет средние значения коэффициентов в формуле по результатам девяти анализов: $Na_{0,94}[Al_{1,01}Si_{3,01}O_8]$

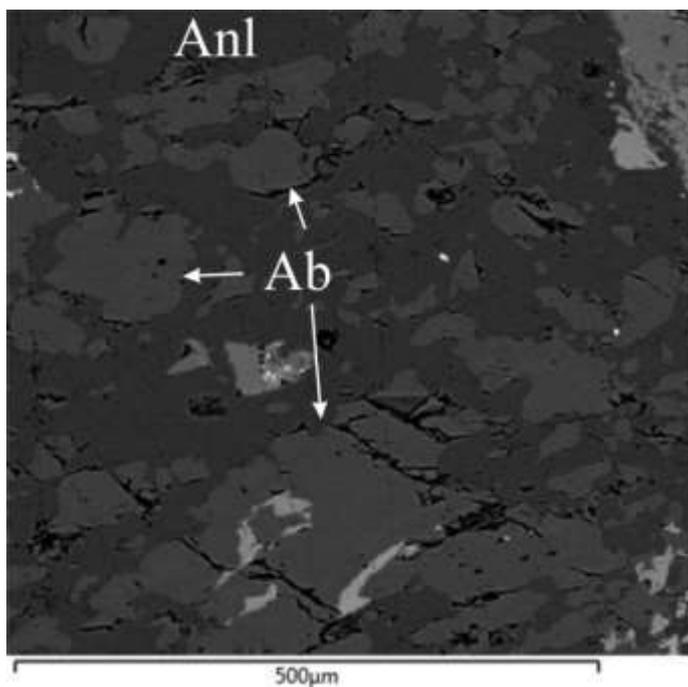


Рисунок 20 Развитие анальцима (Anl) по альбиту (Ab) в щелочном сиените (Ksh 3-1)

3.2.6 Нефелин

Присутствует на небольшом участке шлифа (Ksh 3-1) в щелочном сиените. Находится в сплошной однородной массе альбита и цеолитов, не диагностируется в оптическом микроскопе. Но выделен методом ЭДС-анализа (рис. 21). Химический состав (табл. 36) достаточно постоянен и при пересчете на формульные коэффициента на 4 атома кислорода равен: $(\text{Na}_{0,76} \text{K}_{0,14} \text{Fe}^{2+}_{0,01})_{\Sigma 0,90} [\text{Al}_{0,92} \text{Si}_{0,92} \text{O}_4]$

3.2.7. Цеолиты (анальцим, томсонит – Ca, томсонит – Sr, натролит)

Цеолиты находятся вместе с альбитом в щелочном сиените (Ksh 3-1). Наиболее распространены и появляются в качестве поздних образований, возникающих в процессе переработки нефелина и альбита В рудных пироксенитах (Ksh 1-1 и КР 1) слагают небольшие жилки и видимо являются переотложенными.

Натролит встретился на одном участке (рис. 12) и имеет формулу по спектру 298: $\text{Na}_{1,85} (\text{Al}_{1,98} \text{Si}_{3,05} \text{O}_{10}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (табл. 39). По составу остальные анализы близки к спектру приведенному ранее. Все анализы показывают дефицит катионов в первой позиции. В нескольких спектрах присутствует примесь кальция и железа, до 0,18 масс.% CaO и до 0,39 масс.% FeO соответственно.

Томсонит-Са отмечен только в щелочных прожилках в рудных пироксенитах. По морфологии представляет сплошную мелкозернистую массу из цеолитов и слюд с включениями идиоморфных зерен других минералов (рис. 10). Средняя формула по

результатам 14 спектров, рассчитанная на двадцать кислородов: $\text{Na}_{0,96}\text{Ca}_{1,9}\text{Al}_{4,84}\text{Si}_{5,15}\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (табл. 37).

Томсонит-Sr встречается среди цеолитов в щелочном сиените (рис. 21), отмечено несколько выделений в ассоциации со стронциевыми минералами. Формула по спектру 212: $\text{Na}_{0,95}(\text{Ca}_{1,24}\text{Sr}_{0,73}\text{Ba}_{0,03})[\text{Al}_{4,94}\text{Si}_{5,06}\text{O}_{20}] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (табл. 40)

Анальцим развивается по нефелину (рис. 21) и альбиту. Во всем объеме щелочного породы наиболее распространен. Средние значения коэффициентов в формуле по результатам четырнадцати спектров, рассчитанных на шесть кислородов: $\text{Na}_{0,88}(\text{Al}_{1,11}\text{Si}_{1,95}\text{O}_6) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (табл. 38).

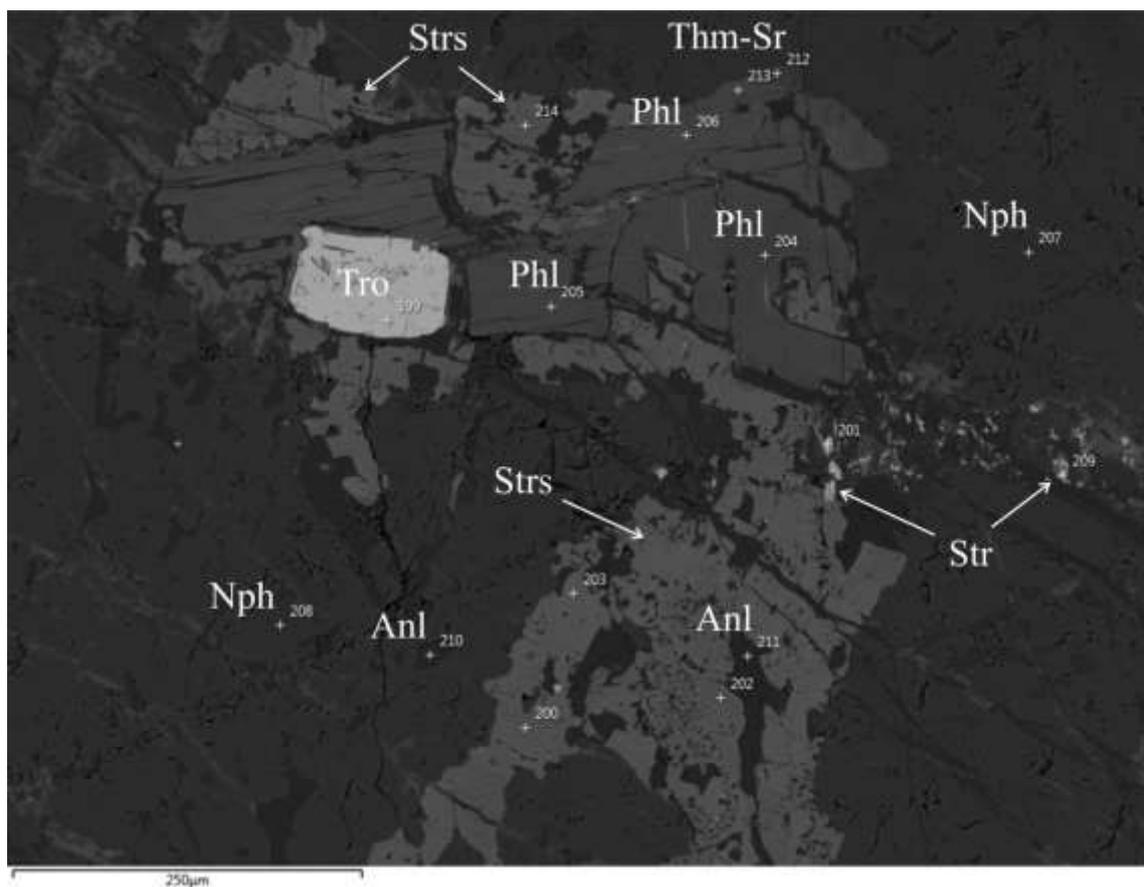


Рисунок 21 Участок в щелочном сиените с поздним развитием анальцима (Anl) по нефелину (Nph) и строналситу (Strs) (Ksh 3-1); Str-стронцианит; Tro-троилит; Thm-Sr-томсонит-Sr

3.2.8 Магнетит, хромит (хроммагнетит)

Помимо медносульфидной минерализации, в меньших количествах, были обнаружены минеральные фазы, содержащие хром и железо. В рудных пироксенитах и слюдитах они представлены хромитом, магнетитом. В дунитах в рудную ассоциацию входят, главным образом хромит (хроммагнетит) и магнетит по контакту с метасоматитами.

Хромит встречается в дунитах в виде изометричных зерен и субидиоморфных кристаллов (рис. 22в), в рудных пироксенитах зерна скорее ксеноморфные и заполняют межзерновое пространство (рис. 22б). По химическому составу (табл. 42) в рудных пироксенитах, хромит приближается к хроммагнетиту, имея формулу: $(\text{Fe}^{2+}_{0,95}\text{Mg}_{0,06})(\text{Cr}_{1,14}\text{Fe}^{3+}_{0,72}\text{Ti}_{0,06}\text{Mn}_{0,05}\text{Al}_{0,02})\text{O}_4$ (спектр 675)

Хромит (табл. 42) из дунитов отличается более низким содержанием титана (менее 1 масс% TiO_2), но значительными примесями алюминия (до 6,47 масс% Al_2O_3) и магния (до 8,24 масс% MgO) спектр 939: $(\text{Fe}^{2+}_{0,61}\text{Mg}_{0,41})(\text{Cr}_{1,3}\text{Fe}^{3+}_{0,42}\text{Al}_{0,25}\text{Ti}_{0,02})\text{O}_4$

Магнетит в дунитах встречается в виде мелких вкрапленников, заполняет трещины между зернами форстерита и по контакту с флогопитовым прожилком (рис. 22а). Содержит постоянную примесь магния (от 0,9 до 2,2 масс% MgO), в единичных анализах никеля и ванадия (табл. 41). В рудных пироксенитах это по большей части крупные выделения в ассоциации с халькозином. Из примесей содержит только марганец, который также входит в магнетит из зоны окисления рудных пироксенитов.

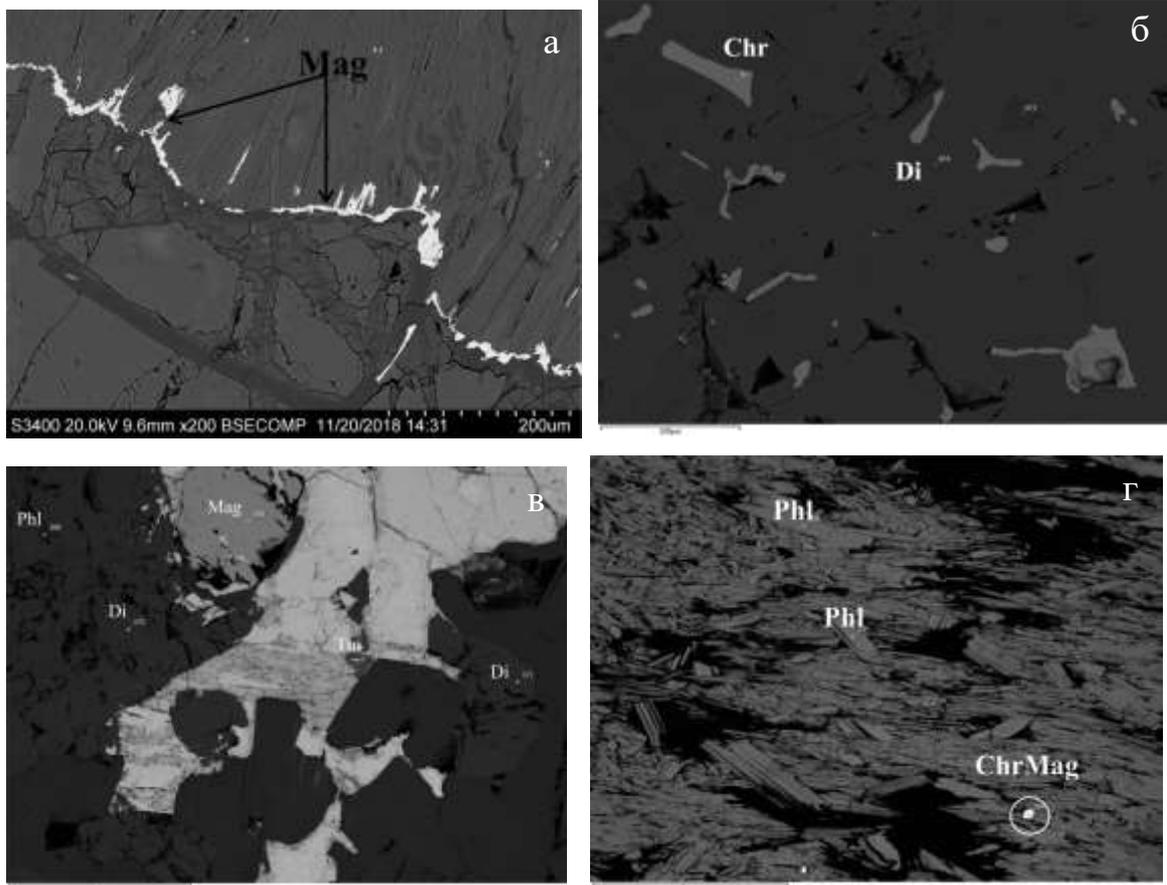


Рисунок 22 Магнетит по контакту дунита с метасоматическим прожилком (а); ксеноморфные зерна хромита в рудном пироксените (б); крупное выделение магнетита в рудном пироксените (в); зерна хроммагнетита в метасоматическом-флогопитовом прожилке (г).

3.3. Акцессорные минералы

3.3.1. Титанит

Встречается в рудных пироксенитах и слюдитах в виде мелких зерен, занимая пространство в трещинах и полостях в диопсиде, флогопите (рис) и иногда в сульфидах (рис). Химический состав минерала представлен в таблице 44. Состав его постоянен и отвечает своей теоретической формуле: $\text{Ca}_{0,99}\text{Ti}_{0,97}\text{Fe}^{2+}_{0,04}(\text{Si}_{1,01}\text{O}_4)$ (спектр 188) за исключением небольшой примеси железа (от 0,96 до 5,22 масс% FeO).

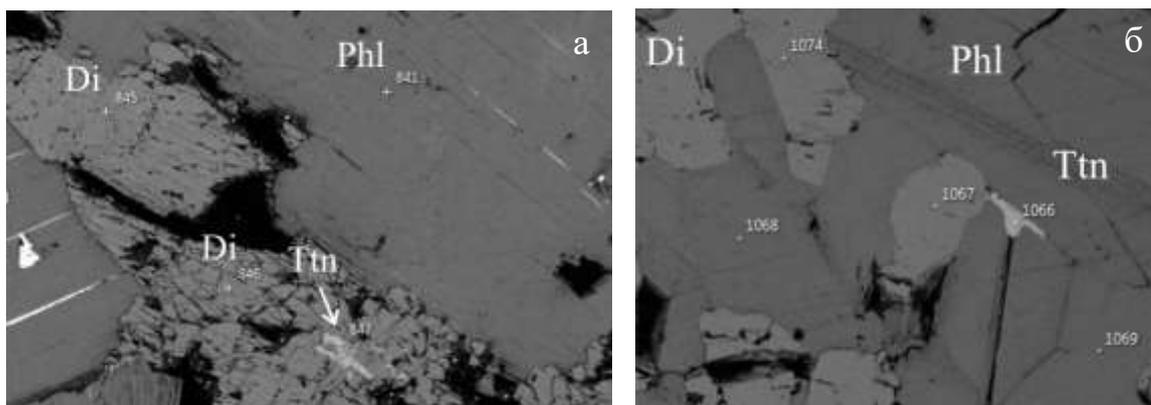


Рисунок 23 Вростки титанита (Ttn) в зерна диопсида в слюдите (а) и между зерен флогопита в рудном пироксените (б)

3.3.2. Гидроксилапатит и бритолизит-Се

Среди минералов этой группы апатита установлены гидроксилапатит, бритолизит-Се, фторапатит и стронадельфит. Гидроксилапатит встречается во флогопите из рудных пироксенитов в виде изометричного зерна, размером около 50 микрометров (рис. 24). И в массе амфибол-цеолитовых прожилков, так же из рудного пироксенита. Имеет зональность за счет различного содержания стронция в качестве примеси.

Таблица 2

Химический состав гидроксилапатита и пересчет его в формульные коэффициенты на 25 зарядов

мас, %/№	400	401	781
Ca	51,12	53,88	53,39
P	41,65	42,44	44,99
Sr	7,23	3,68	1,62
Сумма	100,00	100,00	100,00
Fc/№	400	401	781
Ca	4,65	4,82	4,66
P	3,00	3,00	3,10
Sr	0,36	0,18	0,08

Примечание: суммы нормированы

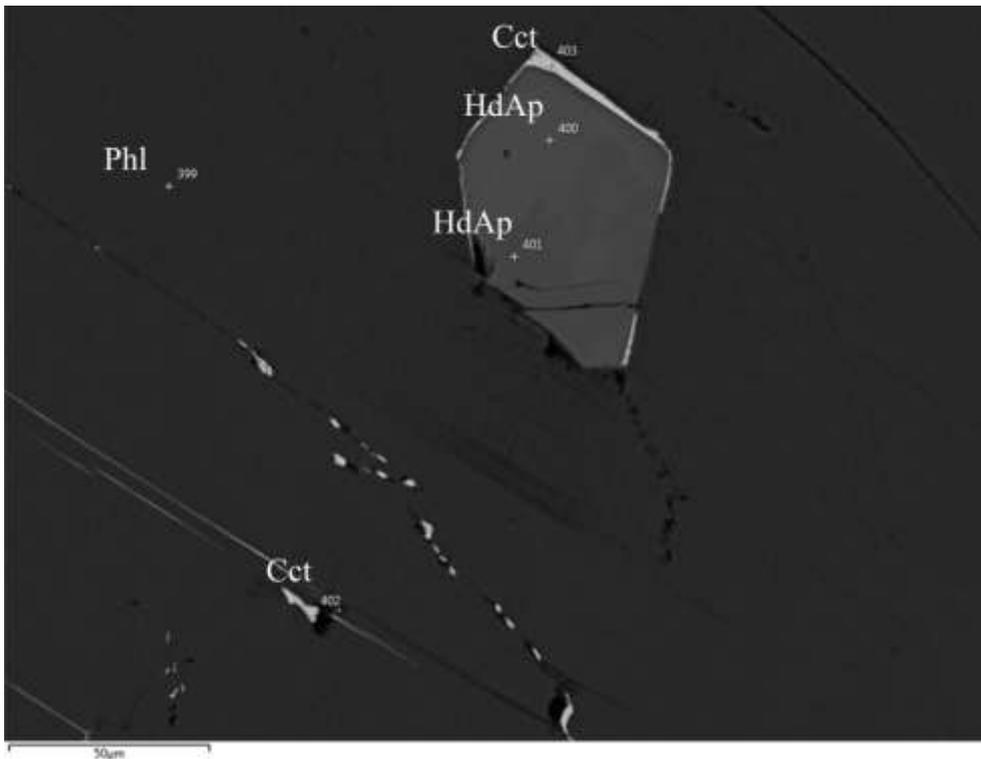


Рисунок 24 зерно гидроксилapatита (HdAp) в флогопите (КР-2).

Бритолит-Се встречается в виде отдельных зерен щелочном сиените и по соседству с Y-Zr-Ti фазой. Химический состав приведен в таблице 46.

Формула для спектра 471:

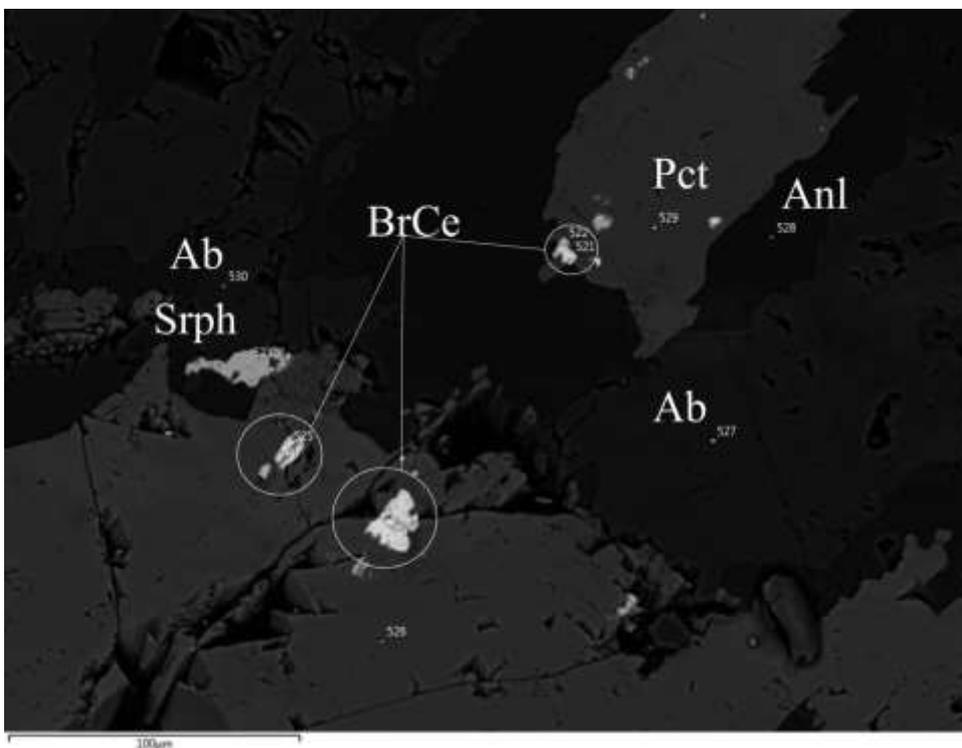
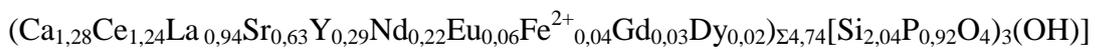


Рисунок 25 Зерна бритолита-Се в ассоциации с пектолитом (Pct) и сронадельфитом (Srph) в щелочном сиените

3.3.2. Стронладельфит и фторапатит

В щелочных породах Кондерского массива широко распространены фосфаты группы апатита. Они образуют фторсодержащую разновидность – фторапатит и его стронциевый аналог – стронладельфит

В породе эти минералы находятся в виде небольших, размером до 200 микрометров, выделений неправильной формы. Также могут заполнять пространство вокруг зерен других минералов (рис. 25). Методы, использованные для их диагностики не позволяют определить распределение элементов по структурным позициям. Поэтому, например, такие анализы как спектр 287, будут отнесены к фторапатиту под вопросом, из-за возможности отнесения его к другому минеральному виду. Тем не менее по химическому составу из таблицы 3 видно, что кальций со стронцием замещают друг друга. На (рис. 26) можно наблюдать анализы с высоким содержанием кальция в центре зерна и с высоким содержанием стронция по периферии. Для минералов характерно присутствие примесей натрия, лантана, церия и ниодима.

Таблица 3

Химический состав стронладельфита и фторапатита и пересчет его в формульные коэффициенты на 25 зарядов

мас, %/	285	287	288	289	290	291	292	293	294	495	522	523
Na ₂ O	0,59	0,80	0,28	0,40	-	0,62	-	-	0,26	1,29	0,43	-
CaO	43,27	32,18	19,37	21,00	6,69	6,41	6,75	26,72	11,84	1,65	3,20	4,91
FeO	-	-	-	-	0,94	0,74	0,53	-	0,35	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	0,60	-	-	-	3,21	-	-
P ₂ O ₅	39,03	36,15	32,82	32,89	29,70	28,90	30,48	34,69	31,49	30,29	29,02	30,09
SrO	13,85	24,94	42,97	39,60	58,16	52,28	59,44	36,36	53,90	61,14	62,89	62,39
La ₂ O ₃	-	1,58	0,87	1,80	1,08	4,22	1,13	-	-	-	1,09	0,43
Ce ₂ O ₃	1,14	1,97	1,46	2,77	1,69	5,31	1,67	-	0,65	-	1,64	0,89
Nd ₂ O ₃	-	0,60	-	-	-	0,92	-	-	-	-	-	-
F	2,12	1,78	2,23	1,54	1,74	-	-	2,22	1,51	2,42	1,75	1,29
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fc/№	285	287	288	289	290	291	292	293	294	495	522	523
Na	0,10	0,15	0,06	0,08	-	0,14	-	-	0,06	0,29	0,10	-
Ca	4,16	3,34	2,18	2,38	0,83	0,81	0,84	2,86	1,42	0,21	0,41	0,62
Fe ²⁺	-	-	-	-	0,09	0,07	0,05	-	0,03	-	-	-
Ba	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	0,15	-	-
P	2,96	2,97	2,92	2,95	2,93	2,90	2,98	2,93	2,98	2,99	2,94	3,01
Sr	0,72	1,40	2,62	2,43	3,93	3,59	3,98	2,11	3,49	4,13	4,36	4,28
La	-	0,06	0,03	0,07	0,05	0,18	0,05	-	-	-	0,05	0,02
Ce	0,04	0,07	0,06	0,11	0,07	0,23	0,07	-	0,03	-	0,07	0,04
Nd	-	0,02	-	-	-	0,04	-	-	-	-	-	-
F	0,60	0,55	0,74	0,52	0,64	-	-	0,70	0,53	0,89	0,66	0,48

Примечание: количество фтора расчетное, суммы нормированы

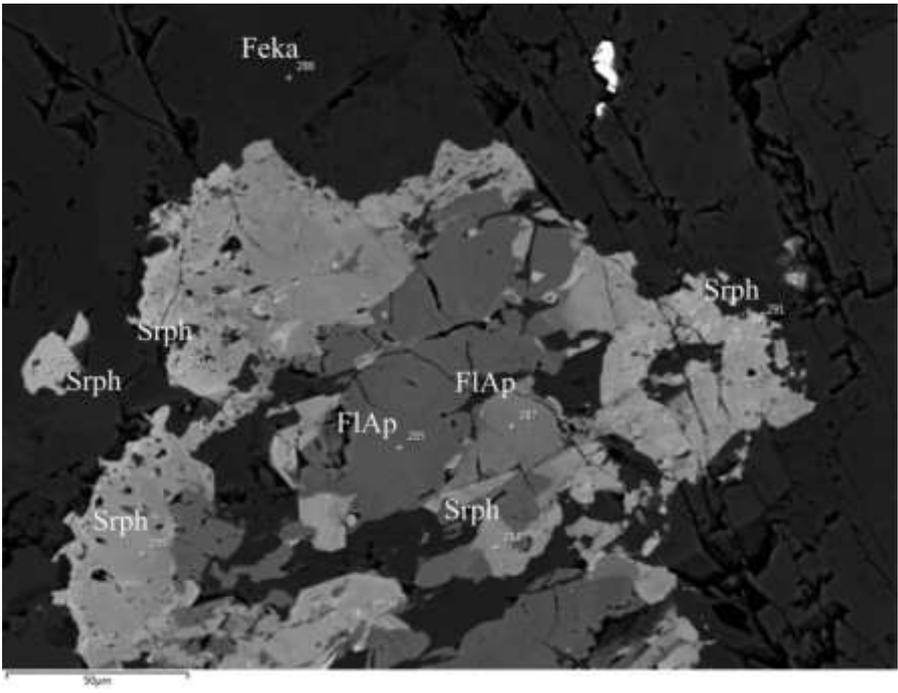


Рисунок 26 Зональное выделение фторапатита (FlAp) и стронадельфита (Srph) (Ksh 3-1)

3.3.2 Пектолит

Пектолит – силикат из группы волластонита, первичный минерал в нефелиновых сиенитах. В образцах находится в виде ксеноморфных зерен (рис. 25). Либо в виде субидиоморфных, возможно реликтовых зерен (рис. 27а). Химический состав пектолита приведен в таблице 43, и для спектра 498 имеет формулу: $Na_{0,95}(Ca_{1,81}Mn_{0,07})[Si_{3,02}O_8]$

Содержит примеси титана TiO_2 и алюминия Al_2O_3 (до 1 масс%); примеси железа и марганца (до 2-3 масс% FeO).

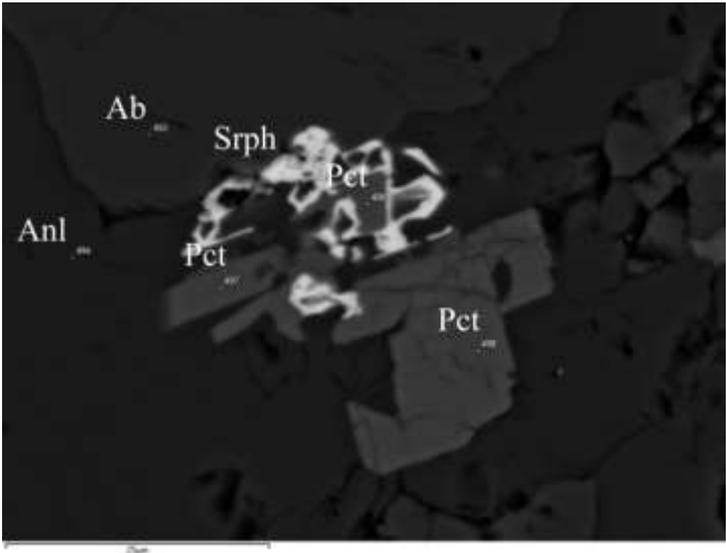


Рисунок 27 Развитие стронадельфита вокруг зерна пектолита

3.3.3. Строналсит и стронцианит (?)

В щелочных сиенитах довольно широко распространены минералы, содержащие стронций в виде примесей и минералы стронция. Строналсит встречается часто, и может образовывать крупные выделения как на (рис. 21, 28). Стронцианит ассоциируется вместе с ним в виде небольших зерен и мелкой вкрапленности (рис. 21, 28). Их химический состав представлен в таблицах 4,5. Оба содержат в качестве примеси барий, но в строналсите его в разы больше (от 3,9 до 7,74 мас% BaO). Скорей всего это связано с тем, что стронцианит, является одним из наиболее поздних минералов.

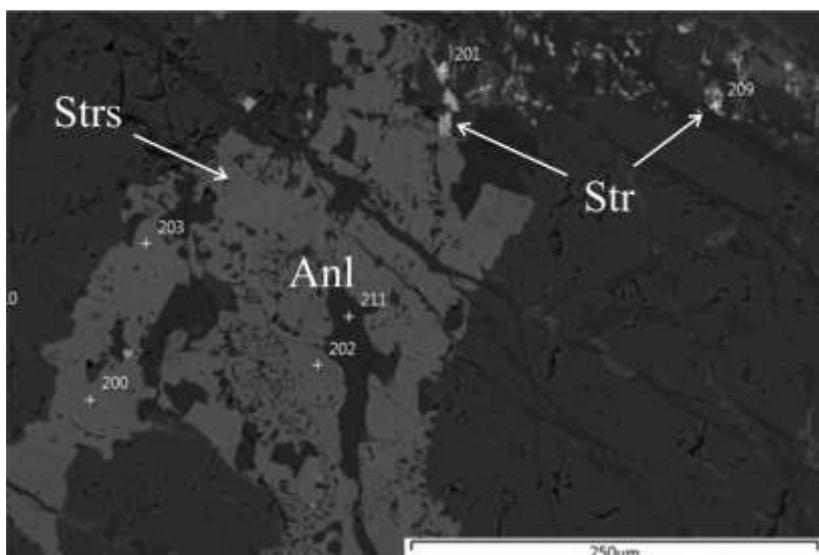


Рисунок 28 Крупное выделение стрональсита (Strs) и мелкие скопления стронцианита (Str)

Таблица 4

Химический состав строналсита и пересчет его в формульные коэффициенты на 16 кислорода

мас.%/№	200	202	203	214
Na ₂ O	9,76	10,65	9,84	9,88
SiO ₂	39,20	41,40	39,07	39,27
Al ₂ O ₃	32,94	32,05	32,53	32,88
FeO	0,26	-	-	0,36
BaO	5,04	5,92	7,75	3,90
SrO	12,80	9,98	10,82	13,72
Сумма	100,00	100,00	100,01	100,01
Fc/№	200	202	203	214
Na	1,94	2,09	1,98	1,96
Si	4,03	4,20	4,05	4,03
Al	3,99	3,83	3,97	3,97
Fe ²⁺	0,02	-	-	0,03
Ba	0,20	0,24	0,31	0,16
Sr	0,76	0,59	0,65	0,82

Таблица 5

Химический состав стронцианита

№ сп	201	209	260
O	33,48	33,97	31,63
Na	-	0,34	-
Al	-	0,86	-
K	-	0,16	-
Ca	4,68	4,35	-
Sr	60,96	59,66	66,88
Ba	0,88	0,66	1,48
Сумма	100,00	100,00	100,00

Примечание: суммы нормированы

3.3.4. Гидроксиканкринит и лампрофиллит

Близкий по своему составу к канкриниту, гидроксиканкринит находится рядом с метасоматическим контактом. Соседствует с пектолитом и томсонитом-Sr. Из таблицы 6 видно, присутствие элементов примесей стронция и кальция.

Таблица 6

Химический состав гидроксиканкринита и пересчет его в формульные коэффициенты на 25 зарядов

мас,%/№	252	253	265	468	538	986
Na ₂ O	21,76	21,15	18,59	21,14	19,11	20,20
SiO ₂	39,47	39,5	40,23	38,31	41,14	40,45
Al ₂ O ₃	31,4	31,63	32,09	31,41	31,56	31,63
CaO	1,95	2,97	1,19	1,53	0,84	2,73
SrO	5,43	4,76	7,9	7,61	7,35	4,99
Сумма	100,01	100,01	100	100,00	100,00	100,00
Fc/№	252	253	265	468	538	986
Na	6,56	6,35	5,59	6,46	5,73	6,03
Si	6,14	6,12	6,24	6,03	6,36	6,23
Al	5,75	5,78	5,87	5,83	5,75	5,75
Ca	0,32	0,49	0,2	0,26	0,14	0,45
Sr	0,49	0,43	0,71	0,7	0,66	0,45

Примечание: суммы нормированы

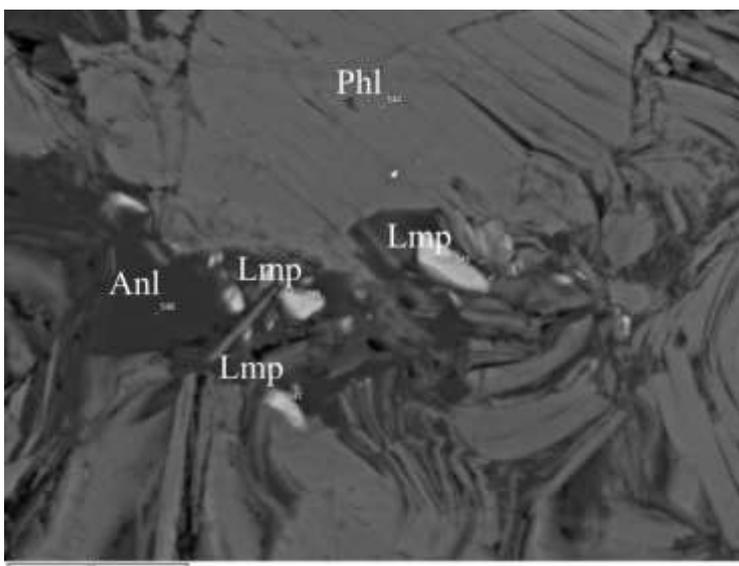


Рисунок 29 зерна лампрофиллита между зернами флогопита на контакте с щелочным сиенитом (Ksh 3-1).

Лампрофиллит еще один минерал характерный для нефелиновых сиенитов, встречается среди цеолитов и слюд на метасоматическом контакте. Зерна вытянутые, овальные и выглядят как остатки в результате изменения и разрушения реликтовых зерен (рис. 29). Химический состав приведен в таблице 7.

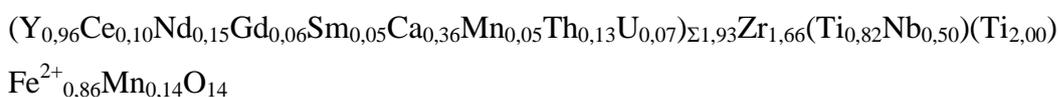
Таблица 7

Химический состав лампрофиллита и пересчет его в формульные коэффициенты на 34 заряда

мас, %/№	545	546	547
K ₂ O	-	0,63	0,70
Na ₂ O	10,59	10,11	10,92
SiO ₂	34,11	33,77	36,30
TiO ₂	26,77	25,62	22,83
Al ₂ O ₃	1,15	2,72	5,31
MgO	3,25	2,29	2,81
FeO	5,90	7,08	5,53
MnO	1,82	1,92	1,32
SrO	16,41	15,87	14,27
сумма	100,00	100,00	100,00
Fc/№	545	546	547
K	-	0,10	0,10
Na	2,46	2,36	2,47
Si	4,09	4,06	4,24
Ti	2,42	2,32	2,01
Al	0,16	0,39	0,73
Mg	0,58	0,41	0,49
FeO	0,59	0,71	0,54
Mn	0,18	0,20	0,13
Sr	1,14	1,11	0,97

3.3.5 Y-Zr-Ti фаза

В щелочных сиенитах была диагностирована иттрий- циркон- титановая фаза. Кристаллы размером около 50 микрометров имеют вытянутую форму и зональное строение. Химический состав пересчитан в формульные коэффициенты на 14 атомов кислорода для спектра 469:



Такой химический состав (табл. 45) не был описан, поэтому данная фаза может являться новым минеральным видом из группы цирконолита. Для данных зерен был проведен рентгеноструктурный анализ, но пока структуру расшифровать не удалось. Подобные зерна зафиксированы и на других участках образца.

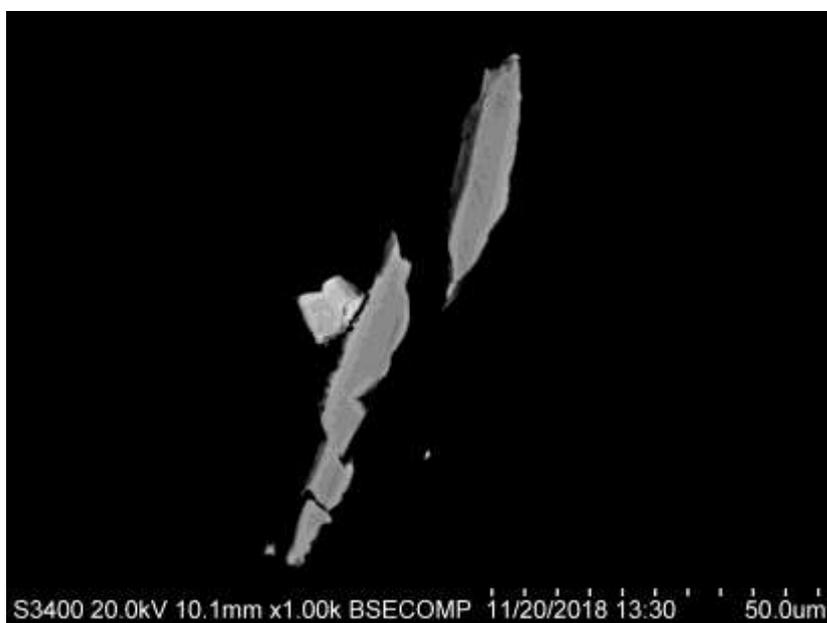


Рисунок 30 два вытянутых зерна Y-Zr-Ti фазы

3.3.6. Карролит, галенит, троилит (?), пентландит, бадделеит, кобальтит и Th-U фаза

Вышеперечисленные минералы обнаружены в образцах в единичных редких зернах. В рудных пироксенитах галенит и карролит встречается в краевых частях медносульфидных образований (рис 31а,б).

Таблица 8

Химический состав карролита

№/W%	S	Fe	Ni	Cu	Co	Сумма
430	39,46	2,42	11,64	21,38	25,1	100

Таблица 9

Химический состав галенита

№/W%	S	Cu	Pb	Сумма
707	12,17	6,3	80,51	99,2

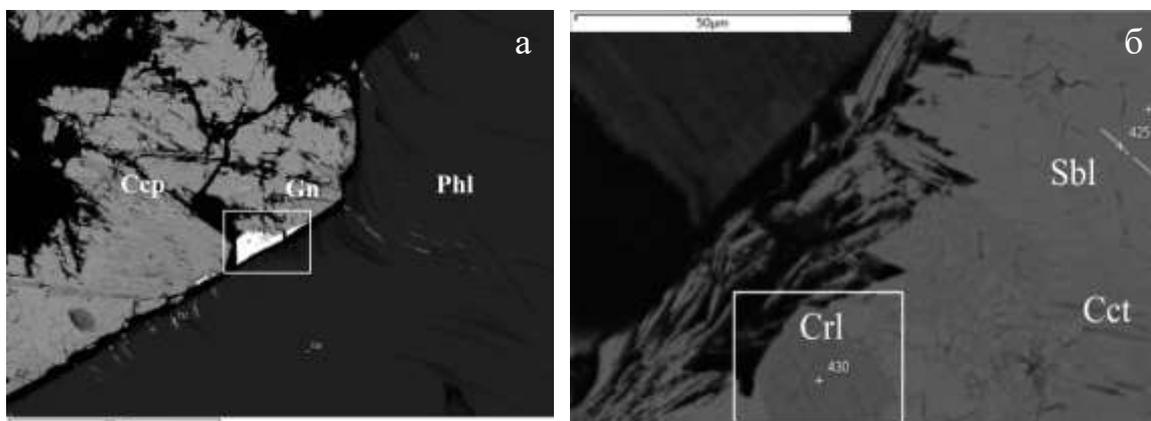


Рисунок 31 галенит в краевой части зерна халькозина (а); карролит по зерну халькозина из рудных пироксенитов (б)

Пентландит, встречается в виде тонких микровключений во флогопите на контакте с дунитом (рис. 32). Следует отметить, что в некоторых минералах из этой зоны были обнаружены примеси никеля.

Таблица 10

Химический состав пентландита

№/W%	S	Fe	Co	Ni	сумма
562	32,69	27,69	2,59	37,03	100,00
566	32,37	28,41	2,55	36,66	100,00
567	32,23	28,12	2,46	37,19	100,00

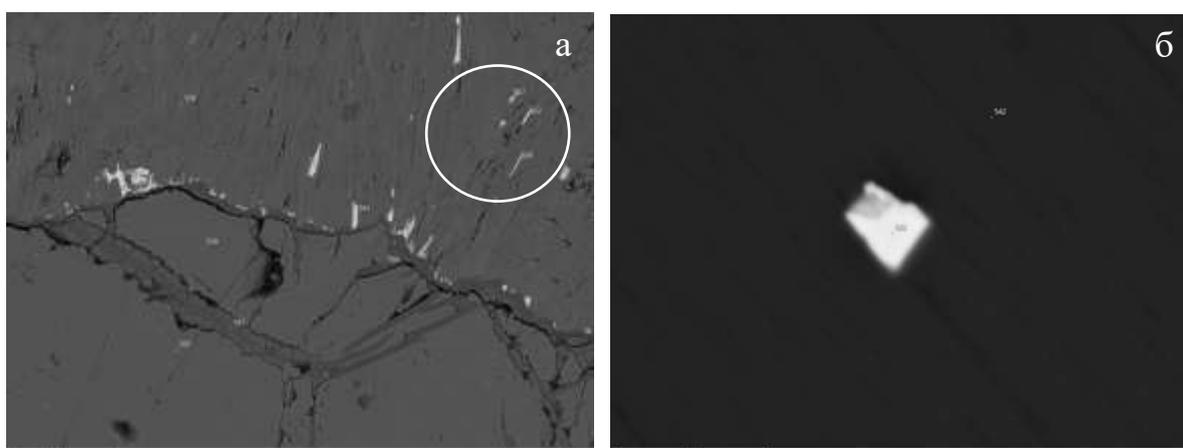


Рисунок 32 Микровключения пентландита во флогопите (а); зерно U-Th во флогопите

Остальные минералы зафиксированы в основном на метасоматическом контакте с щелочным сиенитом. В виде мелких редких зерен в межзерновом пространстве

флогопита или других нерудных минералов (рис. 32б; 33а,б). Троилит является редким минералом и вполне может быть пирротином, так как его диагностика проведена только с помощью ЭДС-анализа. Он встречается в изометричных зернах размером около 200 микрон (рис 21).

Таблица 11

Химический состав троилита

№/W%	S	Fe	Cu	сумма
199	36,51	63,49	0,00	100,00
256	36,46	63,54	0,00	100,00

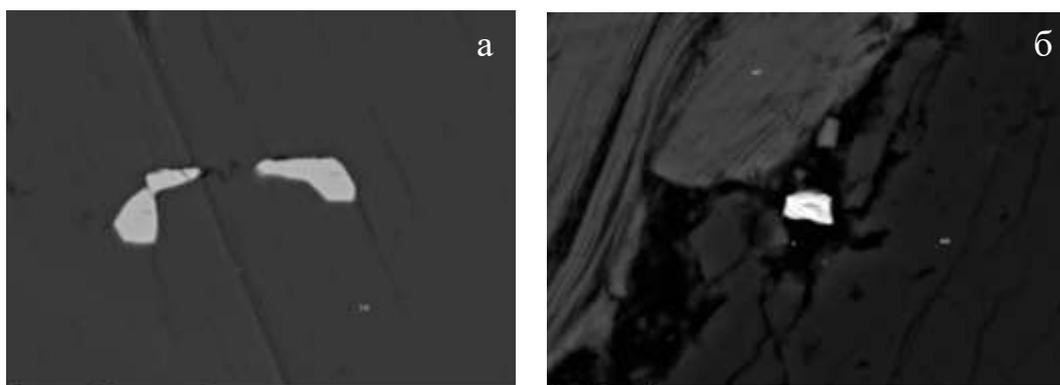


Рисунок 33 зерна бадделеита в флогопите (а); кобальтит между зерном флогопита и анальцимом (б);

Таблица 12

Химический состав кобальтита

№/W%	S	Fe ²⁺	Ni	Co	As	Сумма
486	19,44	4,3	4,15	26	46,72	100,61

Таблица 13

Химический состав бадделеита

№/W%	O	Fe ²⁺	Zr	Hf	Сумма
554	21,86	0,73	69,92	1,46	93,97
555	20,95	0,68	69,49	1,5	92,63

Кобальтит и бадделеит могут являться результатом перекристаллизации и очищения ранее образовавшихся минеральных фаз.

Таблица 14

Химический состав U-Th

№/W%	O	Si	FeO	Th	U	Сумма
541	14,43	0,54	1,85	71,84	10,99	99,64

3.4. Благороднометальная минерализация

Благородная минерализация наблюдается в виде микровключений в краевых частях и медносульфидных образований, и реже в нерудных минералах. Представлены платиноиды соболевскитом, масловитом и неопределенной платиносодержащей фазой (Табл. 16, спектр 418, 419,420).

Размеры зерен минералов платиновых металлов колеблются от 5-10 до 100 микрометров. Наблюдаются они в халькозине (рис. 34б), а в основном, в краевых частях медносульфидных образований (рис 34 а).

Таблица 15

Химический состав соболевскита

№/W%	Pd	Te	Bi	Сумма
602	37,61	20,64	41,74	100,00
603	37,49	21,66	40,84	100,00
604	37,71	19,47	42,81	100,00
654	37,20	16,62	46,18	100,00
655	37,62	17,42	44,96	100,00
716	36,72	18,01	45,27	100,00
424	37,33	26,06	36,62	100,00
425	36,91	18,04	45,05	100,00
431	37,16	21,04	41,80	100,00
1_05	35,53	12,93	51,54	100,00
1_04	36,83	22,26	40,91	100,00

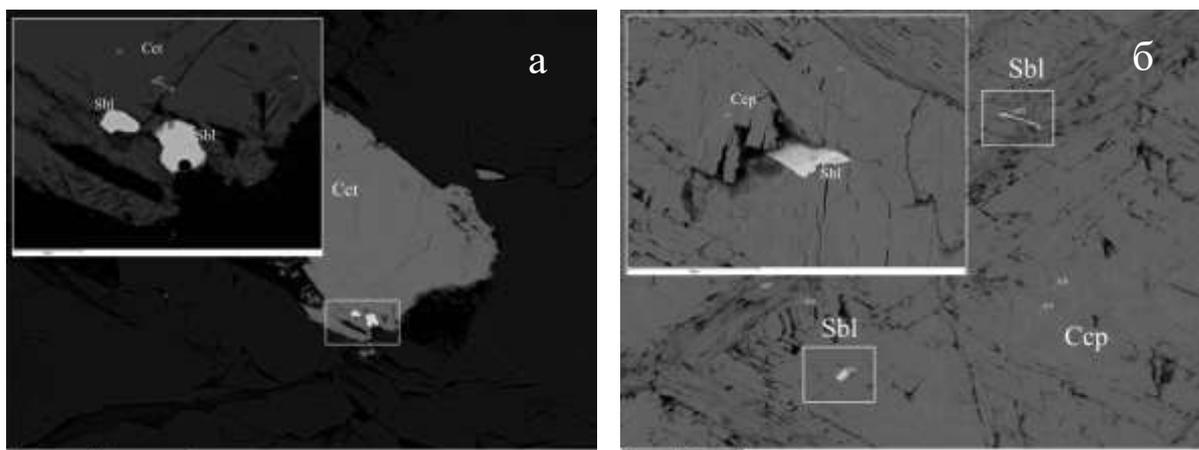


Рисунок 34 Кристаллизация соболевскита в краевой части зерна халькозина (а); в трещинах халькозина (б).

Наиболее распространенный минерал из группы платиноидов – соболевскит. Наблюдается в виде удлиненных и изометрические выделений (рис. 34а,б). Химические составы соболевскита – в таблице 15. Зерна соболевскита диагностированы в рудных пироксенитах и в слюдитах, так же в краевых частях зерен халькозина.

Анализы, содержащие платину представлены масловитом и фазой по составу приближающейся к мончеиту (спектр 418-420) (рис. 35а), химические составы представлены в (табл. 16). Так же встречаются в краевых зонах халькозиновых выделений (рис 35б). Масловит может образовывать сростания с соболевскитом.

Таблица 16

Химический состав масловита (спектр 423) и Те-Pt-Bi фазы

№/W%	Te	Pt	Bi	Сумма
418	47,88	39,68	12,43	100,00
419	47,12	40,50	12,38	100,00
420	47,99	40,29	11,71	100,00
423	28,01	35,90	36,09	100,00

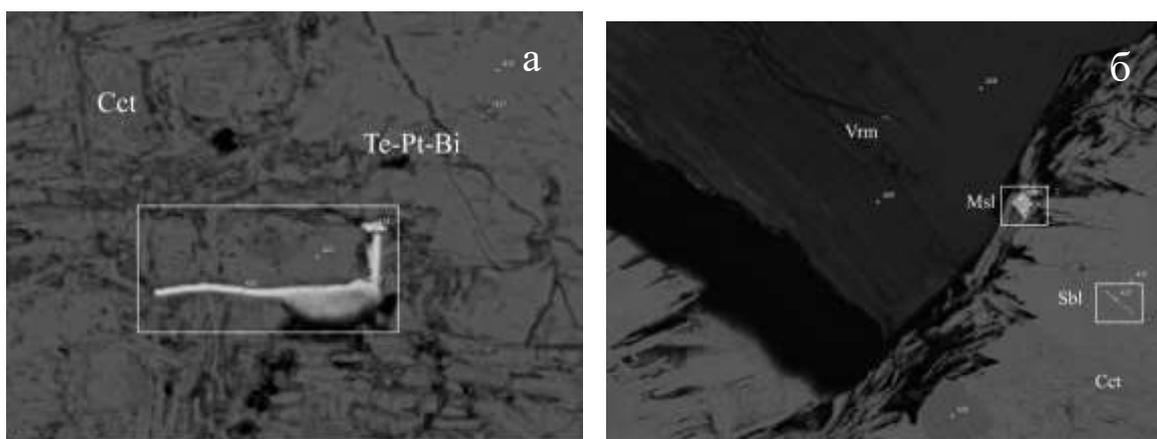


Рисунок 35 Удлиненные и изометрические выделения масловита в сростании с соболевскитом (б) и Те-Pt-Bi (а) фазы в трещинах и краевой части халькозина.

Фазы, содержащие серебро и золото диагностированы: в краевых частях медносульфидных образований из рудных пироксенитов (рис. 36б); в амфибол-цеолитовых прожилках в виде золото-сульфидной вкраплённости (рис 36а); в зоне окисления рудных пироксенитов (рис 37). Зерна имеют округлую форму, их размер не превышает 50 микрон.

Ag-содержащие фазы диагностированы как акантит, только из зоны окисления рудных пироксенитов (спектры 34-36, 39-42). Остальные анализы не расшифрованы

из-за высокого содержания посторонних примесей. Химический составы приведены ниже в таблице 17.

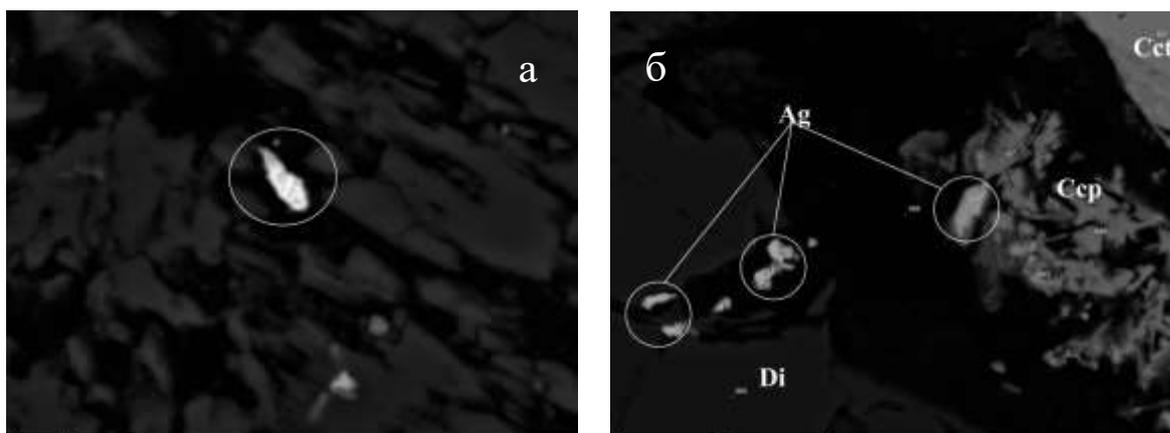


Рисунок 36 Вкрапленность серебра из амфибол-цеолитового прожилка (а); серебросодержащие фазы в краевых частях халькозин-халькопиритовых образований (б) из рудных пироксенитов.

Таблица 17

Химический состав акантита и других Ag-Au фаз

№/W%	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe ²⁺	Cu	Ag	Au	Сумма
661	15,12	-	1,48	0,83	1,16	5,93	-	-	0,76	0,94	73,79	-	100,01
662	19,98	-	1,28	0,61	2,19	4,77	-	0,63	1,23	-	69,30	-	100,00
663	7,97	-	0,38	4,16	0,79	14,33	0,28	-	2,56	52,61	16,91	-	99,99
681	14,75	0,75	-	4,22	3,09	-	-	1,34	-	30,04	4,47	41,32	99,99
687	21,78	0,88	1,44	8,61	6,73	-	0,39	3,62	0,75	8,87	5,88	41,03	99,98
692	16,03	-	0,66	4,48	2,79	10,12	-	1,51	-	-	64,42	-	100,01
34	-	-	-	-	0,17	6,59	-	-	-	4,53	88,71	-	100,00
35	-	-	-	-	0,17	6,61	-	-	-	4,79	88,43	-	100,00
36	-	-	-	-	0,31	6,13	-	-	-	5,71	87,85	-	100,00
39	27,86	-	-	-	1,69	4,80	-	-	-	24,71	40,94	-	100,00
40	2,25	-	-	-	0,22	6,30	-	-	0,24	5,41	85,59	-	100,00
41	3,80	-	-	-	0,24	6,95	-	-	-	5,75	83,27	-	100,00
42	2,10	-	-	-	0,16	12,60	-	-	-	6,05	79,10	-	100,00
47	31,94	-	0,21	0,14	7,11	3,22	-	-	-	27,87	29,51	-	99,99
52	27,54	-	-	-	5,65	6,64	-	-	-	21,45	38,71	-	100,00

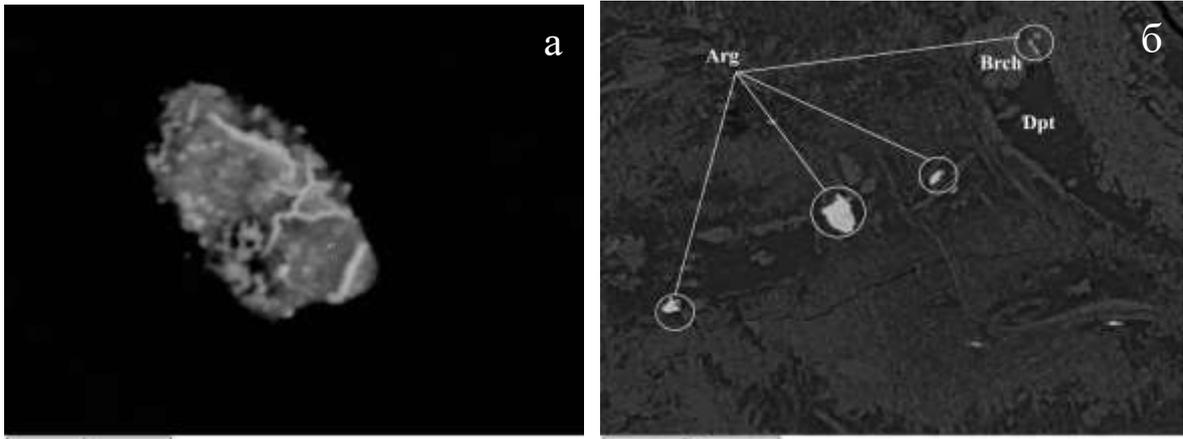


Рисунок 37 Зерна аргентита в брошантит-диоптазовой (Brch-Dpt) массе из зона окисления рудных пироксенитов

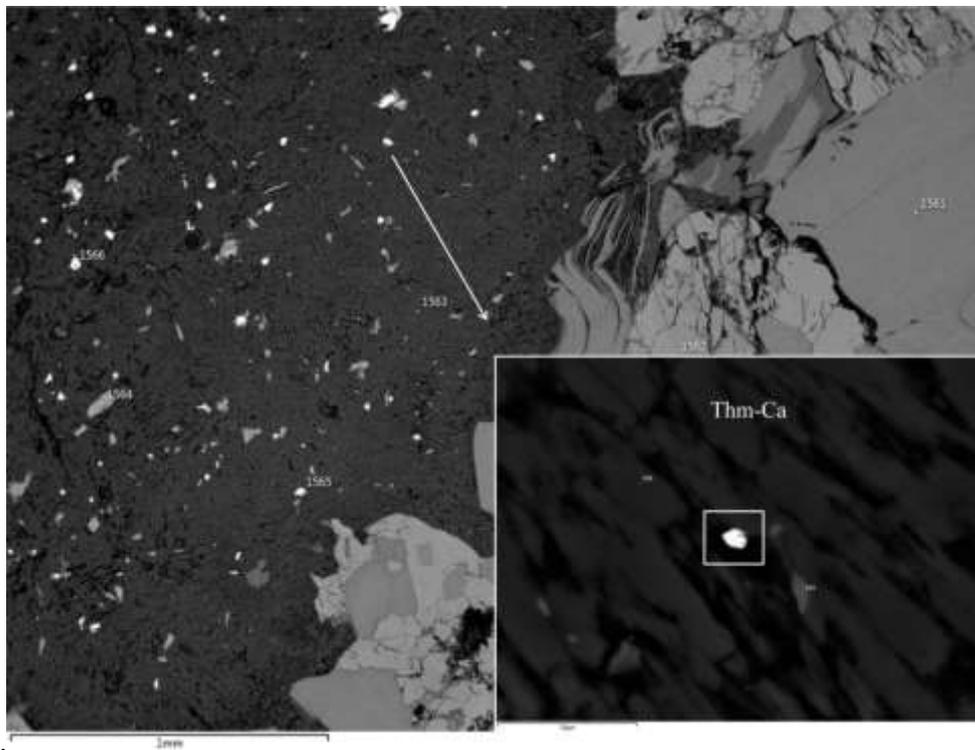


Рисунок 38 Вкрапленность золота и сульфидов в амфибол-цеолитовом прожилке из рудного пироксенита.

4.МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ РУДНЫХ ПИРОКСЕНИТОВ

Одновременно с рудными пироксенитами рассмотрены образцы, отобранные на участках выхода коренных пород. Которые, видимо, являются продуктами разрушения и окисления рудных пироксенитов и других сопряженных с ними тел. В целом главными фазами, присутствующие в породах, являются минералы меди, сульфиды и силикаты (брошантит, малахит, диоптаз) и реликтовые диопсид, флогопит и вермикулит.

«Малахитоподобные» породы морфологически представляют собой сплошные массы яркого голубовато-зеленого цвета с обилием включений (рис 39). В полостях (до 2 см), отмечены рыхлые порошкообразные агрегаты коричневого и светлозеленого цветов. В породе также встречается большое количество пластинчатых агрегатов слюды и крупные включения темно-бурых изометричных зерен. В первом приближении, кажется, что основная масса представлена сплошным плотным зеленым минералом. Но на микроуровне проявляется неоднородность и разнообразие минерального состава породы.



Рисунок 39 Образец с поверхности из зоны окисления рудных пироксенитов.

Включения более темные и плотные включения имеют реликтовый вид, представлены диопсидом, амфиболом (ферри-катафоритом), флогопитом и вермикулитом (рис. 40).

По результатам ЭДС-анализа установлено, что пироксены представлены диопсидом. В породе он находится в виде крупных зерен, имеющих реликтовый вид (рис 40).

По химическому составу отличается от диопсида из рудных пироксенитов, он менее натровый и более магнезиальный (рис 11). Также с более высоким содержанием хрома (от 0,13 до 1,27 масс% Cr_2O_3). Химический состав диопсидов представлен в приложении 1 (спектры 6-62). Рассчитанные коэффициенты для одного из анализов (спектр 6), дают формулу:

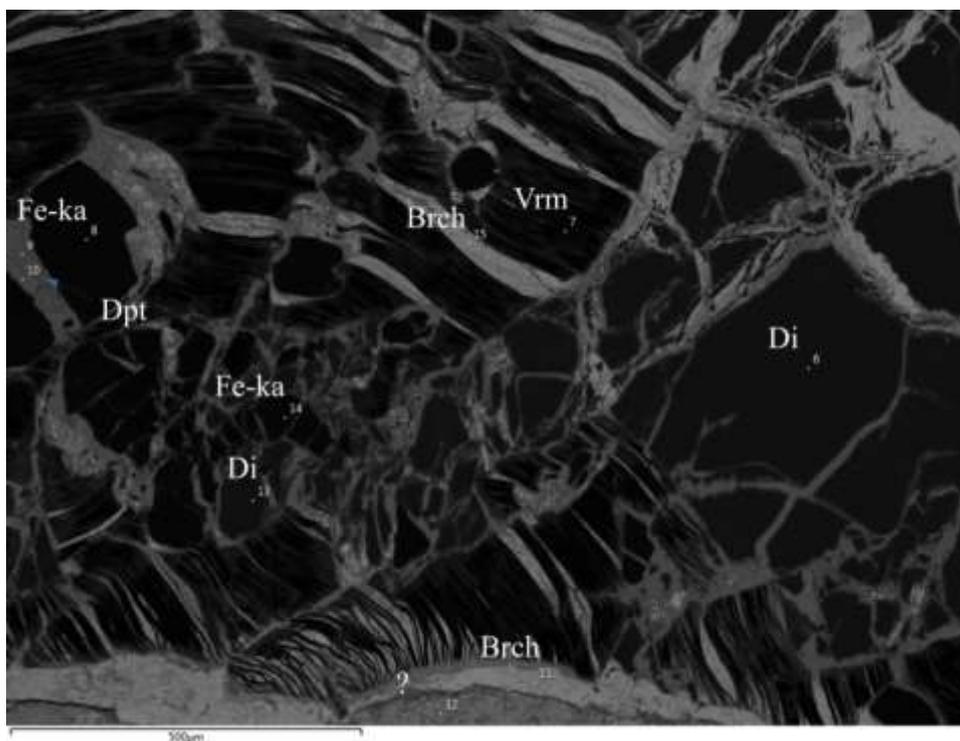
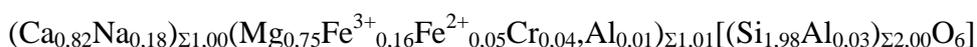


Рисунок 40 Реликты крупных зерен диопсида и ферри-катафорита.

Слюды в образцах имеют переменный состав и представляют собой высокомагнезиальную и низко щелочную разновидность слюд ряда биотит-флогопит. Пример химического состава флогопита: $(\text{K}_{0,62}\text{Na}_{0,31})_{0,93}(\text{Mg}_{2,55}\text{Fe}^{+2}_{0,34}\text{Al}_{0,07}\text{Ti}_{0,05}\text{Cr}_{0,02})_{3,03}[(\text{Al}_{1,18}\text{Si}_{2,82})_{4,00}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ (спектр 127). Флогопит встречается в виде реликтовых зерен (рис. 41), но по большей степени гидратирован, и замещен вермикулитом. Разрушение по трещинам спайности здесь проявлено отчетливей, чем в рудных пироксенитах, но в

целом имеет схожий вид (рис. 43). Пример расчета на формульные коэффициенты для спектра 64: $Mg_{0,61}H_2O(Mg_{1,83}Fe^{+2}_{1,05}Ti_{0,09}Cr_{0,03})_{3,00}[(Si_{2,81}Al_{0,98}Fe^{+2}_{0,21})_{4,00}O_{10}](OH)_2$

По химическому составу отличаются от слюд из рудных пироксенитов низким содержанием калия во флогопите, и полным его отсутствием в вермикулите (рис. 13). В качестве примеси содержит в целом больше хрома (0,53-0,69 масс% Cr_2O_3) и титана (1,71-2,08 масс% TiO_2)

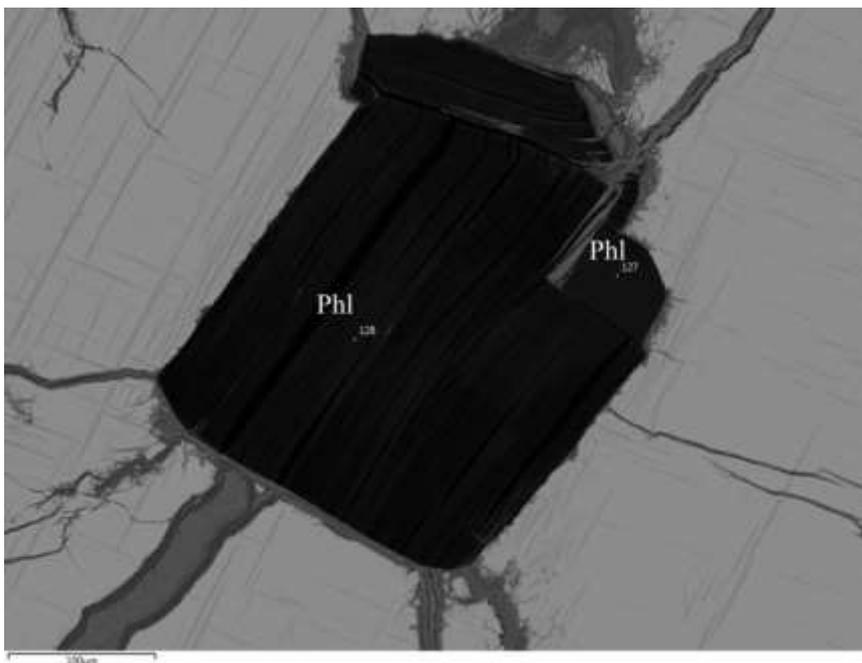


Рисунок 41 Зерно флогопита.

Амфиболы в образцах встречаются редко, на участках менее подверженных разрушениям (рис. 40). Здесь они представлены в виде крупных субидiomорфных зерен. По результатам нескольких спектров диагностированы, как амфиболы, относящийся к промежуточным членам в группе катафорита (ферри-катафорит).

По составу близок к ферри-катафориту из рудных пироксенитов но с меньшим содержанием натрия (рис. 17). Химический состав в таблице 39. Расчет формульных коэффициентов на 46 зарядов для спектра 8: $(Na_{0,84}K_{0,16})_{1,00}(Ca_{1,23}Na_{0,84})_{2,07}(Mg_{3,93}Fe^{+2}_{0,74}Fe^{+3}_{0,03}Cr_{0,11}Ti_{0,09}Mn_{0,04}Al_{0,06})_{5,00}[(Si_{7,32}Al_{0,68})_{8,00}O_{22}](OH)_2$

Основная породообразующая масса сложена тонкокристаллическим агрегатом малахита, брошантита, диоптаза, хризоколлы(?) и сульфидов меди. Эта измененная и неоднородная масса гипергенных минералов, имеет переходный химический состав, который не до конца удалось диагностировать. Но рентгенофазовый анализ показал, что основной минеральной фазой в породе является малахит и брошантит. Среди включений в основной массе, были установлены редкие но крупные зерна магнетита, мелкая вкрапленность аргентита и фазы содержащей свинец.

На микроуровне малахит имеет вид игольчатых радиально-лучистых агрегатов. (рис. 42). Химический состав малахита представлен в таблице 18 без расчёта коэффициентов. Кроме того из разных участков образцов, с различной степенью развития зеленого минерала был отобран материал и проведен рентгенофазовый анализ. По результатам которого, в пяти навесках из шести был диагностирован малахит.

Таблица 18

Химический состав малахита

№/W%	O	Mg	Si	P	S	Fe ²⁺	Cu	Сумма
29	30,01	0,94	-	-	-	0,29	53,43	84,67
74	30,06	-	-	-	-	0,49	53,66	84,20
75	30,82	-	2,09	0,14	1,25	3,30	52,14	89,74
80	29,83	0,36	0,51	-	-	0,57	55,22	86,50
100	30,24		-	-	-	-	55,06	85,31
101	31,05	-	3,06	-	-	-	53,56	87,68
102	31,49		3,85	-	-	-	53,00	88,34
108	28,80	-	0,74	-	0,19	3,00	54,07	86,81

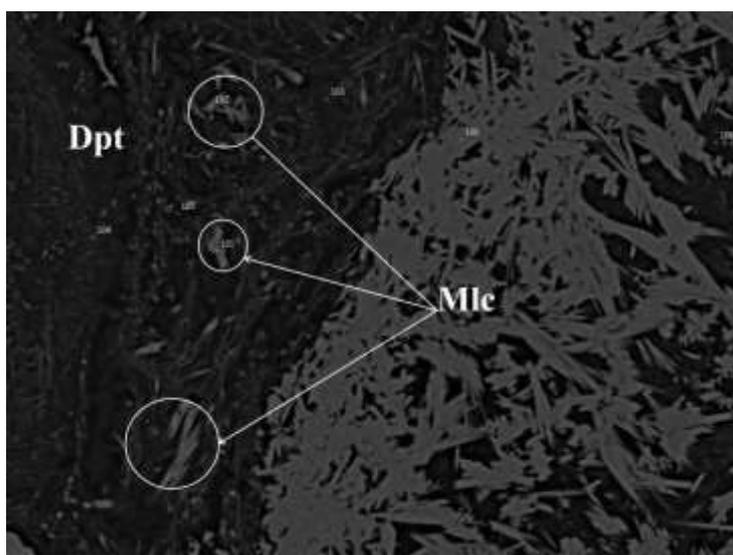


Рисунок 42 Выделения диоптаза с радиально-лучистыми агрегатами малахита

Брошантит один из минералов, слагающий большую часть породы вместе с диоптазом (рис. 43). Обнаружен при помощи рентгенофазового анализа в двух навесках. Химический состав примерно постоянный, представлен в (табл. 19), расчетная формула для анализа 57 имеет вид: $Cu_{3,96}(S_{1,01}O_4)(OH)_6$. В некоторых анализах присутствует примесь железа (до 1 масс% FeO). Нужно отметить, что прорастания брошантита и диоптаза сквозь агрегаты вермикулита по плоскостям спайности, повторяют развитие халькозина в слюдах из рудных пироксенитов (рис. 12). То есть можно утверждать о процессах перехода сульфидов меди в медные сульфаты и силикаты.

Таблица 19

Химический состав брошантита и пересчет на формульные коэффициенты (на 5 катионов).

мас%/№	11	15	38	57	58	67
SiO ₂	1,72	3,11	-	-	0,28	0,73
SO ₃	19,22	19,09	20,21	20,48	20,33	20,32
FeO	0,36	1,12	-	-	0,26	0,00
CuO	78,69	76,69	79,79	79,52	79,13	78,96
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	11	15	38	57	58	67
Si	0,11	0,20	-	-	0,02	0,05
S	0,95	0,94	0,90	1,01	1,01	1,00
Fe ²⁺	0,02	0,06	-	-	0,01	0,00
Cu	3,92	3,82	3,58	3,96	3,94	3,93

Примечание: суммы нормированы

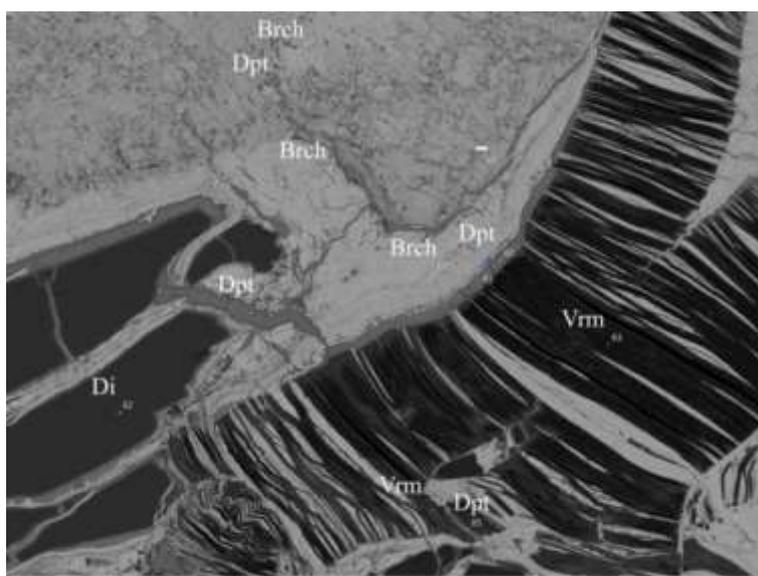


Рисунок 43 реликты пироксена и вермикулита в массе брошантита (Brch) и диоптаза (Dpt).

Диоптаз развивается по краям зерен минералов (диопсида, вермикулита), по трещинам спайности в слюдах (рис. 43), а также находится вместе с малахитом и брошантитом в виде химически и оптически неоднородной смеси (рис. 42).

Таблица 20

Химический состав диоптаза и пересчет на формульные коэффициенты (36 зарядов)

мас%/	9	10	30	31	49	59	60	61	65	66	70	83	105
SiO ₂	46,3	44,6	47,8	45,1	42,1	44,5	45,8	44,0	43,8	43,4	39,8	43,8	41,4
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	0,50	-	-	1,70	1,44	0,50	-	1,18	-
MgO	0,70	0,64	0,52	0,68	0,63	0,86	0,74	3,71	4,13	0,86	-	2,99	0,48
CaO	0,20	0,21	0,15	0,20	-	0,17	-	0,17	-	-	0,27	0,30	0,36
FeO	0,57	0,60	0,80	0,95	0,25	-	0,64	3,35	4,10	0,34	3,05	1,62	0,37
NiO	-	-	-	-	-	-	-	0,61	0,79	-	-	-	-
CuO	52,1	53,8	50,7	53,0	56,5	54,4	52,7	46,4	45,7	54,8	56,8	50,1	57,3
Сумма	100,	100,	100,	100,	100,	100,	100,	100,	100,	100,	100,	100,	100,
Fc/№	9	10	30	31	49	59	60	61	65	66	70	83	105
Si	6,23	6,11	6,35	6,14	5,88	6,09	6,2	5,86	5,85	5,98	5,71	5,9	5,84
Al	-	-	-	-	0,08	-	-	0,27	0,23	0,08	-	0,19	-
Mg	0,14	0,13	0,1	0,14	0,13	0,17	0,15	0,74	0,82	0,18	-	0,6	0,1
Ca	0,03	0,03	0,02	0,03	-	0,03	-	0,02	-	-	0,04	0,04	0,05
Fe ²⁺	0,06	0,07	0,09	0,11	0,03	-	0,07	0,37	0,46	0,04	0,37	0,18	0,04
Ni	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,08	-	-	-	-
Cu	5,3	5,56	5,09	5,44	5,96	5,62	5,39	4,67	4,61	5,71	6,16	5,1	6,12

Примечание: суммы нормированы

В качестве редких включений отмечен магнетит. Магнетит представлен в виде крупных зерен, визуально определяемых в породе (1мм). Химический состав магнетита с микропримесями титана (6,26 масс% TiO₂), хрома (4,21 масс% Cr₂O₃), марганца (1,39 масс% MnO) и ванадия (0,59 масс% V₂O₅) помещен в (таблице 41).

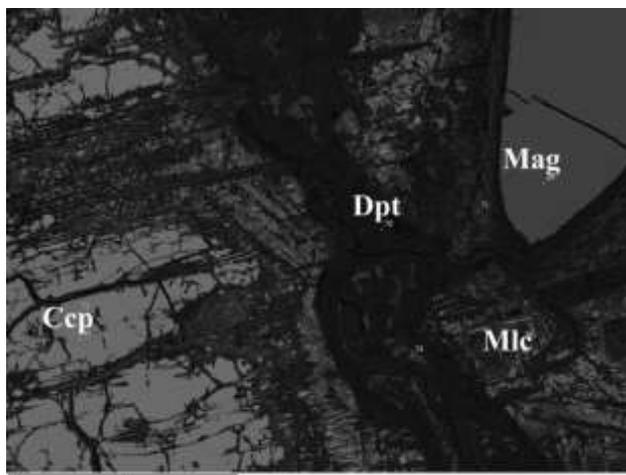


Рисунок 44 Крупное зерно магнетита (Mag)

В изученных образцах отмечено большое количество сульфидов: борнит, халькопирит, халькозин. Сульфиды в различной степени окислены и замещены гипергенными образованиями: малахитом и хризоколлой(?), которые имеют вид ветвящихся поздних прожилков развитых по поверхности зерна (рис. 45). В зернах борнита наблюдаются закономерно ориентированные трещины спайности под углом примерно 90 градусов, заполненные халькопиритом (рис. 46). Подобные структуры зафиксированы и в сульфидах из рудных пироксенитов. Однако большую часть зерен составлял халькозин, с небольшими участками развития борнита. Видимо здесь мы наблюдаем почти полное замещение халькозина борнитом.

Обнаруженные включения зерен аргента были описаны в предыдущей главе.

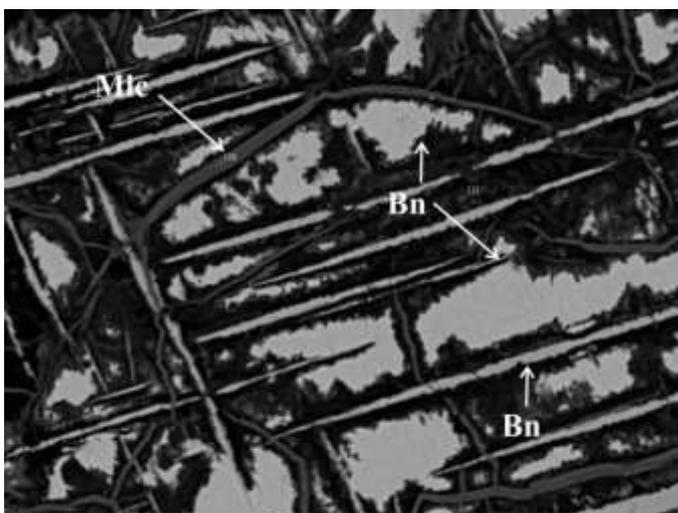


Рисунок 45 Поздние прожилки малахита по разрушенным зернам борнита

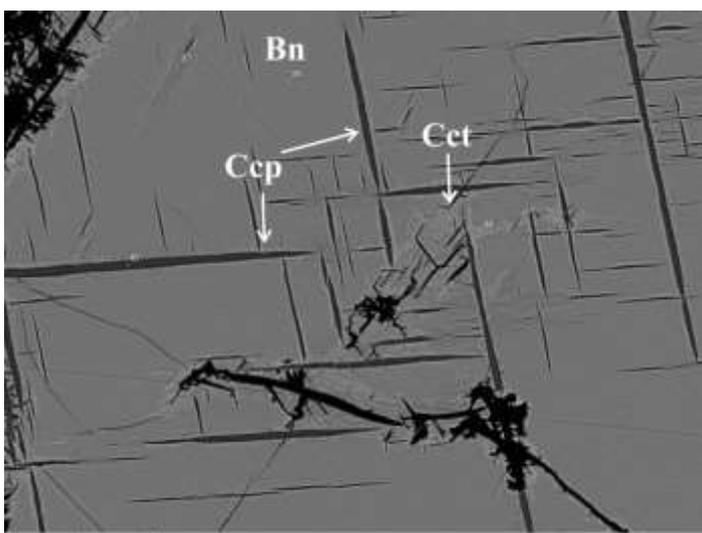


Рисунок 46 Закономерно ориентированные прорастания халькопирита в борните

Из тяжелых фаз была обнаружена мелкая вкрапленность медно-свинцового минерала (рис. 47). Фазу не удалось точно диагностировать из-за размеров зерен, которые не превышали 10 микрометров. Химический состав имеет много примесей и представлен в таблице 21.

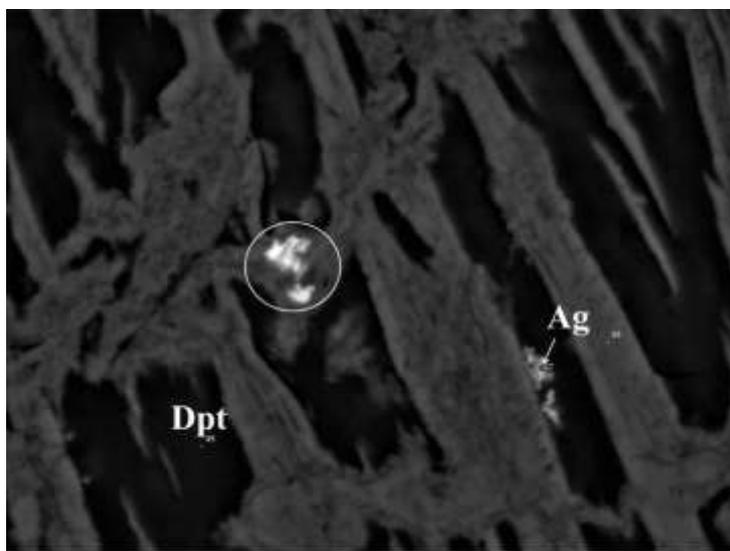


Рисунок 47 Включение мелких Cu-Pb зерен в брошантит-диоптазовой массе

Таблица 21

Химический состав свинец содержащей фазы.

№/W%	O	Mg	Al	Si	P	S	V	Fe ²⁺	Cu	Se	Te	Pb	Сумма
17	25,63	0,32	-	5,39	-	4,83	1,34	1,83	50,07	-	-	10,39	99,79
20	21,63	0,31	0,13	5,73	-	4,75	1,37	0,41	51,43	-	-	10,3	96,05
21	25,86	0,5	0,47	5,76	-	4,51	2,26	0,92	47,57	-	-	15,14	102,97
23	24,25	-	0,28	3,64	-	3,66	3,18	5,66	40,42	-	-	23,06	104,15
45	30,17	0,97	0,92	2,47	0,13	0,83	7,09	5,34	23,35	-	0,87	48,25	120,38
46	27,36	0,22	0,19	3,02	0,18	2,02	5,18	1,33	33,76	0,37	0,42	34,94	108,99

Полученные данные позволяют предположить, что субстратом для образования изученных малахитоподобных пород являются рудные пироксениты.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

По итогам выполненной работы была сделана минералого-петрографическая характеристика рудных пироксенитов Кондерского массива. Диагностировано 44 минеральных вида и еще четыре требуют дальнейшего изучения. Получены данные, подтверждающие тезис о том, что рудные пироксениты, являются продуктом воздействия поздних магматических и гидротермально-метасоматических процессов.



Рисунок 48 Участок перекристаллизации рудного пироксенита с гигантозернистым флогопитом на контакте с интрузией щелочных пород (фото Антова А. А.)

Это отражается как в их морфологии, так и в минеральном составе. По всему объему породы присутствуют лейкократовые амфибол-цеолитовые прожилки. Их можно наблюдать в обнажениях (рис. 48) и в образцах, на микроуровне (рис.4).

Шестнадцать минеральных видов содержится среди главных, второстепенных и аксессуарных минералов рудных пироксенитов. Помимо типичных для пироксенитов диопсида и флогопита, в образцах было много продуктов их изменения: вермикулит, сапонит, несколько видов амфиболов. Которые, как правило, сопровождали поздние амфибол-цеолитовые прожилки. Сами минералы отражают воздействие щелочных пород, которое проявляется в повышенных содержаниях Na, Zr, Sr.

Из рудных минералов особенно распространены сульфиды, (халькозин, халькопирит, борнит). При этом не обнаружено типичного для рудных пироксенитов титаномагнетита. Вместо него встречается хроммагнетит, хромит и магнетит. Минералы находятся в ассоциации с сульфидами, либо заполняют межзерновое пространство в нерудной матрице. В краевых частях выявлены единичные находки

карролита, галенита и кобальтита. Их присутствие связывают с возможным очищением сульфидов от микропримесей никеля и кобальта, при нагреве и повторной перекристаллизации.

Возможным следствием прогрева рудных пироксенитов дайками поздних щелочных пород, являются поздние ориентированные выделения халькопирита в борните (рис. 15).

Находки ЭПГ и серебра приурочены к медносульфидным образованиям. Они находятся в виде вростков в самих сульфидах, либо в их краевых частях. Золото в виде мелкой вкрапленности обнаружено в амфибол-цеолитовых прожилках.

Одновременно с рудными пироксенитами был рассмотрен минеральный состав щелочных сиенитов и гидротермально-метасоматических образований. В обнажениях на участке, хорошо прослеживается, что флогопитовые пегматиты (слюдиты), сопровождают дайки щелочных пород (рис. 48). Скорее всего, они образовались при метасоматической переработке самих рудных пироксенитов, что отражается в их минеральном и химическом составе. В них обнаружены платина, палладий и серебро, также связанные с медносульфидной минерализацией.

Если говорить о щелочном сиените, то на микроскопическом уровне он также сильно изменен. Альбит и нефелин замещаются анальцимом и натролитом, встречаются реликты пектолита, лампрофиллита и кидроксилканкринита. Помимо главных минералов в образцах диагностированы достаточно редкие минералы (фторapatит, стронадельфит, стронцианит). Диагностирована Y-Zr-Ti фаза, которая может быть новым минеральным видом из группы цирконолита.

На наш взгляд, все вышесказанное позволяет предполагать о связи между гидротермально-метасоматическими процессами воздействия щелочных интрузий на рудные пироксениты, при формировании золото-палладиевой минерализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам выполненной работы дана минералого-петрографическая характеристика рудных пироксенитов Кондерского массива и гидротермально-метасоматических образований на контактах с дунитами и щелочными пегматитами.

Диагностированы и охарактеризованы главные, второстепенные и акцессорные минералы этих пород. В составе изученных пород установлено 44 минеральных вида. Y-Zr-Ti фаза по всей видимости является новым минералом из группы цирконолита.

Выявлены типохимические особенности пироксенов и амфиболов

Учитывая полученные данные, работа может иметь практическое значение для дальнейшего минералогического изучения рудных пироксенитов Кондерского массива в комплексе с секущими их магматическими и метасоматическими образованиями.

Получены новые данные, подтверждающие предположение о связи платиновой, золото-паладиевой минерализации в рудных пироксенитах поздними гидротермально-метасоматическими процессами. Важным фактором являлось внедрение щелочных интрузий.

Автор выражает благодарности своему научному руководителю д. к. г.-м.н., Антонову А. А, внесшему неоценимый вклад в написание данной дипломной работы, а также всему составу преподавателей кафедры минералогии СПбГУ.

Отдельную благодарность хотелось бы выразить инженерам РЦ СПбГУ «Геомодель» В.В. Шиловских и Н.С. Власенко за помощь в анализе состава минералов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Гурович В. Г., Землянухин В. Н., Емельяненко Е.П., Каретников А. С., Квасов А. И., Лазаренков В. Г. «Геология, петрология и рудоносность Кондерского массива» //Наука, Москва, 176 стр., 1994.
- 2) Гуревич Д.В., Полонянкин А.А. «Сульфидные полиминеральные Pt-Pd руды массива Кондёр, Хабаровский Край: геологическая позиция.» // Материалы Всероссийской конференции с международным участием: Проблемы геологии и эксплуатации месторождений платиновых металлов – СПб: Изд-во СПГУ, С. 27, 2016.
- 3) Ельянов А.А., Моралев В.М. Новые данные о возрасте ультраосновных и щелочных пород Алданского щита // Докл. АН СССР. 1961. Т. 141. № 3.С. 687-689.
- 4) Емельяненко Е.П., Масловский А.Н., Залищак Б.Л. и др. Закономерности размещения рудной минерализации на Кондерском щелочно-ультраосновном массиве // Геологические условия локализации эндогенного оруденения. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 100-113.
- 5) Ефимов А.А., Ронкин Ю.Л., Малич К.Н., Лепихина Г.А. Sm–Nd и Rb–Sr (ID-TIMS) датирование апатит-флогопитовых клинопироксенитов в дунитовом —ядре // Проблемы геологии и эксплуатации месторождений платиновых металлов, 2016 Кондерского массива на Алданском щите: новые данные // ДАН, 2012. Т. 445. № 5. С. 564–569
- 6) Каретников А. С. «Возраст и генезис платиноидной минерализации массива Кондер: палеомагнитные и изотопные данные» // Литосфера. –2006. – № 3. – С. 96–107.
- 7) Кривовичев В.Г. «Минералогический словарь»// СПб.: Изд-во С.-Петербург ун-та.— 556 с., 2009.
- 8) Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометальных руд. СПб: СПбГУ, 2003, 487 с.
- 9) Орлова М.П., Авдеева О.И., Федорова И.В., Яковлева Л.В. Новые данные по радиологическому датированию Кондерского массива и вмещающих его пород (восточная часть Алданского щита) // Докл. АН СССР. 1978. Т. 240. № 3. С. 677-680.

- 10) Пушкарев Е. В., Каменецкий В. С., Морозова А. В., Хиллер В. В., Главатских С. П., Родеманн Т. // Онтогенез рудных хромшпинелидов и состав включений как индикаторы пневмолито-гидротермального образования платиноносных хромитов массива Кондер (алданский щит). Геология рудных месторождений, 2015, том 57, № 5, с. 394–423
- 11) Пушкарев Ю.Д., Костоянов А.И., Орлова М.П., Богомолов Е.С. Особенности Rb-Sr, Sm-Nd, Pb-Pb, Re-Os и K-Ar изотопных систем в Кондерском массиве: мантийный субстрат, обогащенный платиноидами // Региональная геология и металлогения. 2002. № 16. С. 80-91.
- 12) Саватенков В.М., Мочалов А.Г.. Возраст и источники платиноносных дунитов массива Кондёр Алданского щита (Rb-Sr и Sm-Nd изотопные данные). Материалы конференции "Месторождения стратегических металлов". Москва, ИГЕМ РАН, 2015, с.300-301.
- 13) Саранчина Г.М. «Породообразующие минералы (методика определения кристаллооптических констант, характеристика минералов)» // 156 с., СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2000
- 14) Симонов В. А., Приходько В. С., Ковязин С. В. «Условия формирования платиноносных ультраосновных массивов юго-востока Сибирской платформы» // Петрология. – 2011, том 19, № 6, с. 579 - 598.
- 16) Чикишева Т. А., Корольков А. Т. Минералогический анализ платиноидов массива Кондер // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2013. Т. 6. С. 198–205.
- 17) Шнай Г.К., Куранова В.Н. Новые данные о возрасте дунитов в сложных массивах ультраосновного-щелочного состава // Докл. АН СССР. 1981. Т. 261. № 4. С. 950-952.
- 18) Шуколюков Ю.А., Якубович О. В., Мочалов А. Г. и др. Новый изотопный геохронометр для прямого датирования самородных минералов платины (^{190}Pt - ^4He Метод) // Петрология, 2012, том 20, № 6, с. 545–559
- 19) Auge T., Genna A., Legendre O. et al. Primary platinum mineralization in the Nizhny Tagil and Kachkanar ultramafic complexes, Urals, Russia: A genetic model for PGE concentration in chromite-rich zones // Econ. Geol. 2005. V. 100. P. 707–732.
- 20) Barkov A. Y. Shvedov G. I., Polonyankin A. A., Martin R. F. // New and unusual Pd-Tl-bearing mineralization in the Anomal'nyi deposit, Kondyor concentrically zoned complex, northern Khabarovskiy kray, Russia. Mineralogical Magazine, June 2017, Vol. 81(3), pp. 679–688

- 21) Burg J.P., Bodinier J.L., Bedini R.M. et al. Translithospheric Mantle Diapirism: Geological Evidence and Numerical Modelling of the Kondyor Zoned Ultramafic Complex (Russian Far East) // *J. Petrol.* 2009. V. 50. № 2. P. 289–321.
- 22) Kretz R. «Symbols for rock-forming minerals» // *American mineralogist*, volume 68, pages 277- 279, 1983
- 23) Mochalov A.G., Khoroshilova T.S. The Konder alluvial placer of platinum metals // *International platinum*. St. Petersburg-Athens: Theophrastus Publ., 1998. P. 206–220.
- 24) Mochalov A.G., Golovkin S.A., Petrov S.V // 12th International Platinum Symposium Field Trip 2: PGM placer deposits and their sources in the ultramafic and alkaline rocks of the concentrically zoned Kondyor massif, Far East, Russia.. et al., 2014, Yekaterinburg, Urals, Russia.
- 25) Rudashevsky, N.S., Mochalov, A.G., Trubkin, N.V., Gorshkov, A.I., Men'shikov, Y.P. and Shumskaya, N.I. (1984) Konderite $Cu_3Pb(Rh,Pt,Ir)_8S_{16}$ – a new mineral. *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo Obshchestva*, 113, 703–712
- 26) Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, P. 185–187
- 27) Chukanov N.V., Zubkova N.V, Pekov I.V., Vigasina M.F., Polekhovskiy Y.S., Bernd Ternes, Schüller W., Britvin S. N. and Pushcharovskiy D.Yu. // Stefanweissite, $(Ca,REE)_2Zr_2(Nb,Ti)(Ti,Nb)_2Fe_2O_{14}$, a new zirconolite-related mineral from the Eifel paleovolcanic region, Germany. *Mineralogical magazine*. January 2019 , pp. 1-25

Интернет-ресурсы:

- 28) <https://www.mindat.org/>
- 29) <http://www.webmineral.com/>

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 22

Химический состав диопсида и пересчет его в формульные коэффициенты на 4 катиона

мас, %/	134	135	136	138	146	149	156	174	190	191	192	218	323	335	338	341	344	347	358
Na ₂ O	4,02	3,84	4,85	4,38	3,80	4,29	4,25	4,07	4,91	4,65	4,22	-	3,84	4,11	4,67	3,65	3,53	4,42	4,19
SiO ²	53,61	53,58	53,23	55,29	53,98	54,59	54,31	54,76	54,70	54,61	54,38	54,64	54,48	54,27	54,39	54,38	54,22	54,52	54,18
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	0,41	-	-	-	-	-	-	0,47	-	0,38	-	-	0,52
Al ₂ O ₃	0,83	1,48	2,28	0,90	0,71	0,85	0,94	0,88	0,53	0,67	0,59	0,75	0,65	0,59	0,45	0,78	0,82	0,62	0,70
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59	-	-	-	-	-	-	-
MgO	10,84	10,92	11,07	11,00	11,03	10,67	10,59	10,83	10,74	10,75	11,08	17,10	11,49	10,93	10,75	11,61	11,46	10,67	10,73
CaO	18,06	17,81	16,65	17,13	18,29	17,21	16,74	17,79	16,29	16,52	17,57	25,00	18,01	17,85	16,79	18,62	19,00	17,08	17,37
FeO	12,64	12,37	11,92	11,30	12,19	12,39	12,76	11,67	12,83	12,56	12,16	1,92	11,53	11,78	12,95	10,58	10,97	12,69	12,31
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fc/№	134	135	136	138	146	149	156	174	190	191	192	218	323	335	338	341	344	347	358
Na	0,29	0,27	0,34	0,31	0,27	0,31	0,30	0,29	0,35	0,33	0,30	-	0,27	0,29	0,33	0,26	0,25	0,32	0,30
Si	1,98	1,98	1,94	2,03	1,99	2,01	2,01	2,02	2,01	2,01	2,00	1,99	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,01	2,00
Ti	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,01	-	-	0,01
Al	0,04	0,06	0,10	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-
Mg	0,60	0,60	0,60	0,60	0,61	0,59	0,58	0,59	0,59	0,59	0,61	0,93	0,63	0,60	0,59	0,64	0,63	0,59	0,59
Ca	0,71	0,70	0,65	0,67	0,72	0,68	0,66	0,70	0,64	0,65	0,69	0,98	0,71	0,70	0,66	0,73	0,75	0,67	0,69
Fe ²⁺	0,09	0,12	0,00	0,13	0,12	0,13	0,16	0,14	0,08	0,10	0,10	0,06	0,12	0,12	0,08	0,12	0,11	0,12	0,14
Fe ³⁺	0,30	0,26	0,36	0,22	0,26	0,25	0,23	0,22	0,31	0,29	0,28	-	0,24	0,24	0,31	0,21	0,22	0,27	0,24
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Продолжение таблицы 22

мас, %/	370	371	378	390	391	625	666	674	702	746	749	753	754	755	756	757	800	806	810
Na ₂ O	4,22	3,96	4,28	5,04	5,34	3,96	3,96	4,68	4,21	4,09	4,49	4,20	4,13	4,51	3,76	3,92	4,44	4,84	4,44
SiO ²	54,08	53,93	54,21	54,48	53,94	54,11	54,11	54,15	54,62	53,92	54,60	53,87	54,24	54,12	54,28	54,25	54,70	54,00	54,32
TiO ₂	0,40	0,40	-	0,40	0,48	-	-	-	-	0,65	0,30	0,38	0,45	0,33	0,28	0,34	0,26	0,45	0,38
Al ₂ O ₃	0,85	1,01	0,66	0,54	0,79	0,76	0,76	0,73	0,70	0,80	0,71	0,81	0,87	0,92	0,77	0,65	0,72	0,74	0,74
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	3,49	-	0,17	-	0,15	0,10	0,08	-	0,09	-	0,14	0,29
MgO	10,80	11,05	10,78	10,25	9,48	11,08	11,08	10,26	11,24	11,17	11,48	11,78	11,13	11,43	12,30	12,56	11,49	10,97	11,43
CaO	17,74	17,65	17,37	15,88	15,21	18,12	18,12	15,94	17,47	18,13	17,57	17,77	17,76	17,44	18,68	18,71	17,72	17,00	17,61
FeO	11,91	12,00	12,70	13,41	14,76	11,97	11,97	10,75	11,76	10,91	10,60	10,78	11,02	10,95	9,75	9,19	10,68	11,87	10,79
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,26	0,26	0,30	0,21	0,19	0,29	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fe/№	370	371	378	390	391	625	666	674	702	746	749	753	754	755	756	757	800	806	810
Na	0,30	0,28	0,31	0,36	0,38	0,28	0,26	0,34	0,30	0,29	0,32	0,30	0,29	0,32	0,27	0,28	0,31	0,34	0,32
Si	1,99	1,99	2,00	2,01	1,99	1,99	2,02	2,00	2,01	1,98	2,00	1,97	1,99	1,98	1,99	1,98	2,00	1,98	1,99
Ti	0,01	0,01	-	0,01	0,01	-	-	-	-	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Cr	-	-	-	-	-	-	-	0,10	-	0,01	-	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	0,00	0,01
Mg	0,59	0,61	0,59	0,56	0,52	0,61	0,65	0,57	0,62	0,61	0,63	0,64	0,61	0,62	0,67	0,68	0,63	0,60	0,62
Ca	0,70	0,70	0,69	0,63	0,60	0,71	0,72	0,63	0,69	0,71	0,69	0,70	0,70	0,68	0,73	0,73	0,69	0,67	0,69
Fe ²⁺	0,11	0,13	0,11	0,11	0,12	0,10	0,13	0,13	0,10	0,09	0,05	0,04	0,10	0,04	0,05	0,01	0,06	0,04	0,05
Fe ³⁺	0,26	0,24	0,28	0,30	0,34	0,26	0,19	0,20	0,26	0,25	0,28	0,29	0,24	0,30	0,25	0,27	0,27	0,33	0,28
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-

Продолжение таблицы 22

мас, %/	812	813	814	815	816	827	829	830	831	845	846	852	933	934	936	937	941	942	943
Na ₂ O	4,49	4,37	4,62	5,04	4,93	4,59	4,65	4,52	4,18	4,74	5,95	5,03	0,37	0,39	-	0,43	0,40	0,34	0,44
SiO ²	53,96	53,64	54,42	54,39	54,55	53,83	53,65	53,71	53,64	54,02	53,57	53,61	54,36	54,07	54,13	54,23	53,64	54,09	54,36
TiO ₂	0,47	0,53	0,35	0,47	0,41	0,41	0,42	0,43	0,31	0,37	0,54	-	0,19	0,21	0,19	0,09	0,18	0,18	0,18
Al ₂ O ₃	0,77	0,77	0,68	0,76	0,71	0,62	0,67	0,62	0,58	0,75	0,75	1,23	0,69	0,80	0,67	0,75	0,83	0,59	0,78
Cr ₂ O ₃	0,10	0,09	-	0,19	-	0,15	0,19	0,09	-	0,10	0,15	-	0,45	0,57	0,45	0,57	0,60	0,40	0,62
MgO	11,22	11,28	11,18	10,61	11,08	10,85	10,51	10,74	11,28	10,44	9,47	11,49	17,38	17,48	17,64	17,20	17,39	17,34	17,00
CaO	17,37	17,61	17,00	16,45	16,82	17,60	17,15	17,59	18,62	16,92	15,20	16,11	24,77	24,61	24,87	24,76	24,90	25,12	24,67
FeO	11,62	11,49	11,57	11,95	11,38	11,75	12,65	12,16	11,12	12,44	14,26	12,52	1,79	1,88	2,05	1,97	2,06	1,93	1,95
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	0,24	0,18	0,14	0,12	0,20	0,11	0,14	0,26	0,23	0,09	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fe/№	812	813	814	815	816	827	829	830	831	845	846	852	933	934	936	937	941	942	943
Na	0,32	0,31	0,33	0,36	0,35	0,33	0,33	0,32	0,30	0,34	0,42	0,36	0,03	0,03	-	0,03	0,03	0,02	0,03
Si	1,98	1,97	1,99	1,99	1,99	1,98	1,98	1,98	1,97	1,99	1,97	1,96	1,97	1,96	1,97	1,97	1,95	1,96	1,97
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	-	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
Cr	0,00	0,00	-	0,01	-	0,00	0,01	0,00	-	0,00	0,00	-	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
Mg	0,61	0,62	0,61	0,58	0,60	0,59	0,58	0,59	0,62	0,57	0,52	0,62	0,94	0,94	0,96	0,93	0,94	0,94	0,92
Ca	0,68	0,69	0,67	0,65	0,66	0,69	0,68	0,69	0,73	0,67	0,60	0,63	0,96	0,96	0,97	0,96	0,97	0,98	0,96
Fe ²⁺	0,06	0,05	0,06	0,06	0,04	0,04	0,07	0,06	0,03	0,07	0,02	-	0,02	0,01	0,05	0,02	-	0,00	0,04
Fe ³⁺	0,30	0,31	0,29	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,42	0,38	0,03	0,05	0,01	0,04	0,06	0,05	0,02
Mn	-	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 22

мас, %/	945	946	948	950	953	954	957	958	973	977	1053	1054	1057	1059	1061	1064	1067	1071	1073
Na ₂ O	0,25	0,42	0,32	0,37	0,44	0,31	0,51	0,37	0,44	0,22	4,32	4,97	4,07	4,65	4,34	4,06	4,59	3,88	4,12
SiO ²	54,15	54,08	54,21	54,33	54,25	53,96	54,06	54,08	54,25	54,28	53,72	53,74	53,77	53,72	53,84	53,88	53,95	53,56	53,80
TiO ₂	0,12	0,18	0,22	0,14	0,12	0,14	0,14	0,10	0,14	0,16	0,34	0,39	0,31	0,35	0,38	0,38	0,32	0,41	0,41
Al ₂ O ₃	0,48	0,70	0,80	0,58	0,72	0,71	0,65	0,75	0,72	0,63	0,69	0,66	0,83	0,68	0,84	0,64	0,70	0,73	0,65
Cr ₂ O ₃	0,34	0,58	0,49	0,41	0,61	0,58	0,55	0,75	0,41	0,49	0,25	0,16	0,22	0,28	0,25	0,15	0,11	0,66	0,21
MgO	17,83	17,27	17,21	17,29	17,25	17,41	17,35	17,37	17,31	17,37	11,23	10,45	11,57	10,72	10,93	11,31	10,79	11,35	11,43
CaO	25,24	24,70	24,98	24,93	24,58	24,96	24,78	24,74	24,66	25,16	17,81	16,84	18,30	17,47	17,90	18,35	17,56	18,48	18,41
FeO	1,59	2,08	1,77	1,96	2,03	1,93	1,96	1,85	2,09	1,70	11,65	12,79	10,92	12,14	11,53	11,23	11,97	10,94	10,97
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fe/№	945	946	948	950	953	954	957	958	973	977	1053	1054	1057	1059	1061	1064	1067	1071	1073
Na	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,03	0,02	0,31	0,35	0,29	0,33	0,31	0,29	0,33	0,28	0,29
Si	1,96	1,96	1,97	1,97	1,97	1,96	1,96	1,96	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,98	1,98	1,98	1,97	1,97
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Cr	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
Mg	0,96	0,93	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,61	0,57	0,63	0,59	0,60	0,62	0,59	0,62	0,63
Ca	0,98	0,96	0,97	0,97	0,96	0,97	0,96	0,96	0,96	0,98	0,70	0,66	0,72	0,69	0,71	0,72	0,69	0,73	0,72
Fe ²⁺	-	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	-	0,01	0,02	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	0,08	0,05
Fe ³⁺	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,03	0,31	0,35	0,28	0,33	0,29	0,28	0,31	0,26	0,29
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 22

мас,%/№	1074	1096	6	13	32	62
Na ₂ O	3,89	4,12	2,53	2,51	2,48	2,70
SiO ²	54,08	53,73	54,10	54,30	54,64	54,15
TiO ₂	0,38	0,41	-	-	-	0,36
Al ₂ O ₃	0,74	0,71	0,58	0,71	0,63	0,60
Cr ₂ O ₃	0,14	0,13	1,27	1,04	1,22	1,15
MgO	11,35	11,18	13,73	13,66	13,57	13,51
CaO	18,49	18,21	21,00	21,08	20,75	20,77
FeO	10,92	11,51	6,78	6,40	6,44	6,54
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-
Mno	-	-	-	0,29	0,27	0,23
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	1074	1096	6	13	32	62
Na	0,28	0,29	0,18	0,18	0,18	0,19
Si	1,99	1,98	1,98	1,99	2,00	1,98
Ti	0,01	0,01	-	-	-	0,01
Al	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Cr	0,00	0,00	0,04	0,03	0,04	0,03
Mg	0,62	0,61	0,75	0,74	0,74	0,74
Ca	0,73	0,72	0,82	0,83	0,81	0,81
Fe ²⁺	0,09	0,07	0,05	0,05	0,09	0,05
Fe ³⁺	0,24	0,29	0,16	0,15	0,11	0,15
Mn	-	-	-	0,01	0,01	0,01

Таблица 23

Химический состав эгирина и пересчет его в формульные коэффициенты на 4 катиона

мас, %/	162	163	164	182	183	273	274	278	589	591	768	769	770	771	772	777	780	782	786
Na ₂ O	11,27	11,45	11,81	12,53	12,40	8,39	10,86	10,88	12,98	12,36	12,77	11,83	11,60	13,76	12,21	10,97	12,55	11,79	14,06
SiO ₂	53,01	53,60	52,96	54,45	54,88	52,53	54,12	53,79	54,15	54,82	53,39	54,46	55,11	53,86	52,84	51,97	54,29	53,73	54,73
TiO ₂	2,51	1,36	2,23	0,77	0,56	0,33	2,02	1,50	2,04	0,49	7,46	2,23	1,48	1,19	0,63	0,51	2,13	1,13	0,22
Al ₂ O ₃	1,88	2,10	1,96	0,49	1,07	0,36	1,32	1,57	1,35	1,05	1,35	1,14	0,95	2,16	4,21	5,00	1,48	2,12	1,47
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,09	-	-	-
MgO	3,36	2,74	3,52	1,59	1,68	4,86	3,33	3,53	1,36	1,67	4,50	3,95	5,13	3,94	4,45	7,44	4,28	4,92	1,78
CaO	3,63	3,28	3,47	1,70	2,26	9,09	4,94	4,29	1,01	2,39	4,34	5,01	5,60	2,54	3,54	5,63	4,37	5,24	2,11
FeO	22,76	24,88	22,98	28,47	26,82	19,04	23,11	22,97	27,10	27,22	16,20	21,38	20,14	22,54	22,03	18,29	19,88	19,90	25,35
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	-	-	-	0,33	0,74	-	0,27	-	-	-	-	-	-	-	0,10	0,32	0,23	0,28
V ₂ O ₅	1,58	0,59	1,07	-	-	-	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70	0,95	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	4,66	-	1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fc/№	162	163	164	182	183	273	274	278	589	591	768	769	770	771	772	777	780	782	786
Na	0,81	0,82	0,84	0,90	0,89	0,62	0,78	0,78	0,93	0,89	0,90	0,84	0,82	0,96	0,85	0,76	0,88	0,83	0,99
Si	1,96	1,98	1,94	2,02	2,03	2,00	2,00	2,00	2,00	2,03	1,94	1,99	2,00	1,93	1,91	1,85	1,96	1,94	1,99
Ti	0,07	0,04	0,06	0,02	0,02	0,01	0,06	0,04	0,06	0,01	0,20	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	0,06	0,03	0,01
Al	0,08	0,09	0,08	0,02	0,05	0,02	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	0,09	0,18	0,21	0,06	0,09	0,06
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	-	-	-
Mg	0,18	0,15	0,19	0,09	0,09	0,28	0,18	0,20	0,08	0,09	0,24	0,21	0,28	0,21	0,24	0,40	0,23	0,27	0,10
Ca	0,14	0,13	0,14	0,07	0,09	0,37	0,20	0,17	0,04	0,09	0,17	0,20	0,22	0,10	0,14	0,22	0,17	0,20	0,08
Fe ²⁺	0,19	0,14	0,07	0,08	0,07	0,15	0,14	0,11	0,08	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ³⁺	0,51	0,63	0,64	0,80	0,75	0,46	0,57	0,61	0,75	0,76	0,49	0,65	0,61	0,68	0,66	0,55	0,60	0,60	0,77
Mn	-	-	-	-	0,01	0,02	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,01	0,01	0,01
V	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,03	-
Zr	0,05	0,02	0,04	-	-	0,09	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Продолжение таблицы 23

мас, %/	788	791	792	793	794	795	992	993	995	998	999	1000	1001	1012	1013	1014	1016	1021	1022
Na ₂ O	14,02	14,05	14,46	13,40	14,12	13,79	14,08	14,53	14,58	13,94	13,66	14,41	14,03	14,63	13,93	7,06	13,95	14,17	14,50
SiO ₂	55,01	54,68	54,53	54,96	54,64	53,00	54,18	53,86	54,85	55,03	54,09	54,22	54,68	54,11	54,10	52,75	54,06	53,41	54,58
TiO ₂	0,50	0,88	0,55	0,34	0,65	0,88	1,03	0,13	-	-	0,20	-	0,21	0,35	0,23	0,50	0,51	0,16	-
Al ₂ O ₃	1,94	3,08	1,81	0,83	1,32	3,04	2,81	3,65	5,23	2,88	2,47	3,24	3,09	1,88	1,44	0,32	1,89	1,08	3,17
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	-	-	0,07	-	-	-	-	0,08	0,11	-
MgO	2,06	3,24	1,04	2,68	2,07	3,16	1,76	1,06	0,47	1,15	1,48	1,59	1,32	0,38	1,11	5,19	0,89	0,44	0,42
CaO	2,06	1,07	0,78	3,41	1,88	1,02	1,55	1,55	0,73	1,31	1,62	1,17	1,32	0,45	1,47	12,51	1,21	0,80	0,25
FeO	24,31	23,01	26,82	24,18	25,09	25,11	24,59	25,23	24,04	25,68	26,47	25,30	25,35	28,19	27,71	19,66	27,42	29,82	27,07
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0,11	-	-	0,19	0,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fe/№	788	791	792	793	794	795	992	993	995	998	999	1000	1001	1012	1013	1014	1016	1021	1022
Na	0,98	0,98	1,02	0,94	0,99	0,97	0,99	1,02	1,02	0,98	0,97	1,01	0,99	1,04	0,99	0,51	0,99	1,01	1,02
Si	1,99	1,96	1,98	1,99	1,98	1,91	1,96	1,94	1,98	2,00	1,97	1,96	1,98	1,97	1,98	1,98	1,98	1,96	1,99
Ti	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	-	-	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	-
Al	0,08	0,13	0,08	0,04	0,06	0,13	0,12	0,16	0,22	0,12	0,11	0,14	0,13	0,08	0,06	0,01	0,08	0,05	0,14
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	0,00	-	-	-	-	0,00	0,00	-
Mg	0,11	0,17	0,06	0,14	0,11	0,17	0,09	0,06	0,03	0,06	0,08	0,09	0,07	0,02	0,06	0,29	0,05	0,02	0,02
Ca	0,08	0,04	0,03	0,13	0,07	0,04	0,06	0,06	0,03	0,05	0,06	0,05	0,05	0,02	0,06	0,50	0,05	0,03	0,01
Fe ²⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ³⁺	0,74	0,69	0,82	0,73	0,76	0,76	0,74	0,76	0,72	0,78	0,81	0,76	0,77	0,86	0,85	0,62	0,84	0,92	0,82
Mn	0,00	-	-	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 23

мас, %/№	1023	1030	1031	1038	1076	1078	1079	1080	1081	1087	1088	1089
Na ₂ O	14,38	14,48	14,48	14,45	13,72	13,41	14,00	13,07	13,40	13,37	12,80	14,01
SiO ₂	55,00	54,53	53,90	54,08	53,94	54,09	53,89	53,29	53,72	52,18	53,99	53,88
TiO ₂	0,22	-	-	0,39	0,45	0,56	1,10	0,54	0,46	2,82	0,83	1,62
Al ₂ O ₃	4,28	3,37	2,03	1,98	2,65	1,17	1,18	2,49	1,25	3,98	1,08	1,03
Cr ₂ O ₃	-	-	-	0,12	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	0,62	0,51	0,22	1,02	1,66	1,77	1,10	2,04	1,47	2,10	2,10	1,66
CaO	0,53	0,39	0,64	0,49	2,13	2,46	1,25	2,39	2,31	2,65	3,24	1,76
FeO	24,97	26,73	28,72	27,46	25,45	26,54	27,48	26,18	27,39	22,32	25,96	26,05
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58	-	-
ZrO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
С/№	1023	1030	1031	1038	1076	1078	1079	1080	1081	1087	1088	1089
Na	1,01	1,02	1,03	1,02	0,97	0,95	0,99	0,93	0,95	0,94	0,91	0,99
Si	1,99	1,98	1,97	1,97	1,96	1,98	1,97	1,95	1,97	1,90	1,98	1,97
Ti	0,01	-	-	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,08	0,02	0,04
Al	0,18	0,14	0,09	0,08	0,11	0,05	0,05	0,11	0,05	0,17	0,05	0,04
Cr	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	0,03	0,03	0,01	0,06	0,09	0,10	0,06	0,11	0,08	0,11	0,11	0,09
Ca	0,02	0,02	0,03	0,02	0,08	0,10	0,05	0,09	0,09	0,10	0,13	0,07
Fe ²⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ³⁺	0,76	0,81	0,88	0,84	0,77	0,81	0,84	0,80	0,84	0,68	0,80	0,79
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 24

Химический состав энстатита и пересчет его в формульные коэффициенты на 12 зарядов

мас,%/№	232	234	242	961	963	964	969	971	966	972	974	975	978	979
K ₂ O	-	-	-	0,39	0,45	0,83	0,41	0,40	0,37	0,46	0,25	0,47	0,56	0,63
Na ₂ O	0,69	0,33	0,78	0,82	0,82	1,70	0,37	0,41	0,45	0,31	0,10	0,43	0,82	0,77
SiO ₂	59,06	55,47	54,43	53,87	57,13	57,23	54,08	54,99	53,89	55,51	55,48	56,13	58,18	57,00
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	0,30	0,42	0,43	0,15	-	0,12	-	0,36	1,44	0,12	0,28
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-	-
MgO	27,67	24,42	26,47	25,40	24,83	23,77	26,39	26,42	27,06	26,52	25,86	23,91	27,54	25,31
CaO	0,77	0,89	0,74	0,67	0,92	0,77	0,69	0,63	0,90	0,61	0,90	1,04	0,61	0,75
FeO	11,81	18,90	17,32	18,55	15,44	15,27	17,92	17,04	17,20	16,60	17,05	16,58	11,29	15,26
Fe ₂ O ₃ *														
Ni	-	-	0,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,87	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	232	234	242	961	963	964	969	971	966	972	974	975	978	979
K	-	-	-	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Na	0,05	0,02	0,05	0,06	0,06	0,12	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,03	0,06	0,05
Si	2,10	2,03	1,96	1,95	2,06	2,06	1,96	1,99	1,94	2,00	2,01	2,04	2,06	2,06
Ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	-	-	-	0,01	0,02	0,02	0,01	-	0,01	-	0,02	0,06	0,01	0,01
Cr	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-
Mg	1,47	1,33	1,42	1,37	1,34	1,28	1,42	1,42	1,45	1,43	1,40	1,30	1,45	1,36
Ca	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03
Fe ²⁺	0,35	0,58	0,39	0,39	0,47	0,41	0,40	0,43	0,34	0,45	0,52	0,50	0,33	0,46
Fe ³⁺	-	-	0,13	0,17	-	0,05	0,14	0,08	0,17	0,05	-	-	-	-
Ni	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Таблица 25

Химический состав флогопита и пересчет его в формульные коэффициенты на 22 заряда

мас, %/	130	193	204	205	206	237	239	245	246	248	250	251	261	262	276	303	305	324	328
K ₂ O	8,98	6,89	9,32	8,84	8,91	9,78	8,82	9,52	9,49	9,75	9,26	8,95	8,46	7,12	8,70	8,93	8,24	8,68	9,56
Na ₂ O	0,52	-	1,05	1,19	1,11	1,09	0,91	1,22	1,18	1,13	1,25	1,14	1,03	2,01	1,10	1,16	0,30	0,51	0,44
SiO ₂	42,38	41,41	40,90	39,84	39,08	45,27	45,33	44,75	44,49	42,95	40,46	39,86	38,87	43,20	39,18	38,67	39,02	43,49	43,89
TiO ₂	1,81	-	2,41	2,13	2,14	-	-	-	0,23	0,59	1,78	1,96	2,62	0,84	1,80	2,39	2,18	-	-
Al ₂ O ₃	12,28	12,90	13,87	13,82	13,71	9,86	9,44	11,02	11,16	12,95	13,23	13,20	13,30	14,14	13,43	13,31	14,00	12,97	13,40
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	20,99	19,53	18,86	16,84	15,12	27,51	28,96	26,67	25,94	24,28	18,16	15,80	15,01	19,14	15,12	13,90	13,72	26,39	26,67
CaO	-	2,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	1,21	-
FeO	13,04	17,19	11,99	16,13	18,13	6,50	6,54	6,82	7,50	8,09	15,41	18,54	18,78	13,21	19,37	20,77	21,42	6,75	6,04
MnO	-	-	0,97	1,21	1,26	-	-	-	-	0,25	0,44	0,55	0,64	0,35	0,66	0,87	0,86	-	-
BaO	-	-	-	-	0,53	-	-	-	-	-	-	-	1,29	-	0,65	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fc/№	130	193	204	205	206	237	239	245	246	248	250	251	261	262	276	303	305	324	328
K	0,80	0,62	0,83	0,81	0,83	0,85	0,76	0,83	0,83	0,85	0,84	0,82	0,79	0,63	0,81	0,83	0,77	0,75	0,82
Na	0,07	-	0,14	0,17	0,16	0,14	0,12	0,16	0,16	0,15	0,17	0,16	0,15	0,27	0,16	0,16	0,04	0,07	0,06
Si	2,96	2,92	2,87	2,85	2,84	3,08	3,07	3,04	3,04	2,95	2,88	2,88	2,84	2,99	2,85	2,83	2,84	2,95	2,97
Ti	0,09	-	0,13	0,11	0,12	-	-	-	0,01	0,03	0,10	0,11	0,14	0,04	0,10	0,13	0,12	-	-
Al	1,01	1,07	1,15	1,17	1,17	0,79	0,75	0,88	0,90	1,05	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,15	1,20	1,04	1,07
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	2,18	2,06	1,97	1,80	1,64	2,79	2,92	2,70	2,64	2,49	1,93	1,70	1,63	1,97	1,64	1,52	1,49	2,67	2,69
Ca	-	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,09	-
Fe ²⁺	0,76	1,02	0,70	0,97	1,10	0,37	0,37	0,39	0,43	0,46	0,92	1,12	1,15	0,76	1,18	1,27	1,30	0,38	0,34
Mn	-	-	0,06	0,07	0,08	-	-	-	-	0,01	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05	-	-
Ba	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	0,04	-	0,02	-	-	-	-
V	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Продолжение таблицы 25

мас, %/	331	337	342	348	349	350	356	357	369	392	393	399	408	428	463	464	473	487	542
K ₂ O	10,14	8,38	10,15	10,07	11,01	11,18	10,29	9,38	9,69	10,49	10,63	10,28	10,28	10,09	9,09	8,98	8,79	9,00	9,24
Na ₂ O	0,44	-	0,67	0,76	-	-	0,50	-	0,43	0,36	0,33	-	0,34	0,45	0,81	1,36	1,02	0,86	1,22
SiO ₂	44,98	45,31	41,66	41,74	44,53	42,45	43,60	44,95	44,60	41,95	42,07	41,13	42,08	41,84	42,13	40,00	38,47	39,98	39,91
TiO ₂	-	-	2,10	1,92	-	-	0,50	-	-	1,67	1,61	1,42	1,38	1,79	1,43	1,68	2,64	1,73	1,59
Al ₂ O ₃	12,20	12,76	12,43	12,11	12,44	15,87	12,18	12,26	12,96	11,79	11,86	13,49	12,06	12,72	12,39	12,79	13,28	13,12	12,89
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	26,94	26,17	20,77	21,31	26,88	25,89	23,94	28,15	26,23	21,10	21,00	21,15	21,22	21,37	18,83	15,14	12,43	15,10	16,18
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	5,29	7,38	12,23	12,09	5,14	4,61	9,00	5,26	6,09	12,63	12,50	12,52	12,64	11,74	15,33	19,35	22,48	19,53	18,18
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,72	0,90	0,67	0,78
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fe/№	331	337	342	348	349	350	356	357	369	392	393	399	408	428	463	464	473	487	542
K	0,87	0,72	0,91	0,90	0,95	0,97	0,90	0,80	0,83	0,94	0,95	0,92	0,92	0,90	0,82	0,83	0,83	0,83	0,85
Na	0,06	-	0,09	0,10	-	-	0,07	-	0,06	0,05	0,05	-	0,05	0,06	0,11	0,19	0,15	0,12	0,17
Si	3,04	3,04	2,92	2,93	3,02	2,87	3,00	3,02	3,01	2,95	2,96	2,89	2,95	2,92	2,97	2,90	2,84	2,90	2,89
Ti	-	-	0,11	0,10	-	-	0,03	-	-	0,09	0,09	0,07	0,07	0,09	0,08	0,09	0,15	0,09	0,09
Al	0,97	1,01	1,03	1,00	0,99	1,27	0,99	0,97	1,03	0,98	0,98	1,12	1,00	1,05	1,03	1,09	1,16	1,12	1,10
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	2,71	2,62	2,17	2,23	2,71	2,61	2,46	2,82	2,64	2,21	2,20	2,21	2,22	2,23	1,98	1,64	1,37	1,63	1,74
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	0,30	0,41	0,72	0,71	0,29	0,26	0,52	0,30	0,34	0,74	0,74	0,73	0,74	0,69	0,91	1,17	1,39	1,18	1,10
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,06	0,04	0,05
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 25

мас, %/	544	556	558	571	573	575	576	579	581	673	710	740	741	742	743	744	745	747	748
K ₂ O	9,07	9,80	8,46	9,50	8,91	9,45	9,60	8,80	8,70	10,19	10,69	10,29	10,14	10,17	10,09	10,23	10,06	10,35	10,69
Na ₂ O	1,12	1,01	1,22	1,10	1,17	1,21	1,01	1,27	1,13	0,69	0,37	0,62	0,73	0,71	0,72	0,84	0,81	0,57	0,44
SiO ₂	41,18	42,53	45,18	45,06	45,45	45,03	45,10	40,31	38,92	42,15	41,42	41,98	41,85	41,62	42,29	42,10	42,07	42,39	44,76
TiO ₂	1,74	0,78	-	-	-	-	-	1,35	2,95	1,50	1,79	1,70	1,86	1,78	1,79	1,71	1,85	1,69	-
Al ₂ O ₃	12,67	12,50	9,09	9,73	9,14	8,94	9,22	12,44	13,29	12,75	11,96	12,23	12,25	12,27	12,17	12,15	11,95	12,24	12,41
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,24	0,11	0,10	-	-	-	-
MgO	17,86	21,45	29,14	28,21	28,47	27,42	28,22	17,77	14,98	21,97	20,95	22,03	21,50	21,80	21,41	21,60	21,94	22,27	26,95
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	15,91	11,92	6,90	6,41	6,86	7,94	6,85	16,28	19,40	10,76	12,83	10,86	11,44	11,53	11,30	11,13	11,14	10,23	4,75
MnO	0,44	-	-	-	-	-	-	0,58	0,63	-	-	0,18	-	-	0,12	0,24	0,18	0,26	-
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fe/№	544	556	558	571	573	575	576	579	581	673	710	740	741	742	743	744	745	747	748
K	0,82	0,87	0,73	0,82	0,77	0,83	0,83	0,81	0,81	0,90	0,96	0,92	0,92	0,91	0,90	0,91	0,90	0,92	0,92
Na	0,15	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16	0,13	0,18	0,16	0,09	0,05	0,08	0,08	0,10	0,10	0,11	0,11	0,08	0,06
Si	2,93	2,97	3,06	3,06	3,09	3,08	3,07	2,91	2,83	2,93	2,92	2,93	2,93	2,91	2,95	2,94	2,94	2,95	3,02
Ti	0,09	0,04	-	-	-	-	-	0,07	0,16	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	-
Al	1,06	1,03	0,73	0,78	0,73	0,72	0,74	1,06	1,14	1,05	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	0,98	1,00	0,99
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	-
Mg	1,89	2,23	2,95	2,86	2,88	2,80	2,87	1,91	1,62	2,28	2,21	2,29	2,29	2,28	2,23	2,25	2,29	2,31	2,71
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	0,95	0,70	0,39	0,36	0,39	0,45	0,39	0,98	1,18	0,63	0,76	0,63	0,63	0,68	0,66	0,65	0,65	0,60	0,27
Mn	0,03	-	-	-	-	-	-	0,04	0,04	-	-	0,01	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,02	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 25

мас, %/	750	751	752	798	799	801	802	807	808	809	811	817	819	820	821	825	828	832	834
K ₂ O	10,24	10,42	10,31	10,55	8,44	10,19	7,11	10,19	10,25	10,14	10,18	10,30	10,78	10,83	10,86	10,89	10,83	10,52	10,80
Na ₂ O	0,74	0,77	0,57	0,45	0,49	0,73	0,12	0,68	0,80	0,82	0,67	0,84	0,49	0,58	0,31	0,36	0,33	0,47	0,43
SiO ₂	42,12	41,72	41,90	43,98	43,00	41,76	41,15	42,46	41,70	41,96	42,05	41,73	41,97	41,28	42,18	41,76	42,51	42,72	42,00
TiO ₂	1,59	1,75	1,66	0,12	0,10	1,72	0,24	1,75	1,88	1,55	1,69	1,76	1,51	1,84	1,52	1,52	1,58	1,58	1,51
Al ₂ O ₃	11,95	12,00	11,99	12,93	14,36	12,24	12,76	11,81	11,90	12,30	11,91	11,99	11,26	11,56	11,52	11,65	11,08	11,42	11,33
Cr ₂ O ₃	0,18	0,11	-	-	-	-	-	-	0,13	0,26	0,19	0,26	-	0,09	-	-	-	-	0,09
MgO	21,92	21,47	21,76	26,74	24,97	22,01	15,03	21,80	21,44	21,40	22,08	21,49	21,30	21,08	21,55	21,32	21,73	21,65	21,52
CaO	-	-	-	0,41	1,12	-	1,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	11,15	11,60	11,59	4,83	7,28	11,13	21,75	11,12	11,68	11,57	11,22	11,48	12,52	12,45	11,85	12,33	11,82	11,38	12,17
MnO	0,12	0,16	0,21	-	0,25	0,21	0,16	0,19	0,23	-	-	0,16	0,17	0,29	0,20	0,17	0,12	0,26	0,15
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fe/№	750	751	752	798	799	801	802	807	808	809	811	817	819	820	821	825	828	832	834
K	0,91	0,93	0,92	0,91	0,73	0,91	0,65	0,91	0,92	0,91	0,91	0,92	0,97	0,98	0,97	0,98	0,97	0,94	0,97
Na	0,10	0,10	0,08	0,06	0,06	0,10	0,02	0,09	0,11	0,11	0,09	0,11	0,07	0,08	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06
Si	2,95	2,93	2,94	2,98	2,92	2,92	2,97	2,96	2,93	2,94	2,94	2,93	2,96	2,92	2,97	2,95	2,99	2,99	2,96
Ti	0,08	0,09	0,09	0,01	0,01	0,09	0,01	0,09	0,10	0,08	0,09	0,09	0,08	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Al	0,98	0,99	0,99	1,03	1,15	1,01	1,09	0,97	0,99	1,02	0,98	0,99	0,94	0,96	0,95	0,97	0,92	0,94	0,94
Cr	0,01	0,01	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01	-	0,01	-	-	-	-	0,01
Mg	2,28	2,25	2,27	2,70	2,53	2,29	1,62	2,27	2,24	2,23	2,30	2,25	2,24	2,22	2,26	2,24	2,28	2,26	2,26
Ca	-	-	-	0,03	0,08	-	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	0,65	0,68	0,68	0,27	0,41	0,65	1,31	0,65	0,69	0,68	0,66	0,67	0,74	0,74	0,70	0,73	0,69	0,67	0,72
Mn	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 25

мас, %/	835	836	837	839	840	841	843	844	850	851	984	985	987	991	1006	1007	1011	1019	1020
K ₂ O	10,16	10,91	10,98	10,84	10,94	11,19	10,80	10,77	10,70	9,90	9,06	9,06	9,06	8,41	9,30	8,28	9,26	9,18	9,35
Na ₂ O	0,51	0,58	0,53	0,58	0,53	0,37	0,47	0,53	0,54	0,40	1,27	1,35	0,93	1,17	1,18	1,16	1,23	1,27	1,24
SiO ₂	42,85	41,73	41,76	41,89	42,02	42,09	41,71	42,04	41,70	43,07	39,54	39,45	39,70	37,99	40,50	37,03	40,36	39,21	39,83
TiO ₂	1,60	1,49	1,56	1,63	1,58	1,48	2,01	1,64	1,85	1,67	2,45	2,70	1,57	2,06	1,76	2,35	1,57	2,06	1,25
Al ₂ O ₃	11,77	11,43	11,65	11,33	11,48	11,20	11,40	11,36	11,43	11,38	13,11	13,00	13,68	12,86	12,58	12,63	13,23	13,13	13,68
Cr ₂ O ₃	-	-	-	0,11	-	-	-	-	0,09	-	0,12	0,08	0,10	-	-	-	-	0,14	-
MgO	22,13	21,62	21,30	21,07	20,85	21,49	20,88	21,08	21,28	21,56	15,54	15,38	15,64	15,07	16,81	14,61	16,16	15,71	16,23
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	10,71	12,24	12,12	12,43	12,59	12,04	12,50	12,37	12,26	11,86	18,38	18,16	18,54	17,82	17,13	17,32	18,19	18,62	17,82
MnO	0,27	-	0,10	0,12	-	0,14	0,24	0,20	0,14	0,17	0,54	0,82	0,78	0,69	0,74	0,66	-	0,68	0,60
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,91	-	5,95	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fe/№	835	836	837	839	840	841	843	844	850	851	984	985	987	991	1006	1007	1011	1019	1020
K	0,90	0,98	0,99	0,98	0,98	1,01	0,97	0,97	0,96	0,88	0,84	0,84	0,84	0,84	0,85	0,80	0,85	0,85	0,85
Na	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,05	0,06	0,07	0,07	0,05	0,18	0,19	0,13	0,13	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18
Si	2,98	2,94	2,95	2,96	2,96	2,97	2,95	2,97	2,94	3,00	2,86	2,86	2,87	2,87	2,91	2,80	2,90	2,85	2,85
Ti	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,11	0,09	0,10	0,09	0,13	0,15	0,09	0,09	0,09	0,13	0,09	0,11	0,11
Al	0,97	0,95	0,97	0,94	0,94	0,93	0,95	0,94	0,95	0,94	1,12	1,11	1,17	1,17	1,07	1,13	1,12	1,12	1,12
Cr	-	-	-	0,01	0,01	-	-	-	0,01	-	0,01	-	0,01	0,01	-	-	-	0,01	0,01
Mg	2,30	2,27	2,24	2,22	2,22	2,26	2,20	2,22	2,24	2,24	1,68	1,66	1,68	1,68	1,80	1,65	1,73	1,70	1,70
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	0,62	0,72	0,71	0,73	0,73	0,71	0,74	0,73	0,72	0,69	1,11	1,10	1,12	1,12	1,03	1,10	1,09	1,13	1,13
Mn	0,02	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	-	0,04	0,04
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-
V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 25

мас, %/№	1028	1052	1055	1056	1058	1060	1062	1065	1068	1069	1070	сп1_01	сп1_02	сп1_06	127	128
K ₂ O	9,07	10,70	10,60	10,42	10,61	10,54	10,56	10,67	10,52	10,41	10,53	10,69	10,42	10,48	7,23	5,18
Na ₂ O	1,30	0,54	0,80	0,72	0,64	0,73	0,70	0,65	0,70	0,61	0,79	0,60	-	-	2,35	1,23
SiO ₂	39,16	41,59	40,97	42,07	42,01	41,49	41,56	41,80	42,05	41,98	41,14	43,11	43,97	43,86	41,80	42,85
TiO ₂	1,88	1,72	1,96	1,70	1,59	1,86	1,72	1,68	1,53	1,69	1,83	1,56	1,40	1,29	1,09	1,12
Al ₂ O ₃	13,40	12,18	11,92	11,49	11,52	11,47	11,62	11,64	11,47	11,48	11,92	10,86	11,06	11,09	15,80	16,49
Cr ₂ O ₃	-	0,12	0,21	0,10	0,10	0,15	0,17	-	-	-	0,18	-	-	-	0,29	0,33
MgO	15,47	20,70	21,07	21,59	21,60	21,31	21,62	21,79	21,53	21,67	21,04	19,96	20,67	21,02	25,37	26,61
CaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	18,42	12,46	12,47	11,91	11,93	12,45	12,04	11,78	12,20	12,16	12,57	13,23	12,48	12,25	6,09	6,19
MnO	0,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂ O ₅	0,51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	1028	1052	1055	1056	1058	1060	1062	1065	1068	1069	1070	сп1_01	сп1_02	сп1_06	127	128
K	0,84	0,96	0,96	0,93	0,95	0,95	0,95	0,96	0,94	0,93	0,95	0,96	0,93	0,93	0,62	0,44
Na	0,18	0,07	0,11	0,10	0,09	0,10	0,10	0,09	0,10	0,08	0,11	0,08	-	-	0,31	0,16
Si	2,84	2,93	2,90	2,95	2,95	2,93	2,93	2,94	2,96	2,95	2,91	3,04	3,07	3,06	2,82	2,83
Ti	0,10	0,09	0,10	0,09	0,08	0,10	0,09	0,09	0,08	0,09	0,10	0,08	0,07	0,07	0,05	0,06
Al	1,14	1,01	0,99	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,95	0,95	0,99	0,90	0,91	0,91	1,25	1,29
Cr	-	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	-	0,01	-	-	-	0,02	0,02
Mg	1,67	2,17	2,22	2,26	2,26	2,24	2,27	2,28	2,26	2,27	2,22	2,10	2,15	2,19	2,55	2,62
Ca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	1,12	0,73	0,74	0,70	0,70	0,74	0,71	0,69	0,72	0,72	0,74	0,78	0,73	0,72	0,34	0,34
Mn	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V ₂	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 26

Химический состав вермикулита и пересчет его в формульные коэффициенты на 22 заряда

мас, %/	307	308	355	359	360	394	395	396	397	409	429	711	822	823	824	833	838	1_07	2_02
K ₂ O	0,39	-	0,79	2,44	0,63	0,53	0,28	4,31	4,81	1,31	3,31	2,08	0,92	2,03	0,80	0,87	0,77	-	1,26
Na ₂ O	1,02	-	-	-	-	-	-	0,50	0,28	-	-	-	0,11	0,10	-	-	0,15	-	-
SiO ₂	42,29	39,51	39,94	39,97	40,48	41,71	41,09	44,55	44,93	46,50	44,03	46,05	45,93	45,94	45,75	46,32	46,16	43,44	45,63
TiO ₂	2,08	-	-	-	-	-	-	1,58	1,73	1,63	1,58	1,99	1,51	1,62	1,64	1,81	1,77	-	1,60
Al ₂ O ₃	14,18	10,93	15,44	14,24	15,18	16,27	15,92	12,91	12,67	12,45	14,55	11,89	12,30	12,57	12,32	12,06	12,09	14,19	11,94
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-	0,11	-	-	-
MgO	16,25	20,71	20,95	17,38	18,35	24,44	21,87	23,22	23,48	25,90	23,26	25,18	25,39	24,77	26,21	25,53	25,22	22,62	26,81
CaO	1,41	0,55	2,34	2,26	2,12	0,94	1,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,28	-
FeO	21,58	28,31	20,55	23,71	23,23	16,10	19,43	12,93	12,10	12,21	13,27	12,80	13,63	12,82	13,06	13,13	13,75	18,46	12,75
MnO	0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	-	0,22	0,16	0,10	-	-
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fc/№	307	308	355	359	360	394	395	396	397	409	429	711	822	823	824	833	838	сп1_0	сп2_0
K	0,03	-	0,07	0,22	0,06	0,05	0,02	0,37	0,41	0,11	0,28	0,18	0,08	0,17	0,07	0,07	0,06	-	0,11
Na	0,14	-	-	-	-	-	-	0,07	0,04	-	-	-	0,01	0,01	-	-	0,02	-	-
Si	2,94	2,83	2,77	2,84	2,83	2,81	2,81	3,01	3,03	3,06	2,95	3,06	3,04	3,05	3,02	3,06	3,06	2,94	3,02
Ti	0,11	-	-	-	-	-	-	0,08	0,09	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	-	0,08
Al	1,16	0,92	1,26	1,19	1,25	1,29	1,28	1,03	1,01	0,97	1,15	0,93	0,96	0,98	0,96	0,94	0,94	1,13	0,93
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,01	-	-	-
Mg	1,68	2,21	2,17	1,84	1,91	2,45	2,23	2,34	2,36	2,54	2,33	2,49	2,51	2,45	2,58	2,51	2,49	2,28	2,65
Ca	0,10	0,04	0,17	0,17	0,16	0,07	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	-
Fe ²⁺	1,25	1,70	1,19	1,41	1,36	0,91	1,11	0,73	0,68	0,67	0,74	0,71	0,76	0,71	0,72	0,73	0,76	1,04	0,71
Mn	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,01	0,01	0,01	-	-

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Продолжение таблицы 26

мас,%/№	7	26	27	63	64	81
K ₂ O	-	-	-	-	-	-
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-
SiO ₂	44,06	40,87	47,08	46,96	40,51	49,03
TiO ₂	1,75	1,81	1,95	2,08	1,71	-
Al ₂ O ₃	12,90	11,82	13,84	13,76	12,00	12,10
Cr ₂ O ₃	0,52	0,58	0,53	0,65	0,55	-
MgO	26,77	23,62	28,23	27,83	23,58	29,68
CaO	0,15	-	-	-	-	-
FeO	13,55	21,30	8,08	8,73	21,66	9,19
MnO	0,30	-	0,27	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	7	26	27	63	64	81
K	-	-	-	-	-	-
Na	-	-	-	-	-	-
Si	2,92	2,83	3,02	3,02	2,81	3,15
Ti	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	-
Al	1,01	0,96	1,05	1,04	0,98	0,92
Cr	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	-
Mg	2,65	2,43	2,70	2,67	2,44	2,84
Ca	0,01	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	0,75	1,23	0,43	0,47	1,26	0,49
Mn	0,02	-	0,01	-	-	-

Таблица 27

Химический состав сульфидов (халькопирит, борнит, халькозин)

№/W%	S	Fe ²⁺	Cu	Сумма	минерал
150	34,84	28,09	37,07	100,00	халькопирит
167	31,04	21,66	47,30	100,00	
170	33,88	28,51	37,61	100,00	
173	33,81	29,55	36,64	100,00	
175	34,49	29,62	35,89	100,00	
184	35,55	29,57	34,88	100,00	
326	34,17	28,45	37,37	100,00	
365	34,21	29,38	36,41	100,00	
410	34,12	28,35	37,53	100,00	
411	32,20	24,69	43,11	100,00	
608	32,98	29,33	37,70	100,00	
615	27,87	21,53	50,60	100,00	
618	32,91	29,56	37,52	100,00	
620	29,32	20,79	49,89	100,00	
622	27,11	19,93	52,96	100,00	
645	28,99	23,00	48,00	100,00	
664	31,78	27,92	40,30	100,00	
709	33,14	30,12	36,74	100,00	
665	31,39	27,51	41,10	100,00	
1082	34,00	29,74	36,26	100,00	
72	32,08	15,12	52,81	100,00	
73	33,60	22,89	43,51	100,00	
77	33,60	27,76	38,64	100,00	
85	34,16	28,46	37,38	100,00	
90	33,40	27,77	38,84	100,00	

№/W%	S	Fe ²⁺	Cu	Сумма	минерал
91	33,79	26,73	39,48	100,00	халькопирит
96	30,93	22,68	46,39	100,00	
97	31,27	23,76	44,97	100,00	
98	32,70	25,85	41,45	100,00	
99	31,50	22,99	45,51	100,00	
117	34,74	28,77	36,49	100,00	
120	32,45	23,15	44,40	100,00	
168	25,25	9,45	65,30	100,00	
169	26,42	12,45	61,13	100,00	
172	25,51	11,49	62,99	100,00	
176	25,83	11,09	63,08	100,00	
333	26,81	13,80	59,40	100,00	
364	26,03	10,61	63,36	100,00	
386	25,76	11,09	63,15	100,00	
414	26,13	10,74	63,13	100,00	
587	25,42	10,03	64,55	100,00	
588	25,00	10,13	64,87	100,00	
601	24,30	11,81	63,89	100,00	
606	24,68	11,63	63,69	100,00	
614	24,38	11,01	64,61	100,00	
619	24,83	13,46	61,71	100,00	
644	23,62	11,40	64,98	100,00	
708	24,82	12,56	62,61	100,00	
789	24,97	10,12	64,91	100,00	
1072	24,94	11,00	64,07	100,00	

№/W%	S	Fe	Cu	Сумма	минерал
86	25,83	11,07	63,10	100,00	борнит
87	26,45	12,58	60,98	100,00	
92	26,33	12,63	61,04	100,00	
93	25,29	8,42	66,29	100,00	
94	25,67	11,14	63,20	100,00	
95	25,35	7,39	67,26	100,00	
107	31,60	13,99	54,41	100,00	
119	26,42	12,44	61,14	100,00	
658	24,03	10,32	65,65	100,00	
826	22,27	0,62	77,11	100,00	
842	30,22	1,02	68,76	100,00	халькозин
848	30,00	0,00	70,00	100,00	
849	23,70	0,00	76,30	100,00	
857	25,59	0,57	73,84	100,00	
1063	21,37	0,35	78,28	100,00	
166	21,26	0,48	78,25	100,00	
171	21,05	0,00	78,95	100,00	
185	24,18	3,73	72,09	100,00	
327	23,04	2,17	74,79	100,00	
332	20,85	0,00	79,15	100,00	
340	21,61	1,48	76,92	100,00	
352	21,65	0,44	77,91	100,00	

№/W%	S	Fe	Cu	Сумма	минерал
354	21,08	0,00	78,92	100,00	халькозин
362	20,25	1,50	78,25	100,00	
363	21,62	0,00	78,38	100,00	
387	21,27	0,53	78,20	100,00	
402	27,77	2,16	70,07	100,00	
403	23,69	1,28	75,04	100,00	
407	22,68	0,63	76,69	100,00	
413	22,39	1,03	76,58	100,00	
416	23,17	0,40	76,42	100,00	
421	23,22	0,00	76,78	100,00	
426	22,92	0,00	77,08	100,00	
600	22,43	1,05	76,52	100,00	
605	22,68	1,01	76,31	100,00	
613	20,13	1,48	78,39	100,00	
642	20,89	4,13	74,97	100,00	
643	23,19	6,60	70,21	100,00	
657	20,41	0,51	79,08	100,00	
667	20,40	0,00	79,60	100,00	
717	23,97	0,00	76,03	100,00	
78	26,75	3,20	70,05	100,00	
88	24,83	2,14	73,03	100,00	

Примечание: суммы нормированы

Таблица 28

Химический состав магнезиоарфведсонита и пересчет его в формульные коэффициенты на 46 зарядов

мас, %/№	144	152	159	263	264	275	277	301	379	382	578	580	465	759	763	773
SiO ₂	55,28	57,51	57,17	57,11	56,37	54,74	58,15	53,50	56,33	57,86	58,56	57,41	58,17	56,48	56,97	56,32
TiO ₂	1,56	0,77	1,10	1,18	2,77	2,46	0,61	1,68	-	0,95	1,14	2,62	0,81	0,59	0,41	1,12
Al ₂ O ₃	3,70	1,87	1,49	1,05	1,41	2,62	0,72	2,78	2,14	1,39	0,91	1,52	0,66	2,00	1,75	2,20
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	7,62	6,95	9,16	13,66	12,29	14,76	12,53	16,67	10,43	5,61	13,23	12,26	13,62	6,23	5,97	6,81
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	-	0,55	0,32	0,50	0,40	0,28	0,63	-	-	-	-	-	0,23	0,28	0,43
MgO	19,46	20,64	18,95	15,45	15,51	13,83	16,89	12,88	18,59	21,01	15,59	15,11	16,01	21,12	20,76	20,11
CaO	3,63	2,91	1,75	0,69	0,41	1,04	0,53	1,94	3,25	3,89	0,55	0,33	0,58	2,92	3,30	3,24
Na ₂ O	8,45	9,12	9,83	10,24	10,39	9,94	9,97	9,44	8,81	8,53	9,76	10,44	10,15	10,14	10,35	9,77
K ₂ O	0,30	0,23	-	0,30	0,35	0,21	0,32	0,17	0,45	0,30	0,27	0,30	-	0,29	0,22	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	0,31	-	0,45	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	144	152	159	263	264	275	277	301	379	382	578	580	465	759	763	773
Si	7,57	7,80	7,81	7,95	7,85	7,71	8,04	7,61	7,74	7,87	8,03	7,99	8,09	7,57	7,64	7,62
Ti	0,16	0,08	0,11	0,12	0,29	0,26	0,06	0,18	-	0,10	0,12	0,27	0,08	0,06	0,04	0,11
Al	0,60	0,30	0,24	0,17	0,23	0,43	0,12	0,47	0,35	0,22	0,15	0,25	0,11	0,32	0,28	0,35
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	0,64	0,41	0,54	1,09	1,07	1,36	1,05	1,48	0,60	0,62	0,79	1,34	1,30	0,00	0,00	0,03
Fe ³⁺	0,24	0,38	0,51	0,50	0,36	0,38	0,40	0,51	0,60	0,02	0,73	0,09	0,29	0,70	0,67	0,74
Mn	-	-	0,06	0,04	0,06	0,05	0,03	0,08	-	-	-	-	-	0,03	0,03	0,05
Mg	3,97	4,17	3,86	3,21	3,22	2,90	3,48	2,73	3,81	4,26	3,19	3,14	3,32	4,22	4,15	4,06
Ca	0,53	0,42	0,26	0,10	0,06	0,16	0,08	0,30	0,48	0,57	0,08	0,05	0,09	0,42	0,47	0,47
Na	2,24	2,40	2,61	2,76	2,80	2,71	2,67	2,60	2,35	2,25	2,59	2,82	2,74	2,64	2,69	2,57
K	0,05	0,04	-	0,05	0,06	0,04	0,06	0,03	0,08	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,04	-
V	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-	0,04	-	-	-	-	-	-

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Продолжение таблицы 28

мас, %/№	1017	1018	1024	1026	1029	1034	1083	1092	1093	1094
SiO ₂	54,13	56,80	55,90	57,13	54,60	55,17	56,24	57,07	56,68	56,15
TiO ₂	1,83	2,64	1,23	0,66	1,25	1,24	1,05	0,73	0,35	0,25
Al ₂ O ₃	2,60	1,32	1,48	0,78	2,01	1,53	2,57	1,74	2,00	2,33
Cr ₂ O ₃	0,08	0,08	0,08	-	-	-	-	-	-	-
FeO	15,01	11,75	14,06	12,82	15,72	16,41	8,57	8,72	8,48	8,59
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	-	0,59	0,36	0,53	0,47	-	-	-	-
MgO	14,10	15,53	14,58	16,22	13,24	13,23	18,70	18,84	19,38	19,30
CaO	1,93	0,47	0,75	0,73	1,17	1,04	2,23	2,36	3,24	3,45
Na ₂ O	10,31	11,41	11,05	11,08	10,61	10,65	10,47	10,53	9,87	9,92
K ₂ O	-	-	0,28	0,23	0,26	0,27	0,15	-	-	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	0,61	-	-	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	1017	1018	1024	1026	1029	1034	1083	1092	1093	1094
Si	7,66	8,06	7,76	7,86	7,68	7,75	7,63	7,74	7,69	7,62
Ti	0,26	0,37	0,13	0,07	0,13	0,13	0,11	0,07	0,04	0,03
Al	0,74	0,37	0,24	0,13	0,33	0,25	0,41	0,28	0,32	0,37
Cr	0,02	0,02	0,01	-	-	-	-	-	-	-
Fe ²⁺	1,81	1,67	0,65	0,46	1,03	1,00	0,07	0,12	0,14	0,02
Fe ³⁺	0,31	-	0,99	1,01	0,82	0,93	0,90	0,86	0,82	0,96
Mn	-	-	0,07	0,04	0,06	0,06	-	-	-	-
Mg	2,00	2,20	3,02	3,33	2,77	2,77	3,78	3,81	3,92	3,90
Ca	0,27	0,07	0,11	0,11	0,18	0,16	0,32	0,34	0,47	0,50
Na	2,92	3,24	2,97	2,95	2,89	2,90	2,75	2,77	2,60	2,61
K	-	-	0,05	0,04	0,05	0,05	0,03	-	-	-
V	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-

Таблица 29

Химический состав рихтерита и пересчет его в формульные коэффициенты на 46 зарядов

мас, %/№	236	238	572	574	577	960	981	982
SiO ₂	59,28	59,43	59,86	60,30	59,62	59,29	58,90	57,97
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	0,25	0,17
Al ₂ O ₃	0,39	-	0,47	-	-	0,22	0,37	0,95
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	0,48
FeO	3,36	3,19	2,23	3,06	3,43	3,55	2,68	1,98
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0,22	0,36	-	-	-	-	-	-
MgO	23,21	23,37	23,29	22,93	23,17	23,26	23,41	23,58
CaO	5,65	5,67	7,04	5,87	5,91	5,06	6,34	7,77
Na ₂ O	7,45	7,57	6,62	7,47	7,37	8,62	7,55	6,54
K ₂ O	0,44	0,41	0,48	0,37	0,50	-	0,49	0,56
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	236	238	572	574	577	960	981	982
Si	8,00	8,02	8,02	8,08	7,99	7,95	7,94	7,85
Ti	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02
Al	0,06	-	0,07	-	-	0,04	0,06	0,15
Cr	-	-	-	-	-	-	-	0,05
Fe ²⁺	0,38	0,36	0,16	0,18	0,07	0,09	0,23	0,22
Fe ³⁺	-	0,00	0,09	0,16	0,31	0,30	0,07	-
Mn	0,03	0,04	-	-	-	-	-	-
Mg	4,67	4,70	4,65	4,58	4,63	4,65	4,70	4,76
Ca	0,82	0,82	1,01	0,84	0,85	0,73	0,92	1,13
Na	1,95	1,98	1,72	1,94	1,92	2,24	1,97	1,72
K	0,08	0,07	0,08	0,06	0,09	-	0,08	0,10

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Таблица 30

Химический состав феррикатафорита и пересчет его в формульные коэффициенты на 46 зарядов

мас, %/№	286	295	296	302	325	775	1086	8	14
SiO ₂	50,47	47,10	52,47	46,61	53,77	53,30	51,51	52,46	52,29
TiO ₂	0,90	0,81	0,71	0,97	0,53	0,66	0,17	0,89	1,27
Al ₂ O ₃	5,59	7,01	4,71	7,58	5,13	5,64	10,32	4,49	4,72
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	1,01	1,02
FeO	15,86	20,43	12,61	20,12	9,33	6,64	6,14	6,64	6,88
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-		
MnO	0,58	0,87	0,40	0,72	-	0,26	-	0,32	0,27
MgO	13,42	10,28	15,64	9,65	19,83	21,94	19,01	18,89	18,53
CaO	5,75	5,84	5,84	3,40	3,90	2,77	4,11	8,20	7,95
Na ₂ O	6,78	6,93	6,90	8,32	7,28	8,79	8,75	6,21	6,07
K ₂ O	0,64	0,36	0,72	0,48	0,23	-	-	0,88	1,01
V ₂ O ₅	-	0,37	-	0,40	-	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	1,74	-	-	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	286	295	296	302	325	775	1086	1	2
Si	7,23	6,88	7,41	6,80	7,41	7,17	6,95	7,32	7,29
Ti	0,10	0,09	0,08	0,11	0,05	0,07	0,02	0,09	0,13
Al	0,94	1,21	0,78	1,30	0,83	0,89	1,64	0,74	0,78
Cr	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,11
Fe ²⁺	1,51	1,72	1,22	1,50	0,85	0,00	0,00	0,03	0,09
Fe ³⁺	0,39	0,78	0,27	0,95	0,23	0,75	0,69	0,74	0,71
Mn	0,07	0,11	0,05	0,09	-	0,03	-	0,04	0,03
Mg	2,87	2,24	3,29	2,10	4,07	4,40	3,82	3,93	3,85
Ca	0,88	0,91	0,88	0,53	0,58	0,40	0,59	1,23	1,19
Na	1,88	1,96	1,89	2,36	1,94	2,29	2,29	1,68	1,64
K	0,12	0,07	0,13	0,09	0,04	-	-	0,16	0,18
V	-	0,04	-	0,04	-	-	-	-	-
Zr	-	-	-	0,12	-	-	-	-	-

*Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Таблица 31

Химический состав ферринибейта и пересчет его в формульные коэффициенты на 46 зарядов

мас, %/№	761	778
SiO ₂	48,86	49,07
TiO ₂	1,22	1,83
Al ₂ O ₃	7,45	7,28
Cr ₂ O ₃	-	0,10
FeO	18,38	16,32
Fe ₂ O ₃ *	-	-
MnO	-	0,32
MgO	9,33	11,50
CaO	1,34	2,61
Na ₂ O	12,42	10,36
V ₂ O ₅	0,99	0,60
Сумма	100,00	100,00
Fc/№	761	778
Si	6,86	6,92
Ti	0,13	0,19
Al	1,23	1,21
Cr	-	0,01
Fe ²⁺	0,26	0,71
Fe ³⁺	1,90	1,21
Mn	-	0,04
Mg	1,95	2,42
Ca	0,20	0,39
Na	3,38	2,83
V	0,09	0,06

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Таблица 32

Химический состав форстерита и пересчет его в формульные коэффициенты на 8 зарядов

мас, %/№	216	219	220	229	231	241	927	928	938	940	944	947	952	956	959	967	980
SiO ₂	41,27	41,08	41,22	41,23	41,17	40,81	41,09	41,69	41,05	41,12	41,06	41,11	41,12	40,92	41,67	41,41	41,25
MgO	49,95	50,15	49,94	50,35	50,14	50,33	50,83	50,08	50,65	50,34	50,23	50,27	50,54	50,45	50,23	50,44	50,56
CaO	0,26	0,33	0,19	0,29	0,28	0,26	0,00	0,00	0,00	0,28	0,30	0,29	0,31	0,31	0,35	0,28	0,00
FeO	8,26	8,21	8,65	8,13	8,40	8,30	8,08	8,23	8,29	8,25	8,41	8,33	8,03	8,32	7,75	7,88	8,19
MnO	0,26	0,23	-	-	-	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	216	219	220	229	231	241	927	928	938	940	944	947	952	956	959	967	980
Si	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	1,01	1,00	1,00
Mg	1,81	1,82	1,81	1,82	1,82	1,83	1,84	1,81	1,84	1,83	1,82	1,82	1,83	1,83	1,81	1,82	1,83
Ca	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Fe ²⁺	0,17	0,17	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17
Mn	0,01	0,00	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: суммы нормированы

Таблица 33

Химический состав антигорита и пересчет его в формульные коэффициенты на 14 зарядов

мас, %/№	217	221	240	243	564	935	949	951	955
SiO ₂	49,43	49,94	51,74	50,88	51,68	49,50	47,76	44,29	50,37
Al ₂ O ₃	0,65	1,00	0,74	-	-	-	-	-	-
MgO	46,40	45,86	43,94	40,92	44,81	46,70	46,87	49,44	45,67
FeO	3,53	3,20	3,58	7,83	3,51	3,81	5,37	6,27	3,96
NiO	-	-	-	0,36		-	-	-	-
Сумма	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	217	221	240	243	564	935	949	951	955
Si	4,02	4,05	4,18	4,2	4,18	4,03	3,94	3,7	4,1
Al	0,06	0,1	0,07	-	-	-	-	-	-
Mg	5,63	5,54	5,29	5,04	5,4	5,67	5,76	6,16	5,54
Fe ²⁺	0,24	0,22	0,24	0,54	0,24	0,26	0,37	0,44	0,27
Ni	-	-	-	0,02		-	-	-	-

Примечание: суммы нормированы

Таблица 34

Химический состав сапонита и пересчет его в формульные коэффициенты на 22 заряда

мас, %/№	131	145	151	147	148	160	189	330	336	361	703	803	804	805
K ₂ O	2,27	1,13	0,56	1,45	0,48	-	1,83	0,44	1,31	5,17	3,33	4,86	0,24	0,18
Na ₂ O	-	-	-	-	-	1,79	-	-	-	-	-	0,24	0,39	0,36
SiO ₂	41,47	40,91	38,70	40,01	40,40	40,59	39,33	41,55	39,38	37,84	40,58	41,69	42,11	39,61
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	-	0,13
Al ₂ O ₃	16,21	17,07	19,32	15,27	15,68	13,66	16,24	15,44	15,19	14,63	14,59	14,20	15,85	17,83
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	-	-
MgO	18,39	18,00	17,91	14,60	17,91	15,85	20,54	20,15	17,23	10,62	17,09	20,60	21,47	15,48
CaO	4,35	6,89	4,92	3,87	2,99	3,06	3,75	3,76	2,73	2,81	3,91	3,54	5,00	8,28
FeO	17,31	16,00	18,59	24,80	22,54	25,06	17,95	18,65	24,16	28,92	20,50	14,63	14,95	17,97
Mno	-	-	-	-	-	-	0,36	-	-	-	-	-	-	0,17
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	131	145	151	147	148	160	189	330	336	361	703	803	804	805
K	0,20	0,10	0,05	0,13	0,04	-	0,16	0,04	0,12	0,49	0,30	0,43	0,02	0,02
Na	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	0,03	0,05	0,05
Si	2,86	2,81	2,67	2,85	2,82	2,88	2,73	2,85	2,79	2,81	2,86	2,89	2,85	2,75
Ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	0,01
Al	1,32	1,38	1,57	1,28	1,29	1,14	1,33	1,25	1,27	1,28	1,21	1,16	1,26	1,46
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-
Mg	1,89	1,84	1,84	1,55	1,86	1,68	2,13	2,06	1,82	1,18	1,80	2,13	2,16	1,60
Ca	0,32	0,51	0,36	0,30	0,22	0,23	0,28	0,28	0,21	0,22	0,30	0,26	0,36	0,62
Fe ²⁺	1,00	0,92	1,07	1,48	1,32	1,49	1,04	1,07	1,43	1,80	1,21	0,85	0,85	1,04
Mn	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-	-	-	-	0,01

Примечание: суммы нормированы

Таблица 35

Химический состав альбита и пересчет его в формульные коэффициенты на 16 зарядов

мас, %/№	268	269	297	299	466	493	527	530	535	996	1009	1032	1048
Na ₂ O	11,34	11,20	11,38	11,42	10,94	10,94	10,94	11,04	10,90	12,30	12,35	12,57	12,49
SiO ₂	68,85	69,12	68,79	68,88	69,68	69,40	69,34	68,89	69,20	68,56	68,36	68,28	68,28
Al ₂ O ₃	19,81	19,68	19,83	19,71	19,38	19,67	19,72	20,07	19,90	19,15	19,29	19,15	19,23
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	268	269	297	299	466	493	527	530	535	996	1009	1032	1048
Na	0,96	0,94	0,96	0,96	0,92	0,92	0,92	0,93	0,92	1,04	1,05	1,07	1,06
Si	3,00	3,01	3,00	3,00	3,03	3,01	3,01	3,00	3,01	3,00	2,99	2,99	2,99
Al	1,02	1,01	1,02	1,01	0,99	1,01	1,01	1,03	1,02	0,99	0,99	0,99	0,99

Таблица 36

Химический состав нефелина и пересчет его в формульные коэффициенты на 32 заряда

мас, %/№	207	208
K ₂ O	4,50	4,55
Na ₂ O	16,53	16,67
SiO ₂	45,55	45,14
Al ₂ O ₃	32,98	33,00
FeO	0,44	0,64
Сумма	100,00	100,00
Fc/№	207	208
K	0,54	0,55
Na	3,04	3,07
Si	4,32	4,29
Al	3,69	3,7
Fe ²⁺	0,03	0,05

Примечание: суммы нормированы

Таблица 37

Химический состав томсонита-Са и пересчет его в формульные коэффициенты на 40 зарядов

мас, %/№	139	154	157	158	186	351	353	380	381	590	592	623	624	688	760	774	776	784
Na ₂ O	4,79	4,22	4,39	4,46	3,73	4,61	4,57	4,41	4,39	4,02	4,08	4,15	4,13	3,91	4,52	4,87	4,69	4,82
SiO ₂	45,61	43,76	44,97	43,94	45,10	44,90	44,96	44,10	44,92	44,83	44,84	43,96	43,55	44,36	43,74	44,64	44,80	44,56
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	34,69	35,77	35,56	35,67	35,81	35,14	35,44	35,66	35,03	35,80	35,74	35,75	35,06	35,60	35,63	35,43	34,92	35,36
MgO	-	0,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,48	2,76	0,82	-	1,71	0,21
CaO	14,91	15,42	15,08	15,92	15,35	15,35	15,02	15,84	15,66	15,35	15,34	16,14	15,78	13,37	15,30	15,07	13,89	15,06
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	139	154	157	158	186	351	353	380	381	590	592	623	624	688	760	774	776	784
Na	1,07	0,95	0,98	1,00	0,83	1,03	1,02	0,99	0,99	0,90	0,91	0,93	0,93	0,87	1,02	1,09	1,05	1,08
Si	5,27	5,07	5,19	5,10	5,20	5,20	5,19	5,11	5,20	5,17	5,18	5,10	5,06	5,10	5,07	5,17	5,17	5,16
Ti	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	4,72	4,89	4,84	4,88	4,86	4,79	4,83	4,87	4,78	4,87	4,86	4,89	4,80	4,83	4,87	4,83	4,75	4,83
Mg	-	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,47	0,14	-	0,29	0,04
Ca	1,85	1,91	1,87	1,98	1,90	1,90	1,86	1,97	1,94	1,90	1,90	2,01	1,96	1,65	1,90	1,87	1,72	1,87

Продолжение таблицы 37

мас, %/№	790	797	1077	1085	1090	1097
Na ₂ O	4,92	4,46	4,65	4,56	4,57	4,81
SiO ₂	44,77	45,07	44,81	44,50	44,44	44,24
TiO ₂	-	-	-	-	-	0,09
Al ₂ O ₃	35,29	34,88	34,98	35,08	35,38	35,00
MgO	-	-	-	0,13	-	-
CaO	15,03	15,60	15,55	15,73	15,61	15,85
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	790	797	1077	1085	1090	1097
Na	1,10	1,00	1,05	1,03	1,03	1,08
Si	5,18	5,22	5,19	5,16	5,15	5,14
Ti	-	-	-	-	-	0,01
Al	4,81	4,76	4,78	4,79	4,83	4,79
Mg	-	-	-	0,02	-	-
Ca	1,86	1,93	1,93	1,95	1,94	1,97

Примечание: суммы нормированы

Таблица 38

Химический состав анализца и пересчет его в формульные коэффициенты на 12 зарядов

мас,%/№	210	211	270	271	474	488	494	528	534	537	548	467	504	516
Na ₂ O	12,18	11,68	14,37	13,14	14,82	14,09	12,89	14,82	11,72	11,98	15,63	14,25	14,22	14,11
SiO ₂	58,03	60,65	59,54	60,09	55,16	55,76	61,30	55,41	61,76	61,18	54,34	60,58	55,80	56,06
Al ₂ O ₃	29,79	27,67	26,09	26,77	30,02	30,14	25,81	29,77	26,52	26,83	29,33	25,17	29,98	29,84
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	210	211	270	271	474	488	494	528	534	537	548	467	504	516
Na	0,79	0,75	0,93	0,85	0,97	0,92	0,83	0,97	0,75	0,77	1,03	0,92	0,93	0,92
Si	1,93	2,00	1,99	2,00	1,86	1,87	2,04	1,87	2,04	2,02	1,85	2,03	1,88	1,88
Al	1,17	1,08	1,03	1,05	1,19	1,19	1,01	1,18	1,03	1,05	1,18	0,99	1,19	1,18
Fe ²⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	-	-

Примечание: суммы нормированы

Таблица 39

Химический состав натролита и пересчет его в формульные коэффициенты на 20 зарядов

мас, %/№	298	300	306	309	310	254	255
Na ₂ O	16,78	16,81	14,52	14,40	15,47	16,55	16,74
SiO ₂	53,64	53,95	55,69	58,05	54,89	53,91	53,49
Al ₂ O ₃	29,58	29,24	29,22	27,55	29,43	29,54	29,59
MgO	-	-	-	-	0,21	-	-
CaO	-	-	0,18	-	-	-	0,18
FeO	-	-	0,39	-	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	298	300	306	309	310	254	255
Na	1,85	1,85	1,59	1,56	1,70	1,82	1,85
Si	3,05	3,07	3,13	3,25	3,10	3,06	3,04
Al	1,98	1,96	1,94	1,82	1,96	1,98	1,98
Mg	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-	-	0,01	-	-	-	0,01
Fe ²⁺	-	-	0,02	-	-	-	-

Примечание: суммы нормированы

Таблица 40

Химический состав томсонита-Sr и пересчет его в формульные коэффициенты на 40 зарядов

мас, %/№	212	213	267	503	505	506	983	994
NaO	3,99	3,80	4,13	3,98	3,52	3,52	4,19	4,85
SiO ₂	41,44	40,54	42,17	40,80	40,13	42,05	41,28	41,39
Al ₂ O ₃	34,28	32,96	33,39	33,00	32,63	31,43	33,22	32,78
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	0,10	-
CaO	9,51	4,72	7,62	2,92	2,47	1,42	6,17	4,81
FeO	-	0,36	-	-	-	-	-	0,51
BaO	0,53	-	-	-	-	-	-	-
SrO	10,26	17,63	12,69	19,30	21,26	21,58	15,05	15,67
Сумма	100,01	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	212	213	267	503	505	506	983	994
Na	0,95	0,93	0,98	0,98	0,87	0,87	1,01	1,18
Si	5,06	5,11	5,18	5,16	5,13	5,35	5,13	5,17
Al	4,94	4,90	4,83	4,92	4,92	4,72	4,87	4,83
Cr	-	-	-	-	-	-	0,01	-
Ca	1,24	0,64	1,00	0,40	0,34	0,19	0,82	0,64
Fe ²⁺	-	0,04	-	-	-	-	-	0,05
Ba	0,03	-	-	-	-	-	-	-
Sr	0,73	1,29	0,90	1,42	1,58	1,59	1,09	1,13

Примечание: суммы нормированы

Таблица 41

Химический состав магнетита и пересчет его в формульные коэффициенты на 8 зарядов

мас, %/№	222	368	235	560	561	69	226
TiO ₂	-	-	-	-	-	6,26	0,89
Al ₂ O ₃	-	-	0,81	-	0,38	0,31	0,30
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	4,81	13,15
MgO	2,02	-	1,11	0,90	1,09	1,09	2,19
FeO	97,98	99,61	89,82	99,10	98,52	85,63	83,01
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-
Mno	-	0,39	-	-	-	1,39	-
NiO	-	-	8,27	-	-	-	0,46
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	0,51	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	222	368	235	560	561	69	226
Ti	-	-	-	-	-	0,18	0,02
Al	-	-	0,03	-	0,02	0,01	0,01
Cr	-	-	-	-	-	0,14	0,37
Mg	0,11	-	0,06	0,05	0,06	0,06	0,12
Fe ²⁺	0,89	0,99	0,70	0,95	0,94	1,10	0,89
Fe ³⁺	2,00	2,00	1,97	2,00	1,98	1,45	1,57
Mn	-	0,01	-	-	-	0,04	-
Ni	-	-	0,24	-	-	-	0,01
V	-	-	-	-	-	0,01	-

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Таблица 42

Химический состав хромита и пересчет его в формульные коэффициенты на 8 зарядов

мас, %/№	224	225	227	228	230	244	249	343	462	675	818	939
TiO ₂	0,77	0,48	0,87	0,69	0,80	0,70	1,60	1,74	0,77	2,23	2,25	0,78
Al ₂ O ₃	6,47	5,76	5,61	6,22	6,32	1,78	0,56	-	6,09	0,56	0,53	6,17
Cr ₂ O ₃	49,60	48,43	47,41	49,17	49,17	45,72	40,57	44,46	47,24	39,55	40,03	48,64
MgO	7,79	6,50	6,96	8,12	7,86	1,39	0,70	0,93	1,02	0,97	1,19	8,24
FeO	35,37	38,31	38,55	35,80	35,85	44,20	51,35	50,91	40,71	54,81	54,33	36,17
Fe ₂ O ₃ *	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	-	0,52	0,60	-	-	4,11	4,30	1,96	4,16	1,88	1,67	-
V ₂ O ₅	-	-	-	-	-	0,47	0,93	-	-	-	-	-
ZnO	-	-	-	-	-	1,63	-	-	-	-	-	-
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	224	225	227	228	230	244	249	343	462	675	818	939
Ti	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,02	0,06	0,06	0,02
Al	0,26	0,23	0,23	0,25	0,25	0,08	0,02	-	0,26	0,02	0,02	0,25
Cr	1,33	1,31	1,28	1,31	1,32	1,31	1,17	1,28	1,33	1,14	1,15	1,30
Mg	0,39	0,33	0,35	0,41	0,40	0,08	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,41
Fe ²⁺	0,63	0,67	0,65	0,61	0,62	0,80	0,92	0,94	0,84	0,95	0,95	0,61
Fe ³⁺	0,37	0,43	0,45	0,40	0,39	0,54	0,65	0,62	0,37	0,72	0,70	0,42
Mn	-	0,02	0,02	-	-	0,13	0,13	0,06	0,13	0,06	0,05	-
V	-	-	-	-	-	0,01	0,02	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	0,04	-	-	-	-	-	-

Примечание: количество железа расчетное, суммы нормированы

Таблица 43

Химический состав пектолита и пересчет его в формульные коэффициенты на 17 зарядов

мас, %/№	1002	1003	1004	1005	1039	1043	1044	1045	1046	1047	496	497	498	515	529	536	266
NaO	10,32	10,10	10,15	10,23	10,21	9,70	10,07	10,05	10,22	9,83	8,69	9,40	9,11	10,26	9,36	8,82	9,25
SiO ₂	54,96	55,18	54,95	55,13	55,37	56,10	55,62	55,62	55,88	56,09	55,76	55,92	56,05	57,91	56,13	56,06	56,38
TiO ₂	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	0,63	0,31	0,75	0,37	0,44	-	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	0,16	0,27	0,33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	31,31	30,82	30,25	32,34	32,21	33,15	33,31	34,32	33,89	33,19	34,08	33,77	33,31	31,83	33,44	35,12	33,99
FeO	0,70	1,46	1,14	1,25	-	-	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	1,92	1,85	2,43	0,61	1,77	1,05	0,38	-	-	0,89	1,47	0,91	1,52	-	1,07	-	0,38
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	1002	1003	1004	1005	1039	1043	1044	1045	1046	1047	496	497	498	515	529	536	266
Na	1,08	1,06	1,07	1,07	1,07	1,01	1,05	1,05	1,07	1,02	0,91	0,98	0,95	1,06	0,98	0,92	0,96
Si	2,97	2,99	2,98	2,98	2,99	3,02	3,00	3,00	3,01	3,02	3,01	3,01	3,02	3,08	3,02	3,01	3,02
Ti	-	-	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al	0,04	0,02	0,05	0,02	0,03	-	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	0,01	0,02	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	1,82	1,79	1,76	1,87	1,86	1,91	1,92	1,98	1,95	1,91	1,97	1,95	1,92	1,81	1,93	2,02	1,95
Fe ²⁺	0,03	0,07	0,05	0,06	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0,09	0,08	0,11	0,03	0,08	0,05	0,02	-	-	0,04	0,07	0,04	0,07	-	0,05	-	0,02

Примечание: суммы нормированы

Таблица 44

Химический состав титанита и пересчет его в формульные коэффициенты на 10 зарядов

мас, %/№	133	188	334	372	389	701	847	1066
SiO ₂	30,43	30,88	30,84	29,46	30,40	30,93	30,53	30,71
TiO ₂	40,55	39,48	40,18	38,25	40,26	39,12	39,74	40,26
CaO	29,02	28,31	27,88	27,08	28,01	28,35	28,42	28,06
FeO	-	1,33	1,11	5,22	1,33	1,60	1,31	0,96
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	133	188	334	372	389	701	847	1066
Si	0,99	1,01	1,01	0,98	1,00	1,01	1,00	1,00
Ti	1,00	0,97	0,99	0,96	0,99	0,97	0,98	0,99
Ca	1,02	0,99	0,98	0,97	0,98	1,00	1,00	0,98
Fe ²⁺	-	0,04	0,03	0,15	0,04	0,04	0,04	0,03

Таблица 45

Химический состав Y-Zr-Ti фазы

№ сп	Na	Si	Ca	Ti	Mn	FeO	Y	Zr	Nb	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Gd	Dy	Er	Yb	Th	U	Сумма
469	0,00	0,00	3,47	25,40	1,46	7,71	10,81	28,72	5,72	0,00	2,69	0,77	2,42	0,74	1,48	2,12	1,42	0,83	0,00	0,00	95,76
470	0,00	0,00	3,11	23,13	1,67	7,95	10,09	27,51	8,37	0,00	3,27	0,46	2,56	0,85	1,48	1,68	1,35	0,69	0,00	0,00	94,17
475	0,00	0,00	3,90	24,64	1,33	8,04	9,63	28,34	7,15	0,00	3,16	0,34	2,86	0,74	1,20	1,74	1,03	0,71	0,00	0,00	94,81
477	0,00	0,00	3,54	25,75	1,33	7,87	10,53	28,51	5,30	0,00	2,89	0,72	2,11	0,83	1,23	1,66	1,05	0,85	0,00	0,00	94,17
869	0,00	0,00	2,50	27,63	1,68	7,62	13,29	25,13	8,18	0,00	1,93	0,00	3,02	1,12	1,34	0,00	0,00	0,00	4,08	2,48	100,00
878	0,58	0,00	7,09	23,67	1,80	7,59	4,68	31,04	13,09	2,66	4,21	0,00	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,58	0,00	100,00
887	0,80	0,60	2,57	27,13	2,24	6,75	12,93	21,39	9,94	0,46	2,40	0,00	3,67	0,95	1,21	0,00	0,00	0,00	3,27	3,69	100,00

Примечание: суммы нормированы (спектр 869, 878, 887)

Таблица 46

Химический состав бритолита-Се и пересчет его в формульные коэффициенты на 25 зарядов

мас, %/№	471	472	476	478	500	521	524	525
SiO ₂	15,90	18,33	16,25	18,27	22,77	21,58	22,24	21,87
P ₂ O ₅	8,48	6,04	8,34	6,09	8,40	3,67	2,68	3,35
CaO	9,28	8,77	8,91	8,43	11,72	9,50	8,46	6,07
FeO	0,36	0,31	0,38	0,65	0,00	0,00	0,85	1,15
SrO	8,39	7,16	8,47	6,93	12,51	8,77	4,28	11,03
Y ₂ O ₃	4,26	3,90	4,24	4,32	5,02	3,97	5,55	0,00
La ₂ O ₃	19,73	22,33	19,14	22,11	14,46	16,88	17,97	18,03
Ce ₂ O ₃	26,30	28,45	26,60	28,50	20,28	27,54	29,64	30,06
Pr ₂ O ₃	0,00	0,00	1,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd ₂ O ₃	4,86	4,11	4,26	4,71	4,84	8,09	8,33	8,43
EuO	1,26	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd ₂ O ₃	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy ₂ O ₃	0,54	0,59	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fc/№	471	472	476	478	500	521	524	525
Si	2,04	2,37	2,08	2,36	2,61	2,75	2,85	2,86
P	0,92	0,66	0,91	0,67	0,82	0,40	0,29	0,37
Ca	1,28	1,21	1,22	1,16	1,44	1,30	1,16	0,85
Fe ²⁺	0,04	0,03	0,04	0,07	0,00	0,00	0,09	0,13
Sr	0,63	0,54	0,63	0,52	0,83	0,65	0,32	0,84
Y	0,29	0,27	0,29	0,30	0,31	0,27	0,38	0,00
La	0,94	1,06	0,91	1,05	0,61	0,79	0,85	0,87
Ce	1,24	1,34	1,25	1,35	0,85	1,28	1,39	1,44
Pr	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd	0,22	0,19	0,19	0,22	0,20	0,37	0,38	0,39
Eu	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gd	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dy	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Примечание: суммы нормированы