

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный горный университет»

*На правах рукописи*



**ТРУТНЕВ АРТЕМ КОНСТАНТИНОВИЧ**

**ЭНДОГЕННАЯ РУДОНОСНОСТЬ ВНУТРИПЛИТНОГО ПЕРМСКО-  
ТРИАСОВОГО МАГМАТИЗМА МАНЬХАМБОВСКОГО БЛОКА  
(ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

Специальность 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых,  
минералогия

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, Душин Владимир Александрович

Екатеринбург-2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКО-РАННЕМЕЗОЗОЙСКОГО МАГМАТИЗМА И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МАНЬХАМБОВСКОГО БЛОКА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ).....	10
1.1 История изучения геологического строения и рудоносности Маньхамбовского блока .....	10
1.2 Основные черты геологического строения Маньхамбовского блока.....	13
ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЯ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКО-РАННЕМЕЗОЗОЙСКИХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МАНЬХАМБОВСКОГО БЛОКА.....	29
(ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ) .....	29
2.1 Поньинский комплекс ( $\mu\delta P-Tpn$ ) .....	31
2.2 Туяхланьинский комплекс ( $\tau\lambda P-Tth$ ).....	34
2.3 Геохронологические исследования.....	37
ГЛАВА 3. ПОРОДЫ ПОНЬИНСКОГО И ТУЯХЛАНЬИНСКОГО КОМПЛЕКСОВ – ПРОДУКТЫ ПЕРМСКО-ТРИАСОВОГО ВНУТРИПЛИТНОГО МАГМАТИЗМА МАНЬХАМБОВСКОГО БЛОКА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ).....	41
3.1 Поньинский комплекс ( $\mu\delta P-Tpn$ ) .....	41
3.2 Туяхланьинский комплекс ( $\tau\lambda P-Tth$ ).....	78
ГЛАВА 4. ЭНДОГЕННАЯ РУДОНОСНОСТЬ ПЕРМСКО-ТРИАСОВОГО ЭТАПА МАНЬХАМБОВСКОГО БЛОКА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ).....	101
4.1 Металлогенические эпохи Маньхамбовского блока.....	101
4.2 Эндогенная рудоносность пермско-триасового этапа Маньхамбовского блока .....	105
4.3 Закономерности размещения редкоземельно-редкометалльной урансодержащей формации щелочных метасоматитов Маньхамбовского блока.....	140
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	148
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	151
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Результаты U-Pb LA-ICP-MS изотопного анализа зерен циркона из риолита (обр.13-1240)164 туяхланьинского комплекса ( $\tau\lambda P-Tth$ ). .....	164
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Химический состав и кристаллохимические формулы минералов из монцогаббро поньинского комплекса ( $\mu\delta P-Tpn$ ) .....	166
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Химический состав и кристаллохимические формулы минералов из долеритов поньинского комплекса ( $\mu\delta P-Tpn$ ).....	171
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Химический состав и кристаллохимические формулы минералов из микрограносиенитов поньинского комплекса ( $\mu\delta P-Tpn$ ) .....	181
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Химический состав и кристаллохимические формулы минералов из риолитов туяхланьинского комплекса ( $\tau\lambda P-Tth$ ) .....	185

ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Химические составы горных пород (масс %) Маньхамбовского блока .....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Содержания микроэлементов (г/т) магматических и метасоматических горных пород Маньхамбовского блока по результатам количественного анализа ICP-MS .....	192
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Химический состав и кристаллохимические формулы рудных минералов из рудопрояления и пунктов минерализации редкометалльно-редкоземельного оруденения .....	206
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Содержания химических элементов ( $10^{-3}$ мас.%) метасоматитов рудопрояления Большая Турупья по результатам приближенно-количественного эмиссионного спектрального (ПКЭСА) анализа .....	213

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время, согласно Стратегии развития минерально-сырьевой базы страны до 2050 важное значение отводится редким металлам (танталу, ниобию), редкоземельным элементам иттриевой группы и урану. Данный факт обосновывает необходимость поисков новых природных и техногенных источников сырья. Одним из таких перспективных регионов является Приполярный Урал, где с малыми телами субщелочного магматизма установлена связь редкоземельно-редкометалльного урансодержащего оруденения. Однако условия локализации и закономерности размещения редкоземельно-редкометалльной урансодержащей минерализации в данном районе на сегодняшний день до конца не изучены.

**Целью диссертационной работы** является установление геологического положения и рудоносности позднепалеозойско-раннемезозойских магматических комплексов Маньхамбовского блока на основе комплексных геологических, минералого-петрографических, петрохимических и геохронологических исследований.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Выяснить геологическое положение позднепалеозойско-мезозойских магматических тел и установить их формационную принадлежность.
2. Изучить минералого-петрографические, петрохимические и возрастные характеристики магматических пород и определить их рудоносность.
3. Изучить геологическое строение, вещественный состав пород и руд, закономерности размещения полезных ископаемых, а также разработать прогнозно-поисковый комплекс на редкоземельно-редкометалльный урансодержащий тип оруденения.

**Фактический материал и методы исследований.** В основе диссертации лежат материалы, полученные результатами многолетних (более 25 лет) исследований сотрудников СНИГЭ (г. Екатеринбург), включающих опытно-методические (1984 – 1987 гг.), тематические (2000 – 2010 гг.) и современные геолого-съёмочные (ГДП-200/2 листов Р-40-VI, XII (2007 – 2018 гг.)) работы. В последних работах диссертант принимал непосредственное участие.

Авторские исследования проводились в два этапа – полевые и камеральные работы. Полевые работы включали следующий комплекс исследований: геологические маршруты масштаба 1:200 000, изучение опорных разрезов, маршруты при шлиховом опробовании и горные работы (проходка шурфов). Все виды работ сопровождалась детальной документацией и опробованием на различные лабораторно-аналитические исследования.

Кроме того, в период полевых работ проводились измерения магнитной восприимчивости прибором М-27 и радиоактивности радиометром СРП-88, как образцов, так и пород в естественных обнажениях.

В процессе камеральных работ с целью выявления структурно-текстурных особенностей, для диагностики пород, видового состава породообразующих, рудных и акцессорных минералов, их свойств и взаимоотношений минеральных индивидов дисертантом проводились петрографические, минеграфические и минералогические исследования. Петрографическому и минеграфическому изучению подверглись прозрачно-полированные шлифы (50 штук) и полированные аншлифы (20 штук) под поляризационным микроскопом Leica DM2700P на базе кафедры ГПР МПИ Уральского государственного горного университета. Минералогический анализ включал в себя исследования проб-протолочек (10 штук) и шлиховых проб (30 штук). Диагностика минералов проводилась на стереомикроскопе Leica M205C на кафедре ГПР МПИ (УГГУ).

Для определения химического состава и уточнения разновидностей минералов и руд, а также с целью диагностики тонкодисперсных акцессорных и рудных минералов проведены сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ с помощью энергодисперсионного спектрометра. Исследования выполнены на электронном сканирующем микроскопе JSM-6390LV (JEOL) с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 фирмы Oxford Instruments (77 анализов, 1 образец) в ЦКП «Геоаналитик» ФГБУН Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН (г. Екатеринбург) и на электронном сканирующем микроскопе VEGA LMS фирмы TESCAN, оборудованным приставкой для рентгеноспектрального микроанализа Xplore 30 фирмы OXFORD instruments (459 анализов, 15 образцов) в лаборатории НИИЛ ВСПиР Уральского государственного горного университета (г. Екатеринбург).

С целью определения химического состава пород проводился силикатный (химический) анализ, где состав горной породы выражен в виде суммы оксидов:  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SiO}_2$ , ППП. Типовой силикатный (химический) анализ горных пород выполнялся в лаборатории ИГГ УрО РАН на рентгенофлуоресцентных спектрометрах СРМ-18 и EDX-900-SHIMADZU и в химической лаборатории УГГУ. В ходе исследований был выполнен 41 анализ.

Для определения элементного химического состава метасоматитов рудопроявления Большая Турупья проводился приближенно-количественный эмиссионный спектральный анализ (ПКЭСА) с определением 25 элементов (12 проб) на спектральной установке СТЭ-1 в лаборатории УГГУ (г. Екатеринбург).

Количественный спектральный анализ горных пород на редкие (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu) и рассеянные элементы (Li, Be, Sc, Ti, Cr, Mn, Ni, V, Co, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Pd, Cd, In, Sn, Te, I, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U) выполнен методом масс – спектрометрии в индуктивно – связанной плазме (ICP-MS) на спектрометре ELAN 9000 и анализаторе Finnigan 262 в Институте Геологии и Геохимии Уральского отделения Российской Академии наук (г. Екатеринбург) и на спектрометре ELAN-6100 DRC в ЦЛ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Всего проанализировано 33 пробы.

Анализ изотопного состава Rb и Sr в минералах и горных породах методом мультиколлекторной термо-ионизационной масс-спектрометрии (МК-ТИМС) с предварительных химическим разложением и хроматографическим разделением произведен на масс-спектрометре TRITON Plus (Thermo Fisher Scientific) (1 проба) и анализ изотопного состава Sm и Nd в минералах и горных породах методом МК-ИСП-МС с предварительных химическим разложением и хроматографическим разделением произведен на масс-спектрометре NEPTUNE Plus (Thermo Fisher Scientific) (1 проба) выполнены в ЦКП «Геоаналитик» ФГБУН Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН (г. Екатеринбург). U-Pb (SIMS) датирование и анализ элементов-примесей в индивидуальных кристаллах циркона проводилось на ионном микрозонде SHRIMP-II (1 проба) в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) согласно методике (Ireland, 1995; Larionov et al, 2004). U-Pb LA ICP-MS датирование кристаллов циркона (1 проба) проводилось в Институте Наук о Земле Университета Иоганна Вольфганга Гете (г. Франкфурт-на-Майне, Германия) с использованием секторного, масс-спектрометра ICP-MS Element2, интегрированного с лазером New Wave UP213 UV, по методике [Гердес А., Зех А., Ронкин Ю.Л., 2013].

#### **Защищаемые положения.**

*1. В пределах Маньхамбовского блока Ляпинской СМЗ Уральской металлогенической провинции выявлены малые тела, штоки и дайки субщелочных и щелочных пород основного, среднего и кислого составов пермско-триасового возраста, а именно поньинский и туяхлянйинский комплексы.*

*2. Породы поньинского и туяхлянйинского комплексов характеризуются повышенной щелочностью K-Na и K типа, повышенной титанистостью, железистостью, высоким содержанием редких и редкоземельных элементов, составы которых свойственны продуктам внутриплитного рифтогенного магматизма.*

*3. Эндогенная рудоносность пермско-триасового этапа формирования Маньхамбовского блока обусловлена проявлением околорудных метасоматитов кварц-*

*альбит-микроклиновой и эйситовой формации вмещающих редкоземельно-редкометалльное урансодержащие оруденение.*

#### **Научная новизна.**

1. Впервые в пределах Маньхамбовского блока установлен пермско-триасовый возраст магматических пород, связанных с процессами тектоно-магматической активизации.

2. Установлена внутри-(окрайно)-плитная геодинамическая обстановка формирования магматических пород пермско-триасового возраста.

3. Впервые в породах семейства габбро установлен щелочной пироксен – омфацит и минерал из группы амфибола – К-содержащий паргасит.

4. Впервые в пермско-триасовых магматических породах диагностированы алланит, аурипигмент, торит и бенстонит.

5. Установлены и закартированы эйситовые метасоматиты в ассоциации с кварц-альбит-микроклиновыми породами, наложенные на пропилитовую формацию.

6. Выявлена редкоземельно-редкометалльная урансодержащая специализация щелочных метасоматитов, связанных с продуктами пермско-триасовой ТМА.

7. Впервые создана геолого-генетическая модель условий локализации оруденения Турупьинского потенциального рудного поля.

8. Установлены поисковые критерии и признаки и разработан прогнозно-поисковый комплекс на редкоземельно-редкометалльный урансодержащий тип минерализации.

**Практическая значимость.** Практическое значение определяется повышением эффективности введения геологосъемочных работ. А именно, эти данные вошли в Легенду для ГДП-200/2 Северо-Уральской серии листов. Установленные закономерности размещения и составленный прогнозно-поисковый комплекс на редкоземельно-редкометалльный урансодержащий тип оруденения, могут быть использованы в геологических организациях с целью повышения эффективности поисковых работ, что в конечном итоге, приведет к развитию минерально-сырьевой базы как региона, так и страны в целом.

**Личный вклад автора** заключается в проведении полевых геологосъемочных и поисковых маршрутов 1:200 000 масштаба (90 км) и изучении опорных разрезов (800 м), включающих документацию и опробование на различные лабораторно-аналитические исследования, проведено детальное описание кернового материала предшествующих лет (1500 п.м.). Диссертантом собрана коллекция горных пород (40 штук). Автором произведено описание прозрачно-полированных шлифов (50 штук) и аншлифов (20 штук), минералогический анализ проб-протолок (10 штук) и шлиховых проб (30 штук),

отобраны монофракции циркона и породообразующих минералов (4 штуки) с целью проведения геохронологических исследований. Диссертант принимал участие в аналитике химического состава породообразующих, акцессорных и рудных минералов при помощи сканирующей электронной микроскопии с рентгеноспектральным микроанализом (536 анализов). Проведена интерпретация результатов рентгенофлуорисцентного анализа (41 проба) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (33 пробы).

**Апробация работы.** Основные результаты исследований и защищаемые положения были представлены на 10 международных и всероссийских конференциях, в частности на международной научно-практической конференции «Уральская школа – регионам» (УГГУ, г. Екатеринбург, 2016, 2018, 2019, 2020, 2022), на XIV международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (МГРИ, г. Москва, 2019), на IX международной научно-практической конференции «Молодые – Наукам о Земле» (МГРИ, г. Москва, 2020), на национальной научно-технической конференции «Рудная геология, геофизика, инженерная-геология и гидрогеология» (УГГУ, г. Екатеринбург, 2021), на всероссийской научно-практической конференции «Проблемы минералогии, петрографии и металлогении» (ПГНИУ, г. Пермь, 2022), на XVIII Геологическом съезде Республики Коми «Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России» (Институт геологии Коми НЦ Уро РАН им. Н.П. Юшкина, г. Сыктывкар, 2024).

По теме диссертации опубликовано 12 работ, из них 1 Scopus, 2 статьи в журналах из перечня ВАК.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложений и представлена на 213 страницах. Работа содержит 61 иллюстрации, 16 таблиц и библиографический список из 128 наименования. Защищаемое положение №1 раскрыто в главе 2, положение №2 – в главе 3, положение №3 – в главе 4. Во *введении* определены актуальность, цели и задачи работы, ее научная новизна и практическая значимость, а также сформулированы защищаемые положения. В *первой главе* содержатся сведения об истории изучения позднепалеозойско-раннемезозойского магматизма и основные черты геологического строения Маньхамбовского блока. Во *второй главе* изложены результаты анализа геолого-структурного положения позднепалеозойско-раннемезозойских магматических тел Маньхамбовского блока, а также установлен их пермско-триасовый (246,2 - 251 млн. лет) возраст. В *третьей главе* приведены результаты изучения минералого-петрографических и петрохимических характеристик пермско-триасовых магматических образований. В *четвертой главе* рассмотрена эндогенная рудоносность пермско-триасового этапа развития Маньхамбовского блока, которая определяется парагенетической связью с внутриплитным

магматизмом редкоземельно-редкометалльного урансодержащего оруденения. *Заключение* содержит главные выводы исследований и основную информацию о возможности практического применения результатов исследования.

**Благодарности.** Автор искренне благодарен своему научному руководителю профессору, доктору геолого-минералогических наук, заведующему кафедрой ГПР МПИ УГГУ Душину Владимиру Александровичу за неоценимую помощь и поддержку в подготовке диссертации, обсуждение результатов по ходу исследования, совместную работу и неоценимый вклад в развитие личности. Автор глубоко признателен сотрудникам кафедры ГПР МПИ УГГУ, профессору, доктору геолого-минералогических наук Макарову Анатолию Борисовичу, доцентам, кандидатам-геолого-минералогических наук Бурмако Павлу Леонидовичу, Козьмину Вениамину Сергеевичу, Никулиной Ирине Анатольевне, Малюгину Александру Александровичу, Хасановой Гульнаре Габдулбариевне за ценные советы и конструктивную критику. За предоставление литературных и картографических материалов, результатов аналитических исследований, образцов и проб автор искренне благодарен младшим научным сотрудникам Северной научно-исследовательской геологической экспедиции (г. Екатеринбург) Прокопчуку Денису Игоревичу и Сердюковой Ольге Петровне. За ценные комментарии и консультации автор признателен заведующей лаборатории палеовулканизма и региональной геодинамике Института геологии и геохимии Уро РАН, кандидату геолого-минералогических наук Волчек Елене Николаевне. Автор признателен старшему преподавателю кафедры ГПР МПИ УГГУ Жуклину Евгению Александровичу за бесценные советы, добрые пожелания и помощь в оформлении иллюстрационного материала. За помощь в проведении детальных и современных минералого-петрографических исследований автор искренне благодарен заведующей лаборатории Научно-исследовательской и испытательной лаборатории вещественного состава пород и руд УГГУ Деминой Любовью Андреевне. Отдельную благодарность за поддержку и профессионально выполненные аналитические работы автор выражает сотрудникам ЦКП «Геоаналитик» (г. Екатеринбург) и ЦЛ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург).

# **ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКО-РАННЕМЕЗОЗОЙСКОГО МАГМАТИЗМА И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МАНЬХАМБОВСКОГО БЛОКА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

## **1.1 История изучения геологического строения и рудоносности Маньхамбовского блока**

Как известно проявления внутриплитного магматизма на Урале известны в пределах Южного Зауралья в виде траппов туринской серии (Т) [Балашов Ю.А., 1976]. На южном Урале зафиксированы более молодые (J) магматические комплексы лампроитовых и лампрофировых пород, охарактеризованные в трудах Лукьяновой Л.И., Марейчева А.М., Машак И.М., Сурина Т.Н. и др. На Полярном Урале внутриплитные магматические комплексы описаны в отчетах по геологической съемке В.Н. Вороновым (1976ф) и П.М. Кучериной (1991ф). Многолетние геологосъемочные работы масштаба 1:200 000, под руководством Душина В.А. (2000-2018) и различные научные и тематические исследования (Криночкин Л.А., Островский В.Н. 1997, Душин В.А. 1997-2010, Попова О.М. 2002) показали принципиальное значение позднепалеозойско-раннемезозойской ТМА в развитии и проявлений различных полезных ископаемых Приполярного и Полярного Урала.

С появлением данных о магматической активизации в позднепалеозойско-раннемезозойское время пересматривается возраст золоторудной, сурьмяной, флюоритовой и других типов гидротермальной минерализации, относимых ранее к палеозойским. Золотым оруденением, связанным с процессами позднепермско-раннемезозойской ТМА в целом для Урала активно занимался А.Г. Баранников. Золотоносность западного склона Урала раннемезозойского металлогенического этапа изучали Литишко Д.Н. (1985-1992), В.П. Водолазская (1988-1991). Перспективами алмазоносности Полярноуральского региона занимались М.А. Маслов, Г.Я. Пономарев (1970-1983), А.С. Микляев (1964-1998), Н.А. Ремизова (1980), Л.И. Лукьянова (1980-1986). По результатам многолетних научно-исследовательских работ в пределах Полярной и Приполярной части Урала Душину В.А. удалось установить связь магматизма позднепалеозойско-раннемезозойской эпохи с медно-никелевым, титан-железистым, золотым, ртутным, сурьмяным, алмазным, радиоактивным, редкометалльным и редкоземельным типами оруденения, а также известны проявления флюорита и агата генетически связанных с гидротермальными процессами ТМА.

По мнению многих исследователей поперечная зональность Урала обусловлена наложением широтных и западно-северо-западных зон пермско-триасовой ТМА, роль которой до сих пор недооценивается. Велика роль ТМА и по собственно уральским

направлениям и по секущим, в первую очередь, северо-западным и субширотным. Наиболее интенсивно активизация проявилась на севере, где господствуют «пайхойские» простирания [Попова О.М., 2002]. Ярким примером является Лонготюганская зона ТМА, кора которой подверглась такой интенсивной гранитизации и переработке, что из островодужной перешла в континентальную [Берлянд Н.Г., 1982].

Проблемы магматической геологии севера Урала, в частности Полярного и Приполярного Урала, начали интересовать исследователей еще в прошлом веке. Первую информацию по петрографии и местонахождению магматитов находят в трудах Э.К. Гофмана (1856), Е.Е. Федорова (1898), О.О. Баклунда (1911). Значительный вклад в изучение магматизма региона начиная с 20-х годов XX века и в последующие годы внесли А.И. Алешков, Ф.Р. Апельцин, Л.Т. Белякова, С.Н. Волков, Б.А. Голдин, М.М. Ермолаев, А.Н. Заварицкий, Н.Н. Иорданский, Е.П. Калинин, Е.А. Карякин, Г.А. Кейльман, А.В. Калиновский, Т.К. Кожина, Е.А. Кузнецов, И.Л. Лучинин, Н.П. Лупанова, В.В. Маркин, М.А. Маслов, А.Д. Миклухо-Маклай, Г.В. Меркулова, В.И. Мизин, Е.П. Молдаванцев, Ю.Е. Молдаванцев, В.Ф. Морковкина, Б.Я. Осадчев, В.Н. Охотников, М.Н. Парханов, И.А. Петрова, П.С. Перфильев, Л.Л. Подсосова, В.Н. Пучков, А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина, Н.А. Румянцева, И.Л. Рысюков, Г.Н. Савельева, В.М. Сергиевский, И.Д. Соболев, Ю.Д. Смирнов, В.А. Смирнова, Г.В. Симаков, Н.А. Сирин, Н.В. Удовкина, О.В. Удоратина, М.В. Фишман, А.В. Хабаков, Н.П. Херасков, А.А. Чернов, И.А. Шмидт, Н.П. Юшкин, коллективы геологов ПГО «Полярноуралгеология», «Главтюменьгеология», Зеленогорской экспедиции. Ими заложены основы магматической геологии региона, обоснован возраст, дана петрографическая и геохимическая характеристика пород. В 60-80-е годы сотрудниками ИГ Коми ФАН СССР, ИГиГ УНЦ АН СССР ВСЕГЕИ, СГИ - УГГТА, ЗАПСИБ – НИГНИ проводились специализированные исследования, касающиеся выяснения закономерностей проявления магматизма, его петрогенетической эволюции и формационной принадлежности. В конце XX начале XXI веков в связи с активным внедрением идей мобилизма накопившийся большой фактический материал по магматизму севера Урала был пересмотрен и переосмыслен. Магматические образования стали рассматривать как продукты эпикратонного рифтогенеза и других процессов растяжения и деструкции. Активно этими вопросами занимались Пейве А.В., Иванов С.Н. (1977), Голдин Б.А., Пучков В.Н. (1978), Иванов С.Н. (1986), Душин В.А. (1997). В последующий период высказываются предположения Нечехуиным В.М., Душиным В.А. (2001) о связи магматических образований этой части Уральского орогена с коллизионными процессами, проявлявшимися как на уровне верхнего протерозоя при коллажном разрастании северо-западной периферии Восточно-Европейской плиты, так и в палеозое при столкновении этой

плиты с фрагментами Уральского палеоокеана. Исследованиями геодинамических обстановок кислого вулканизма Полярного и Приполярного Урала занимались Удоратина О.В. (1990-1992 г.г.), Червяковский С.Г. (1977- 1990), Душин В.А (1980- 2017), Волчек Е.Н. (1996), Притчин М.Е. (1998).

В 1997 году Душиным В.А опубликована книга «Магматизм и геодинамика палеоконтинентального сектора севера Урала». В работе обобщены результаты петрологического изучения магматических формаций, показаны эволюция и латеральная зональность магматизма в связи с зарождением и развитием Палеоазиатского и Уральского палеоокеанов. Рассмотрены геодинамика и металлогения эффузивного магматизма [Душин В.А., 1997].

В 2004 году Волчек Е.Н. опубликовала книгу «Геодинамические обстановки кислого вулканизма западного сектора севера Урала». В работе на основе геологических и геохронологических данных обосновывается этапность проявлений кислого вулканизма западного склона Приполярного и Полярного Урала, приуроченность его к трем возрастным уровням – верхнепротерозойском, ранне- и среднепалеозойскому. Выявлены особенности химизма разновозрастных кислых вулканитов и сопоставимость их с аналогичными образованиями современных и типоморфных геодинамических обстановок, позволяющие сделать вывод о формировании кислого магматизма [Волчек Е.Н., 2004].

Изучением металлогении Ляпинской структуры, в состав которой входит Маньхамбовский блок, в разные годы занимались А.Н. Алешков (1937), Н.А. Сирин (1941), М.Б. Фишман, Б.А. Голдин, Е.П. Калинин, С.С. Щербин (1963- 1970), В.Н. Малашевский (1970), В.С. Митюшева (1971), Г.И. Севастьянов (1974). Этими же вопросами при геологосъемочных и тематических работах занимались Л.Т. Белякова (1968-1979), В.А. Душин (1984-1987, 2006 – 2016), А.В. Калиновский (1989 – 1990) [Душин В.А. и др., 2017].

В результате проведения геолого-съемочных и тематических работ были стратифицированы и изучены верхнепротерозойские, палеозойские, мезозойские и кайнозойские отложения, различные магматические комплексы, изучены вопросы по тектонике, геоморфологии, гидрогеологии и полезным ископаемым Приполярного и Полярного Урала, в том числе Маньхамбовского блока.

Если вопросы геологии, петрографии, петрохимии, геодинамической обстановки и связей оруденения верхнепротерозойского и палеозойского магматизма Приполярного Урала (Маньхамбовского блока) в той или иной степени решены, то вопросы позднепалеозойско-раннемезозойской магматической деятельности и связанных с ней различных типов оруденения остаются открытыми. На современных геологических картах Приполярной части Урала (Маньхамбовский блок) позднепалеозойско-раннемезозойский

этап магматизма носит весьма скупой и «нераскрытый» характер, что вероятнее всего связано с недооценённой ролью ТМА.

## **1.2 Основные черты геологического строения Маньхамбовского блока**

Маньхамбовский блок представляет из себя аккретированный конструктивно-деструктивный комплекс доуралид, входящего в состав Ляпинского мегаблока, расположенного в Полярной, Приполярной и Северной части Урала. Сам Маньхамбовский блок охватывает территорию Северного и Приполярного Урала от истоков Печоры на юге до бассейна р. Маньи на севере и протягивается в меридиональном направлении почти на 300 км и административно принадлежит Ханты-Мансийскому автономному округу-Югре, Тюменской области и отчасти Республике Коми [Душин В.А и др., 2017].

В строении территории участвуют структурно-вещественные комплексы четырёх структурных этажей: дорифейского, рифейско-кембрийского, палеозойского и мезозойско-кайнозойской возраста, отвечающие соответственно карельской, кадомской, каледоно-варииской и альпийской эпохам складчатости [Пучков В.Н., Иванов К.С., 1987]. Они имеют различные структурные планы с элементами унаследованности, разделены угловыми и азимутальными несогласиями, нередко с крупными перерывами в осадконакоплении, а местами с сохранившейся корой [Душин В.А., 1997]. Отложения и образования Маньхамбовского блока представлены широким спектром осадочных, магматических и метаморфических формации (рисунок 1.1).

Самые древние отложения, слагающие фундамент региона, представлены глубокометаморфизованными породами эклогитовой и амфиболитовой фаций, развитых в ядерных частях Маньхамбовского блока и имеющие весьма ограниченное распространение. Для них свойственен структурный план субширотной ориентировки, несогласный к выше лежащим образованиям, фиксируемый в геофизических полях и отраженный в соответствующем простираемом дорифейских отложений. Реставрация первичной природы метаморфитов позволила выявить в составе дорифейских комплексов метаалевро-глинисто-песчаную, metabазальтовую и, возможно, мигматит-гранитовую формации. Это реликты разнообразных мигматитов, плагиогнейсов, плагиогнейсо-гранитов, изредка (<1%) фиксируемых в дорифейском разрезе и имеющих, по-видимому, отношение к дорифейским меткам в гранитоидах Маньхамбовского массива, в которых Л. В. Суминым (ВИМС) определены цирконы с возрастом 2,5—3 млрд лет. Кроме того, из северного эндоконтакта данного массива получены отдельные конкордантные значения возраста  $2725 \pm 8,4$  Ма в долеритах [Душин В.А., 1997, Ronkin Y. L et al., 1997, Государственная геологическая...2017,2018].

Металлогения этой эпохи в настоящее время изучена еще слабо и характеризуется проявлением метаморфогенного оруденения, главным образом, неметаллических полезных ископаемых (графит, мусковит, кианит, андалузит), а также железа, титана и, возможно, марганца [Душин В.А., Трутнев А.К. и др, 2021].

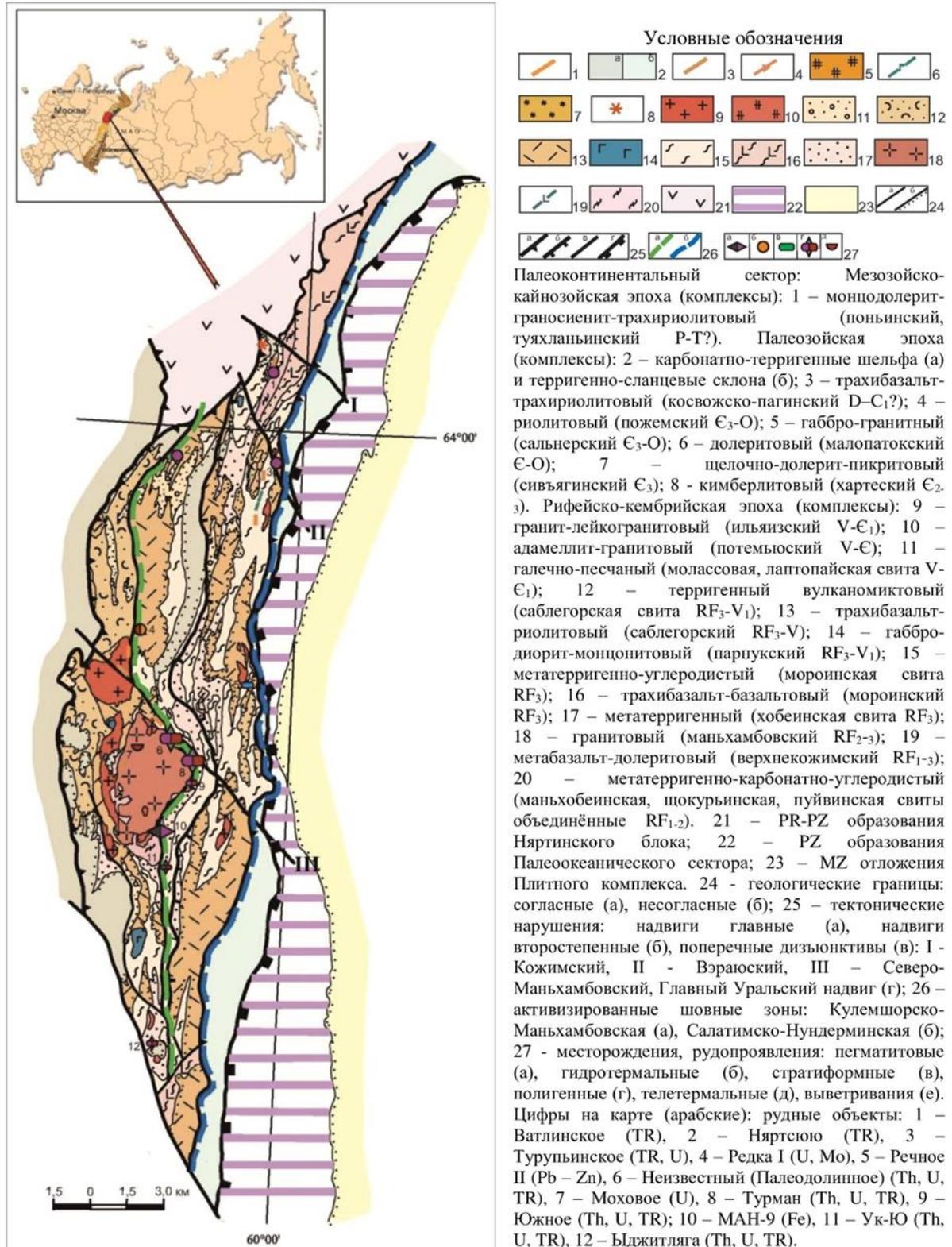


Рисунок 1.1 Структурно-формационная карта Маньхамбовского блока с элементами металлогении (Составил Душин В.А.) [Душин В.А., Трутнев А.К. и др., 2021]

Рифейско-кембрийский структурный этаж представлен весьма широким спектром пород и существенно различается объемом и соотношением осадочных и магматических пород. Они, как правило, метаморфизованы в условиях зеленосланцевой (эпидот-хлоритовая, биотит-актинолитовая) и частично амфиболитовой фации. Исследуемые образования имеют самостоятельный структурный план северо-западной ориентировки, дискорданты к вышележащим палеозойским отложениям. От нижележащих раннепротерозойских образований их отделяет крупный перерыв в осадконакоплении, фиксируемый многоэтапными дислокациями как рифея, так и фанерозоя. Осадочные образования рифейско-кембрийского эпохи объединяются в метатеригенно-карбонатно-углеродистую, метатеригенную, метатеригенно-углеродистую, теригенно-вулканомиктовую и галечно-песчаную (молассовую) формации (рисунок 1.1).

Нижний субплатформенный ярус ( $RF_{1-2}$ ) выполнен отложениями метатеригенно-карбонатно-углеродистой формацией, которая представлена породами *маньхобейнской*, *щокурьинской* и *пуйвинской свит*.

*Маньхобейнская* и *щокурьинская свиты* ( $RF_{1-2}$ ) картируются в центральной части Маньхамбовского блока (в южном, юго-восточном (Парьяурская антиклиналь) и фрагментами юго-западном обрамлении массива Маньхамбо, где слагают Тондерскую антиклиналь. Интрузивный характер подчеркивается изрезанностью границ последнего и литолого-фациальной приконтактной неоднородностью метаморфитов, а также установленным ороговикованием метаосадков в истоках руч. Прав. Укью, р. Няйс и их притоков. Граница между маньхобейнской и щокурьинской свитами является условной, так как не установлена из-за плохой обнаженности и залесенности территории, а также фациальной изменчивости самих свит. На южной части Маньхамбовского блока контакт маньхобейнской и щокурьинской свит с несогласно перекрывающей хобейнской свитой резкий.

Отложения представлены слюдистыми кварцитами с гранатом, сланцами и кристаллосланцами слюдисто-альбит-кварцевыми гранатсодержащими сланцами, в том числе двуслюдяными, альбитовыми гнейсами, а в верхах разреза присутствуют прослойки сланцев карбонатно-слюдисто-кварц-альбитовых, амфибол-альбитовых, хлорит-альбит-амфиболовых, иногда встречаются прослойки железистых кварцитов, линзы гравелитов и конгломератов, в том числе карбонат содержащих [Пыстин А.М, Пыстина Ю.И, 2013]. Суммарная мощность отложения достигает 1610 м. Металлогения образований обусловлена локализацией в верхах разреза проявлений (месторождений?) железистых кварцитов (МАН-9), кроме того отложения вмещают оруденение редкоземельно-

редкометалльной апогранитовой, золотосульфидно-кварцевой, хрусталеносной кварцево-жильной формаций [Файнштейн Г. Г., 2009, Государственная геологическая...2017].

Отложения *пуйвинской свиты* ( $RF_2$ ) в пределах Маньхамбоского блока имеют резко ограниченное развитие и установлены в истоках р. Волья, р. Волоковка. Кроме того, зафиксированы в пределах тектонических клиньев в северном и северо-восточном обрамлении массива Маньхамбо, а также в среднем течении р. Талтма. В стратотипических разрезах представлена, главным образом, серебристыми, зеленовато-серыми филлитовидными и тонкополосчатыми парасланцами (биотит)-хлорит-мусковит-альбит-кварцевыми, хлорит-серицит-кварцевыми, в том числе графит- и гранатсодержащими и известковистыми, нередко с линзами слюдяных мраморов (3-5 м) и прослоями аповулканогенных зеленых сланцев альбит-эпидот-хлорит-актинолитового, эпидот-альбит-роговообманкового состава [Дашкевич Г.И. и др., 1999, Пыстин А.М. и др., 2023]. В ее основании выделяется пачка слюдяных полевошпатовых кварцитов с прослоями кварц-слюдяных сланцев, гравелитов и конгломератов. Мощность отложений – 600-1100 м [Жданов А.В., 2009].

Метатеригенно-карбонатно-углеродистая формация сопровождается трапповым вулканизмом метабазагльт-долеритовой формации и параавтохтонно-аллохтонным гранитоидным магматизмом.

Метабазагльт-долеритовая формация объединяет эффузивные и интрузивные породы основного состава *верхнекожимского комплекса* ( $RF_2$ ). Образования известны среди отложений ранне-позднерифейского возраста. Магматизм контролируется системой крупных северо-западных дизъюнктивов, ограничивающих поперечные поднятия, в пределах которых сосредоточено подавляющее число палеоаппаратов трещинного типа.

Образования *верхнекожимского комплекса* ( $RF_2$ ) по фациальному составу пород соответствует эффузивно-пирокластической и субвулканической фаций. Суммарная мощность отложений порядка 1000 м. Породы комплекса развиты в пределах Кожимско-Тимаизской зоны, обнажаясь в пределах западного и отчасти восточного крыла Ляпинского (Кожимское поднятие) антиклинория и в восточном обрамлении Маньхамбовской (Тимаизское поднятие) антиклинали. Наиболее представительные разрезы известны в среднем и верхнем течении р. Николай-Шор, верховьях Большого Патока – Вэраю, в бассейнах реки Щокурью, Маньи, истоках Щугора. Эффузивная фация представлена маломощными (1-30 м), выдержанными по простираанию (1 – 1,5 км) потоками и покровами базальтов и андезибазальтов [Пыстин А.М., Пыстина Ю.И., 2011].

Субвулканические образования представлены комагматичными интрузиями долеритов и габбродолеритов, слагающих sill и линзообразные тела. Наиболее крупный

массив (4 км<sup>2</sup>) закартирован в верховьях р. Кузь-Пуаю, представленный среднезернистым габбродолеритом. Силлы, как правило, по мощности не превышают 20-25 м и широко представлены в отложениях хобеинской свиты, где их отличают от покровных фаций массивное сложение, столбчатая отдельность и наличие реликтов закаленных контактов [Душин В.А., 1997].

Продукты гранитной формации средне-позднерефиевского периода объединены в *маньхамбовский комплекс (RF<sub>2-3</sub>)*. На территории Маньхамбовского блока комплекс ярко представлен Маньхамбовским массивом, слагающим центральную часть исследуемого блока. Наиболее крупный, изометричный в плане, Маньхамбовский массив имеет размеры 39×22 км. Внутреннее строение его вскрывается в разрезах по р. Пырсью, истоках р. Няйс, в том числе р. Прав. Маньяйс, р. Хосая, р. Прав. Укью, р. Турья и др., включая основные вершины (выс. 839,2 м; 793,8 м; г. Парьяур (861,2 м); г. Хомсенсори (793,8 м); г. Турманнер (723,5 м).

Комплекс включает преимущественно крупно-среднезернистые, в том числе порфиридные и мелкозернистые микроклин-пертитовые, биотитовые, двуслюдяные граниты и гранитогнейсы. Характерной особенностью, кроме порфиридности, близкой к гранитам-рапакиви, является наличие в них довольно крупных зерен голубого кварца. Граниты локализируются в зоне пересечения древних глубинных разломов субмеридионального и северо-западного направлений. В строении комплекса отчетливо выделяются две фазы внедрения [Водолазская и др., 1999].

Торий-ураново-редкоземельно-благороднометалльная металлогеническая специализация комплекса определяется во многом его геохимической специализацией на Y, P3Э, Sn, Nb, Bi, Pt, Pd Au, Ag, Th. В настоящее время гранитоиды данного комплекса можно рассматривать в качестве рудоносной формации на уран-ториево-редкоземельно-благороднометалльное оруденение, на что указывает не только присутствие комплексных рудопроявления (Турман, Неизвестное, Щербинское) по его обрамлению, но и наличие в пределах массива уранового оруденения поверхностного типа [Душин В.А., Чурсин А.В., 2000, Душин В.А., Фауст А.В., 2008, Геологическая карта...2017, 2018].

Средний ярус (RF<sub>3</sub>-V<sub>1</sub>) представлен субконтинентальными осадками метатеригенной (хобеинская свита RF<sub>3</sub>), метатеригенно-углеродистой (мороинская свита RF<sub>3</sub>) и теригенно-вулканомиктовой (саблегорская свита RF<sub>3</sub>-V<sub>1</sub>) формациями, вулканитами трахибазальт-базальтовой (мороинский комплекс RF<sub>3</sub>), трахибазальт-риолитовой (саблегорский комплекс RF<sub>3</sub>-V) и интрузиями габбро-диорит-монцонитовой (парнукский комплекс RF<sub>3</sub>-V<sub>1</sub>) формациями.

Метатерригенную формацию слагают отложения *хобеинской свиты* ( $RF_3$ ), которые прослеживаются меридиональными полосами шириной от 2,5 до 16 км, от верховьев р. Волоковка и р. Бол. Турупья до р. Яныманья, а также обрамляют с востока и севера гранитный массив Маньхамбо. Хобеинские отложения несогласно залегают на сланцах пуйвинской свиты. Верхняя граница согласная и проводится по смене верхней пачки кварцитов сланцами мороинской свиты.

Состав свиты: кварциты, песчаники кварцевые, реже аркозовые, участками известковистые, мраморизованные известняки, сланцы полосчатые серицит-хлорит-кварцевые («полосатики»), прослои и линзы конгломератов и гравелитов.

По составу отложения свиты можно условно подразделить на две пачки: нижнюю грубообломочную (200-350 м) и верхнюю сланцево-терригенную (300-350 м). В основании, как было отмечено выше, залегают конгломераты, конгломератобрекчии, переслаивающиеся с гравелитами и кварцитами. Литологический состав конгломератов преимущественно мономиктовый – кварцевый и изредка полимиктовый (с галькой гранитов, кварцитов, кварца). Размер галек варьирует от 3-4 см (для мономиктовых разновидностей) и до 10-12 см (для полимиктовых конгломератов). Мощность отложений 500-1000 м [Водолазская В.П., 2009, Жданов А.В., 2009].

В тектонизированной конгломерато-песчаниковой пачке основания хобеинской свиты позднего рифея в восточном экзоконтакте Маньхамбовского массива расположена группа комплексных полигенно-полихронных уран-торий-редкометалльных, изначально палеороссыпных объектов (Неизвестный, Северный, Турман, Укью и др.) принадлежащих, по-видимому, к типу «несогласия» [Щербин С.С., 1967, Верховцев В. А., Душин В. А., 2000, 2010].

Метатерригенно-углеродистая формация на территории Маньхамбовского блока представлена породами *мороинской свиты* ( $RF_3$ ), развитых в пределах Хобеизско-Маньхамбовской подзоны Ляпинской СФЗ. Они распространены в северном обрамлении Маньхамбовского антиклинория, где в виде меридиональной полосы прослеживаются от северной до южной границы листа, слагая, как правило, крылья крупных синклиналей и антиклиналей таких как, Хальмеринская синклиналь, Подчеремская, Ойканьерская, Верхневольинская антиклинали, а также ядерную часть Тильтимьинской антиклинали.

Свита представлена преимущественно сланцами филлитовидными, алевроитовыми и аповулканогенными, в основном, серицит-хлорит-альбит-кварцевыми; в нижней части зеленовато-серыми с линзами слюдистых мраморизованных и доломитизированных известняков (левобережье р. Щугор, р. Толья), а в верхней – тёмно-серыми. Отмечаются

маломощные прослои кварцитов и кварцитопесчаников, углеродисто-кремнистых сланцев. Мощность отложений 1000-1500 м [Душин В.А., 1997].

Трахибазальт-базальтовая формация выполнена образованиями *мороинского комплекса* ( $RF_3$ ), которые закартированы в районе среднего течения р. Яныманьи, представленные базальтами и их туфами. Мощность пластов эффузивов достигает порядка 60-70 м. Базальты темно-серого цвета с крупными порфировыми вкрапленниками темного плагиоклаза, размером 3-4 мм. Характерно, что вулканиты и их туфы насыщены мелкой вкрапленностью пирита.

Интрузивный и эффузивный магматизм и осадконакопление укского ( $RF_3-V_1$ ) времени представлены образованиями габбро-диорит-монцонитовой формацией, продуктами субвулканической фации трахибазальт-риолитовой формации и терригенно-вулканомиктовой формации.

Габбро-диорит-монцонитовая формация сложена породами *Парнукского комплекса* ( $RF_3-V_1$ ) и представлена роговообманковыми габбро, кварцевыми диоритами, реже монцонитами нормально- и умереннощелочного ряда известково-щелочной серией с незначительным преобладанием калия над натрием. В пределах Маньхамбовского блока в районе верховьев реки Неримью закартирован относительно крупный Сотчемьелский массив (4×7 км) габбро. Сам массив слагают разнозернистые массивные амфиболитизированные габброиды. Краевая часть его представлена мелкозернистыми серыми габбро, а центральная – серовато-зелеными до темно-зеленых разнозернистыми габбро. Все разновидности имеют между собой постепенные переходы. В районе северо-восточного обрамления массива Маньхамбо зафиксирована серия мелких тел, включая дайки диоритов, темно-зеленых амфиболитизированных габбро. Рудоносность комплекса обусловлена связью с ним незначительных проявлений вкрапленных титаномагнетитовых руд.

Трахибазальт-риолитовая формация представлена породами *саблегорского комплекса* ( $RF_3-V_1$ ), который объединяет в себя малые тела и дайки базальтов и риолитов субмеридиональной ориентировки развитых на территории всего Маньхамбовского блока. Выходы пород контролируются крупными разломами субмеридионального (Верхнеталминский, Парьяурский, Присалатимский, Ятыинско-Ойканьерский) направления, а также широко представлены в виде радиальных и кольцевых даек в строении палеовулканических структур Западновольтинская, Подчеремско-Тельпоская, Яныманьинская, Ата-лясяхальская и Турьяская центрального типа. Выделяется две фазы: первая представлена базальтами; вторая - риолитами и умереннощелочными риодацитами.

Субвулканические образования основного состава представлены дайками протяжённостью первые сотни метров, ориентированными согласно с простиранием вмещающих пород. Базальты обладают светло-зелеными и зелеными цветами с розоватыми оттенками в зальбандах массивной текстуры. Структура от афировой до порфировой; микроструктура преимущественно бластофировая.

Магматические тела кислого состава развиты значительно шире и представлены риолитами и умереннощелочными риодацитами с порфировой и афировой структурами. Риолиты с порфировой структурой являются наиболее распространённой петрографической разновидностью. Они образуют достаточно крупные тела как изометричной, так и линейновытянутой формы, размером до нескольких километров в поперечнике. Отчетливо фиксируются закаленные контакты интрузий и даек.

Рудоносность комплекса обусловлена связью с ним аномалий золота, проявлений меди, полиметаллов (Речное и др.), редких металлов и урана (Редка 1, 2) [Государственная геологическая...2017, 2018, Трутнев А.К., 2022].

Терригенно-вулканомиктовая формация состоит из пород *саблегорской свиты* ( $RF_3-V_1$ ). Образования свиты картируются полосами меридионального направления в западной и центральной частях Маньхамбовского блока, слагая, как правило, либо ядерные части, либо крылья Подчеремской, Педынской, Ойканьерской, Тильтимьинской антиклиналей, Поньизско-Ыджителььскую, Хальтумпскую грабен-синклинали, Яныманьинскую и Матумпскую синклинали. Это бассейны рек Подчерем, Тельпос, Тепльпосью, Хомес, Туяхланья; хребты Састем-Ньер и Хоса-Ньер.

Свита представлена лавами базальтов, андезибазальтов с прослоями филлитовидных парасланцев и линзами конгломератов, туфоконгломератов; вверху разреза преобладают кластолавы кислого состава и их туфы, туффиты с подчиненными прослоями эпидот-хлорит-кварц-серицитовых, плагиоклаз-серицит-кварцевых и биотит-кварц-альбит-хлоритовых сланцев. В районе горы Редка, рек Талтма и Хомес закартированы своеобразные жерловые фации риолитов. Мощность отложений составляет от 500 до 2000 м [Государственная геологическая...2017,2018].

Рудоносность свиты обусловлена локализацией в ней пунктов минерализации медно-кварц-сульфидной, баритовой жильной, урановой березитовой формаций (Редка I, II) и золото-сульфидно-кварцевой, свинцово-цинковой березитовой формациями.

После перерыва на размытой поверхности рифейских толщ шло накопление венд-кембрийских осадочных и магматических образований верхнего структурного яруса в пределах Маньхамбовского блока, объединённых в галечно-песчанную (молассовую), адамеллит-гранитовую и гранит-лейкогранитовую формации. С завершением этого этапа

была сформирована платформа, проявившиеся местами с образованием коры выветривания.

Галечно-песчаная (молассовая) формация, характеризующаяся образованиями *лаптопайской свиты V-Є1*, широко распространена в центральной части Маньхембовского блока. Отложения слагают линейновытянутые грабенообразные структуры и небольшие мульды в пределах Хальмеринской, Талтминско-Вольинской синклиналей, Подчеремской, Педынской антиклиналей (бассейны и верховья рек Хальмерья, Мороя, Тельпосью, Талтма, междуречье верховьев р. Хомес - Хунтынья и др.), а также развиты в пределах Поньизско-Ыджительской грабен-синклинали. Нижняя граница несогласная и проводится по подошве конгломератов лаптопайской свиты, верхняя также несогласная и проводится с угловым и стратиграфическим несогласием по основанию базальных конгломератов тельпосской свиты нижнего ордовика.

Внутреннее строение формации представлено полимиктовыми конгломератами, гравелитами, песчаниками и алевросланцами. Отложения лаптопайской свиты относятся к молассовой красноцветной формации. Мощность свиты 600-1000 м. Рудоносность характеризуется связью проявлений, пунктов минерализации и аномалий урана, тория и редких земель [Государственная геологическая...2017,2018, Трутнев А.К., 2018].

Адамелит-гранитовая формация представлена породами *потемьюского комплекса (V-Є)*, которые закартированы в истоках рек Щугор, Падъель, Прав. Укью. Образования представлены небольшими интрузивными телами и дайками гранитоидов, гранитов, адамеллитов, гранодиоритов. Граниты - породы светло-бежевого и светло-розового цвета, средне- и крупнозернистые, массивной текстуры. Кварца до 35 %, плагиоклаза – 40 %, КПШ – 20-30 %. Микроструктура гранитная (панидиоморфнозернистая). Цвет гранитоидов от серого, розовато-серого до розового, текстура массивная, пятнистая, катакластическая; структура неравномернозернистая, гранитная; микроструктура гипидиоморфнозернистая. Адамеллиты - породы белого, светло-серого и светло-серо-зеленоватого цвета, мелко-среднезернистой структуры, с текстурой – от массивной до сланцеватой. Микроструктура преимущественно гипидиоморфнозернистая. Минеральный состав: кварц (15-22 %) - в виде мелких изометричных зерен, слагающих либо основную массу породы, либо образующих прожилковидные и линзовидные скопления мощностью до 1,4 мм; плагиоклаз (№22-олигоклаз) (до 45 %) - преимущественно длиннотаблитчатые зерна с полисинтетическими двойниками; КПШ (16 %) - большей частью пелитизирован; роговая обманка (10-15 %) представлена в виде вытянутых таблитчатых и шестоватых зерен с резким положительным рельефом и плеохроизмом: по  $N_p$  - светло-коричневым, по  $N_g$  - густо-коричнево-зеленым с синеватым оттенком [Махлаев Л.В., 1996, Удоратина О.В., 2006].

Гранит-лейкогранитовая (*ильязский комплекс V- E<sub>1</sub>*) формация наблюдается в западно-центральной части Маньхамбовского блока и представлена относительно крупными изометричными в плане Ильязским, Кожимюским, Ельвожским массивами. Первый из них имеет размеры 4,5×5 км, второй – 3×11 км, а третий – 3,5×7 км. В региональном плане массивы располагаются в области сопряжения северо-западного Нйско-Щугорского и субмеридионального Североманьхамбовского разломов и ограничены с запада Осевым региональным нарушением [Удуратина О.В. и др., 2024].

Граниты – светло-серые, розовато-серые и розовые породы, массивной и гнейсовой текстуры. Структуры обычно полнокристаллические, равномернозернистые от мелкозернистых до среднезернистых; микроструктуры – гранитная, пойкилитовая. Отмечаются мирмекиты. Минеральный состав: кварц – 30–40 %, плагиоклаз (№ 19–22 олигоклаз) – 25–30 %, микроклин – 15–25 %, мусковит – до 10 %, иногда биотит – до 3 %, (особенно вблизи ксенолитов). Из эпигенетических минералов встречается эпидот, хлорит, карбонат [Государственная геологическая...2017,2018]

Лейкограниты - породы от среднезернистых до крупнозернистых, светло-бежевого цвета, массивной текстуры. Минеральный состав: ортоклаз – 20 %, кварц – 35 %, плагиоклаз (альбит-олигоклаз) – 40 % и, редко, мусковит (до 5 %). Микроструктура гранитная (панидиоморфнозернистая). Зерна кварца достаточно крупные (0,3-0,7 мм) с четкими слабо зазубренными ограничениями. Плагиоклаз (№ 9-24 альбит, олигоклаз) - таблитчатые зерна (0,2-0,6 мм) с редкими полисинтетическими двойниками в средней степени пелитизированные. Диагностируются ортоклаз и микроклин-пертит (40 %) с изометричной и незначительно вытянутой формой зерен со шнуровидными пертитовыми вростками. Мусковит (5 %) образует небольшие линзовидные сростки чешуйчатого облика [Государственная геологическая...2017,2018].

Кислый интрузивный магматизм венд-кембрийского этапа характеризуется торий-ураново-редкоземельно-благороднометалльной металлогенической специализации, что определяется во многом его геохимической специализацией на Y, PЗЭ, Sn, Nb, Bi, Pt, Pd Au, Ag, Th, а также генетической связью с ним радиоактивно-редкоземельно-благороднометалльного типа оруденения (Турман, Неизвестное, Щербинское и др.) [Фауст А.В. и др., 2010].

По мнению некоторых исследователей осадконакопление и магматизм рифей-вендского периода носили черты субплатформенного авлакоген-рифтогенного (RF<sub>1–3</sub>) и коллизионного (RF<sub>3</sub>-E<sub>1</sub>) типов [Щербин С.С., 1968, Душин В.А., 2017].

Верхнекембрийско-верхнепалеозойские отложения Маньхамбовского блока формировались на гетерогенном складчатом основании рифея, что определило

значительную неоднородность условий их образования. Последние претерпели зеленосланцевый и дислокационный метаморфизм. В их структурном плане преобладают субмеридиональные и северо-восточные структурные направления, осложненные надвиговыми дислокациями. Палеозойские отложения сосредоточены в пределах крупных грабен-синклиналиев, а также в наложенных вулкано-тектонических структурах на крылья горст-антиклиналий [Душин В.А., 1997].

Изучение геолого-структурных и фациально-формационных обстановок осадконакопления и магматизма показало, что формирование отложений Маньхамбовского блока протекало в условиях рифтового, пассивной континентальной окраины и орогенного режима, участвующих в строении нижнего ( $C_{2-3}-O$ ) и верхнего ( $D-C_1$ ) структурных ярусов.

Основание нижнего структурного яруса ( $C_{2-3}-O$ ) сложено прибрежно-континентальными молассоидными отложениями песчано-галечной формации в ассоциации с интрузивным магматизмом кимберлитовой, щелочно-долерит-пикритовой, долеритовой, габбро-гранитной и риолитовой формациями.

Кимберлитовая формация представлена телами кимберлитов и лампроитов *хартесского комплекса* ( $C_{2-3}$ ), которые закартированы в северо-западной части Маньхамбовского блока. На границе между образованиями рифея и палеозоя развита дугообразная зона разрывных нарушений шириной от 500 до 1500 м, четко выделяющаяся в физических полях и совпадающая с ограничением весьма крупной кольцевой структуры на восточном краю Русской платформы, на пересечении с уральскими структурами. В этой зоне и размещены линзовидные тела кимберлитов, наиболее крупное из которых, судя по геофизическим данным, имеет размер  $0,5 \times 2$  км [Водолазская В.П. и др., 2013].

Кимберлиты характеризуются порфировой структурой и представляют собой мелкозернистую основную массу серпентин-карбонат-амфиболового состава с порфировыми выделениями – округлыми кристаллами измененного оливина I генерации, идиоморфными вкрапленниками оливина II генерации, микровкрапленниками рудных минералов. Собственный (магматический) клинопироксен в них отсутствует, что отличает эти породы от пикритов и меймечитов. Автолитовые разновидности кимберлитов распространены фрагментарно, мантийные ксенолиты редки и представлены дунитами, перидотитами и эклогитами. Кимберлиты в различной степени преобразованы в хлорит и тальк-амфиболовые сланцы, исходная природа которых устанавливается по реликтам порфировых структур и высоким содержаниям MgO, Cr, Ni, Co. Среди пород комплекса выявлены эруптивные брекчии, которые, к сожалению, недостаточно изучены.

Крупнообъемное опробование эруптивных брекчиевых пород, выявленных в хартесском комплексе, не проводилось, тем не менее можно говорить об определенных

перспективах алмазоносности комплекса. Основанием для этого является наличие высокобарических минералов-спутников алмаза и мантийных включений – пород дунит-гарцбургитовой ассоциации; наличие минералов-сростков эклогитовой ассоциации (пироп–альмандин–омфацит), не отличающихся по составу от минералов алмазоносных эклогитов, кимберлиты хартесского комплекса отнесены к продуктивной на алмазы кимберлит-лампроитовой ассоциации, что подтверждается находками алмазов в аллювиальных отложениях р. Щугор [Водолазская В.П. и др., 2013].

Щелочно-долерит-пикритовая формация представлена породами *сивьягинского комплекса Сз*. Данные образования встречены по рекам Талтма и Яныманья, где они фиксируется в виде дайкообразных тел долеритов, пикродолеритов, пикритов и пироксенитов, трассирующих субмеридиональные разрывные нарушения в системе Ятыинско-Ойканьерской зоны разломов. Видимая протяженность тел колеблется от нескольких десятков метров до сотен метров при мощностях 9–15 м. Контакты тел с вмещающими породами перекрыты наносами, однако вблизи коренных выходов и элювиальных развалов установлены зоны ороговикования, а эндоконтактные части тел более мелкозернистые, чем центральные.

Пикриты, пикродолериты и долериты – породы средне- и крупнозернистые, иногда порфиридные, темно-серо-зеленые, почти черные, по большей части рассланцованные. Микроструктура пан- и гипидиоморфнозернистая. Порода состоит из достаточно крупных (до 0,5 мм) выделений, представленных моноклинным пироксеном (до 45 %), как и основная масса с четкой системой спайности таблитчатых агрегатов по двум направлениям под углом 89°. Плагиоклаз отмечается двух генераций – лабрадор (5–10 %) с углом угасания 50° и сосюритизированные зерна битовнита (10 %). Роговая обманка (до 25 %) – преимущественно идиоморфные призматические зерна с четкой системой спайности по двум направлениям под углом 120°. Плеохроизм: по Ng темно-зеленовато-бурого цвета, по Nr серо-желто-коричневый. Интерстиции между зернами пироксенов выполнены сосюритом и хлоритом, количество которых достигает 30 %. Минералогическим анализом установлены акцессории: магнетит, пирротин, халькопирит, хромшпинелид, пирит, ильменит, лейкоксен, муассанит, рутил, сфалерит, сфен, галенит, апатит [Душин В.А., 2018].

Рудоносность среднего-позднего кембрия связана с внедрением проблематичных кимберлитов лампрофиров и пикритов продуктивных на проявление алмазов и отчасти, возможно, платиноидов в ассоциации с полями даек долерит-пикритов. Так на левом берегу р. Сертынья (за границей Маньхамбовского блока) выявлено несколько тел туфобрекчий лампрофиров. В одном из шурфов, в шлихах, гинисто-обломочных измененных

туфобрекчий установлены мелкие алмазы, муассонит, магнитные шарики [Лукьянова Л. И., Бельский А. В., 1987].

Долеритовая формация включает в себя небольшие тела долеритов *малопатокского комплекса* (Є<sub>3</sub>-О), широко развитых в районе р. Малый Паток. Также подобные интрузивные образования прослеживаются довольно значительными “полосами” в Педынской антиклинали и Подчеремской, Талтминско-Вольинской синклиналиях, кроме того малые тела долеритов закартированы в Яныманьинско-Турупинском пакете пластин в северной части Маньхамбовского антиклинория. Они трассируют Кулемшорско-Маньхамбовскую и Нундерминско-Салатимскую зоны, располагаясь в области влияния конкретных субмеридиональных региональных нарушений – Парьяурского, Ятыинско-Ойканьерского. Это, как правило, резко линейновытянутые малые тела и дайки, размером от 0,5 до 6 км по простиранию при мощности от первых метров до сотен метров.

Долериты - лейкократовые породы светло-зеленого цвета, мелкозернистого сложения, массивные. Микроструктура пойкилобластовая. Плаггиоклаз составляет 35-40%, наблюдаются полисинтетические двойники (№25-олигоклаз, андезин). До 10% плаггиоклазов интенсивно сосюртитизированы. Роговая обманка (до 15%) - удлиненные зерна с ясной шагренево-поверхностью, цвет плеохроизма по Ng – темно-зеленовато-бурый, по Np - желто-коричневый. Акцессорные минералы: магнетит, ильменит, апатит, циркон. Рудоносность формации не выразительна, предполагается, что с ней могут быть связаны при наличии соответствующих обстановок мелкие проявления серноколчеданного типа [Душин В.А., 2018].

Габбро-гранитная формация представлена малыми телами *сальнерского комплекса* (Є<sub>3</sub>-О) в области сопряжения северо-западного Няйско-Щугорского и субмеридионального Североманьхамбовского разломов и ограничен с запада Осевым региональным нарушением. Описываемая формация представлена малыми телами и дайками габбро и гранитов размером от 0,4-0,6 до 1,2-1,5 км по простиранию при мощности десятки метров.

Габбро – меланократовые породы темно-зеленого цвета, мелкозернистого сложения, массивные. Микроструктура габбровая. Плаггиоклаз составляет 15-20%, зерна сильно деформированы, полисинтетические двойники реликтовые. Моноклинный пироксен (до 40-50%) представлен удлиненными таблитчатыми агрегатами светло-коричневого цвета со слабо проявленной системой спайности по двум направлениям под углом 89°. Роговая обманка (до 15%) - удлиненные зерна с ясной шагренево-поверхностью, цвет плеохроизма по Ng – темно-зеленовато-бурый, по Np - желто-коричневый. Акцессорные минералы: магнетит; вторичные - кварц (до 5%), встречающийся в виде отдельных мономинеральных скоплений.

Граниты – породы светло-бежевого и светло-розового цветов, средне- и крупнозернистые, массивной текстуры. Состав: кварц – до 35 %, плагиоклаз – 40 %, КПШ – 20–30 %. Микроструктура панидиоморфнозернистая. Минеральный состав: кварц (в шлифах 30 – 40 %) представлен крупными (до 2,5 мм) вытянутыми зернами с слегка зазубренными краями, по периферии сосредоточены более мелкие (0,02 мм) зерна, образующие окаймляющие скопления. Плагиоклаз (15–40 %) (№ 23 олигоклаз) в виде коротко- и длиннотаблитчатых зерен (0,2–1,0 мм), интенсивно пелитизированных, с полисинтетическими двойниками. Ограничения рваные и часто прослеживаются по краям оторочки альбита. В центральных частях отмечаются серицитовые и эпидотовые вростки. Микроклин (15–40 %) слагает довольно крупные (до 3,0 мм) вытянутые зерна с пертитовыми вростками альбитового состава [Демина Л.А., Роговский Е.О., 2021]. Биотит (до 15 %) – чешуйчатый минерал размером до 0,5 мм, распространен в породах как разноориентированный, повсеместно распределенный, редко образует самостоятельные мономинеральные линзовидные скопления. Плеохроизм от бледно-желтого до темно-коричневого цвета. Вторичные минералы, диагностируемые не во всех шлифах, следующие: серицит (до 23 %) мелкочешуйчатый (0,01–0,05 мм) сосредоточен в зернах плагиоклаза; эпидот (до 15 %) встречается отдельными зернами преимущественно округлой формы (размер 0,04–0,1 мм). Акцессорные минералы представлены единичными зернами циркона, апатита, сфена, галенита, ильменита, лейкоксена, монацита, муассанита, алланит, пирита [Демина Л.А., 2022].

Рудоносность формации в основном редкометалльная и обусловлена связью с гранитами пунктов минерализации и геохимических аномалий тория, урана, молибдена, бериллия и олова [Водолазская В.П. и др., 1999, Государственная геологическая...2018, Демина Л.А., 2022].

Риолитовая формация верхнего кембрия и ордовика распространена весьма ограничено и представлена кислыми вулканитами *пожемского комплекса (Є<sub>3</sub>-О)*. Комплекс объединяет в себя небольшие гипабиссальные тела риолитов, трахириолитов, картируемые в полях развития древних (докембрийских) толщ и имеющие с последними интрузивные контакты в пределах приводораздельной части Урала. Для тел характерна приуроченность к структурам северо-западного и субмеридионального направлений. Небольшие удлиненные массивы и штоки риолитов залегают обычно согласно с общим простиранием вмещающих пород в обрамлении Ойканьерской антиклинали. В зоне крупного Верхнеталтминского разлома закартированы небольшие сложнопостроенные тела риолитов, где их размеры не превышают 3-4 км по простиранию. В целом, породы

пожемского комплекса слагают интрузивные тела гипабиссальной фации глубинности, имеющие форму неггков, даек и небольших линейновытянутых куполов.

Верхний структурный ярус сложен главным образом осадочными отложениями терригенной и терригенно-карбонатной групп формации. Для шельфовых, преимущественно литорально-неритовых, отложений характерно присутствие биогермных известняков с толстостенной микрофауной, доломитизированных известняков, кварцевых песчаников и гравелитов, свойственных полному седиментационному циклу трансгрессивного характера. По мнению А.И. Елисеева, они отвечают калейдовому типу формаций платформенных областей [Елисеев А.И., 1982]. Реставрация палеогеографической обстановки приводит к выводу о морских батинальных условиях осадконакопления, отвечающих континентальному склону и подножью современных океанов. В девоне – нижнем карбоне на территории Маньхамбовского блока произошла активизация, проявившиеся формированием магмагенерирующих очагов, давших спектр щелочно-салически-мафических пород трахибазальт-трахириолитовой формации.

Трахибазальт-трахириолитовая формация сложена породами *Косвожско-пагинского комплекса (D-C<sub>1</sub>)*. Комплекс представлен субщелочными базальтами, трахибазальтами, трахиандезитобазальтами, трахиандезитами и трахириолитами, их туфами, залегающими среди отложений ниже-среднедевонского возраста [Душин В.А., Микляев А.С., 1990]. Эффузивы приурочены к мощным зонам северо-восточного направления, сосредотачиваясь главным образом в области их сопряжения со структурами северо-западного простиранья. Породы комплекса в отбельных коренных выходах прослежены более чем на 150 км от широты р. Елец на севере до бассейна р. Пага на юге. Эффузивно-пирокластическая фация закартирована по руч. Кос-Вож, рекам Харута и Пага, где она участвует в строении вулканогенно-сланцевых и терригенно-вулканогенно-сланцевых разрезов. Так в нижнем течении р. Харуты мощность потока трахибазальтов, залегающего среди глинистых сланцев, составляет около 4 м. Выше устья р. Яй-Ю в левом борту р. Хатуры обнажен уже 50-метровый покров зеленовато-серых миндалекаменных базальтов, прослеженный по простиранью на 100 м. В обнажениях по р. Пага в 2,5 км выше устья р. Погурей туфы кислого состава залегают на пачке мелкозернистых песчаников. Их суммарная мощность вместе с вмещающими кремнисто-глинистыми сланцами составляет 160 м. выше по разрезу обнажены два потока трахиандезитобазальтов, переслаивающихся с зеленовато-серыми алевролитами и кремнистыми сланцами. Среди туфов на южном Урале отмечаются достаточно крупнообломочные разности с бомбами до 10 см в поперечнике [Иванов К.С., Пучков В.Н., 1984].

Мезозойско-кайнозойская эпоха главным образом представлена континентальной красноцветной алеврито-песчаной, глинисто-песчаной и морской глинисто-алевритовой формациями. Рудоносность мезозоя и кайнозоя обязана проявлению внутриплитного магматизма и осадконакоплению, которые обусловили формирование проявлений эндогенного (U, TR), «поверхностного» (U, TR) и россыпного (Au, Pt) типов.

Установленный диссертантом в регионе позднепермско-триасовый магматизм, который представлен малыми телами и дайками монцогаббро, долеритов, микрограносиенитов поньинского комплекса, а также субщелочными и щелочными риолитами, трахириолитами, трахириодацитами и ультракалиевыми риолитами туяхляинского комплекса, относимых к активизационному типу плюмовой природы. Они, как правило, приурочены к северо-западным структурам и их оперяющим дизъюнктивам, либо трассируют крупнейшие швы — Собско-Салатимской и Кулемшорско-Маньхамбовской зоны, во многом определяющих рудонасыщенность территории (рисунок.1.1).

Вопросы и проблематика позднепалеозойско-раннемезозойского активизационного магматизма, выделяемого рядом исследователей в пределах Маньхамбовского блока, остается открытым и не решенным. В последующих главах настоящей работы показаны результаты исследования общих закономерностей геологического положения, минералого-петрографических, петрохимических и геохимических особенностей пород магматизма позднепалеозойско-раннемезозойской эпохи, сделана попытка определения геодинамической обстановки их формирования, а также выявлена рудоносность исследуемых специфических образований, в частности специализированных на редкие, редкоземельные и радиоактивные металлы, к крупнейшим объектам из которых относятся рудопроявления Турупьинское (TR,U), Ватлинское (TR), Няртсюю (TR), Верхнеталтминское (TR), Хунтынья (TR, Au) и др [Душин В.А., Трутнев А.К., 2021].

## **ГЛАВА 2. ГЕОЛОГИЯ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКО- РАННЕМЕЗОЗОЙСКИХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МАНЬХАМБОВСКОГО БЛОКА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

Формирование мезозойских тектонических структур Приполярного Урала (Маньхамбовский блок) имеет длительную многоэтапную геологическую историю, но окончательное их становление связано с позднепалеозойским коллизионным и позднепалеозойско-мезозойским внутриплитным этапом развития Уральского подвижного пояса. Формирование коллизионных структур исследуемого региона обусловлено тектоническим преобразованием северо-восточной окраины Русской платформы в зоне ее контакта с Западно-Сибирской плитой. Начиная с раннего триаса (местами с конца перми), на всем Урале и Зауралье происходило растяжение сменяющиеся кратковременным сжатием, вследствие чего происходило дробление суперконтинента Пангеи и континентального рифтогенеза, сопровождающегося активизационным внутриплитным магматизмом [Рапорот М.С., Баранников А.Г., 1998].

Покровно-складчатая система Маньхамбовского блока характеризуется отчетливо выраженной меридиональной зональностью, которая традиционно определяется строением крупнейших элементов (Западно-Уральская, Центрально-Уральская и Восточно-Уральская мегазоны) в ее строении, которое принято отождествлять с Палеоконтинентальным (первые две) и Палеоокеаническим (Палеоостроводужным) секторами. Первый сложен аккретированными контруктивно-деструктивными комплексами доуралид и рифтогенно-склоновыми формациями палеозоя, в основании которых гетерогенные блоки древней архей-палеопротерозойской (с модельными Sm-Nd и U-Pb возрастaми 1,4 - 2,9 млрд. лет) предположительно континентальной коры. Второй известен в литературе под названием Щучинско-Войкарского и Северо-Тигальского блков и включает в себя наряду с допалеозойскими комплексами меланоктратового основания (Малыкский, Дзеляюкский) океаническо-остороводужно-коллизионные террейны раннего-среднего палеозоя [Душин В.А., 1997].

Помимо субмеридиональных дизъюнктивов регионального значения, разделяющие главнейшие структурные элементы в ранге структурно-формационных мегазон и зон (Главный Уральский надвиг, Осевой и Присалатимский, надвиги) отчетливо фиксируются поперечные тектонические нарушения северо-западного простирания. По мнению многих исследователей, эта зональность связана с влиянием северо-западных и субширотных структур эпибайкальского фундамента, сохранившего некоторую подвижность на

протяжении палеозоя-мезозоя и кайнозоя, формируя общую структуру «клавишного» типа [Душин В.А., 2017].

Поперечной зональности проявлена в геофизических полях, что отражено на специализированных уральских картах масштаба 1:1 000 000 («Глубинное строение земной коры Урала» - Н.Г. Берлянд [Берлянд Н.Г., 1982], «Морфоструктурная карта Урала» - Н.Г. Чижова [Н.Г. Чижовой и С.Г. Стояновой, 1990] и «Металлогеническая карта Урала» - А.М. Маричев и др. [А.М. Маричев, И.А. Петрова и др., 1987]). В различных продольных зонах Урала поперечные структуры выражены по-разному, но практически везде ограничения обусловлены проявлением тектонических нарушений глубинного характера, сопровождаемых сменой формаций и складчатых структур докембрия и палеозоя в пределах сопрягающих блоков [Горский В.П., Молдаванцев Ю.Е., 1962]. Наиболее крупные поперечные разломы, фиксируемые на рассматриваемой территории, являются системы Кожимских (I), Вэраюских (II), Северо-Маньхамбовских и Няйско-Щугорского (III) дизъюнктивов, представленные на рисунке 1.1, и второстепенных Прищугорский, Туяхланьинский, Тильтильминский, Хомеский, Попьельский, Поньизский, Пашкевожский разрывные нарушения северо-западного простирания трассируемых магматизмом позднепалеозойско-мезозойского возраста.

Кожимский (I), Вэраюских (II), Северо-Маньхамбовский и Няйско-Щугорский (III) разломы северо-западного ( $315-320^\circ$ ) простирания, осложняющие (активизирующие) Маньхамбовско-Кулемшорскую и Салатимско-Нундерминскую шовные зоны, прослежены по простиранию на десятки и сотни километров. По кинематике отвечают сбросо-сдвигам с падением сместителей на северо-восток под углами  $55-70^\circ$ . Они контролируют Поньизскую и Атальясяхальскую эруптивные палеоструктуры и, по-видимому, ответственны за реомобилизацию редкометалльно-уран-ториевого оруденения (Большая Турупья). В обнажениях по р. Няйс эти структуры представлены серией зон расланцевания мощностью 0,5-5 м (аз. пад  $210^\circ \angle 70$ ) с зеркалами скольжения (аз.пад.  $195^\circ \angle 60$ ), инъецированы разбудинированными кварцевыми жилами, и сопровождаются напряженной приразломной изоклинальной складчатостью. В северном и северо-восточном обрамлении массива Маньхамбо, по результатам поисково-ревизионных работ, так же закартированы системы «лестничного» типа с обильным проявлением псевдоконгломератов и конглобрекчий. В магнитном поле разломы отчетливо фиксируются по резкому нарушению характера полей.

Туяхланьинский, Тильтильминский, Хомеский, Попьельский разломы относятся к группе основных нарушений северо-западного направления. Они характеризуются взбросо-

сдвиговой кинематикой и, как правило, представляют из себя небольшие по мощности (до первых метров) зоны расланцевания с глиной трения, иногда с неярко выраженной милонитизацией. Для них также характерны элементы виргации, расщепления и связь с гидросетью.

Практически все основные реки района наследуют северо-западные элементы тектоники. В геофизических полях северо-западные нарушения фиксируются по смене характера полей, а на спектрзональных космоснимках - по резкому изменению цветовой гаммы; таковы Хомеский, Тильтильминский и в какой-то степени Туяхланьинский разломы.

Разрывные нарушения субширотного простирания представлены Прищугорским и Поньизским разломами. Они являются одними из наиболее молодых дизъюнктивов. По мнению Г. И. Дашкевич [Дашкевич Г.И., Кузнецов В.И., 1999], амплитуда их невелика, а падение крутое на северо-северо-восток и юго-юго-восток. Они, в основном, представлены зонами повышенной трещиноватости с зеркалами скольжения, проявлениями милонитов и катаклазитов. Широко развита трещинная тектоника, связанная как со складчатостью, так и реализованная в послескладчатый этап.

Таким образом, современный тектонический облик Маньхамбовского блока во многом определялся развитием позднепалеозойско-мезозойской блоковой тектоники, наложенной на палеозойские и более древние геологические структуры, связанной с активизации древних структур (Кожимский, Северо-Маньхамбовский и Няйско-Щугорский разломы) и появлением новых (Туяхланьинский, Тильтильминский, Хомеский, Попьельский, Прищугорский и Поньизский разломы) дизъюнктивов северо-западного и субширотного простирания. Не исключено, что крупнейшие тектонические зоны такие как Маньхамбовско-Кулемшорская, Собско-Нундерминская (последняя реализована в Присалатимском шве и Главном Уральском надвиге) также были вовлечены в данный процесс.

Нами установлено, что в пределах Маньхамбовского блока тектоническая активизация позднепалеозойско-раннемезозойской эпохи сопровождается проявлением специфического магматизма, представленного монцогаббро-долерит-граносиенитовой и трахириолитовой формациями.

### **2.1 Поньинский комплекс ( $\mu\nu\delta P$ -Трп)**

Монцогаббро-долерит-граносиенитовая формация сложена породами *поньинского комплекса* ( $\mu\nu\delta P$ -Трп) [Государственная геологическая...2018], который представлен группами небольших штоков, линзообразных тел и даек габбро, монцогаббро, долеритов субщелочного ряда, редко измененными сиенитами и микрограносиенитами,

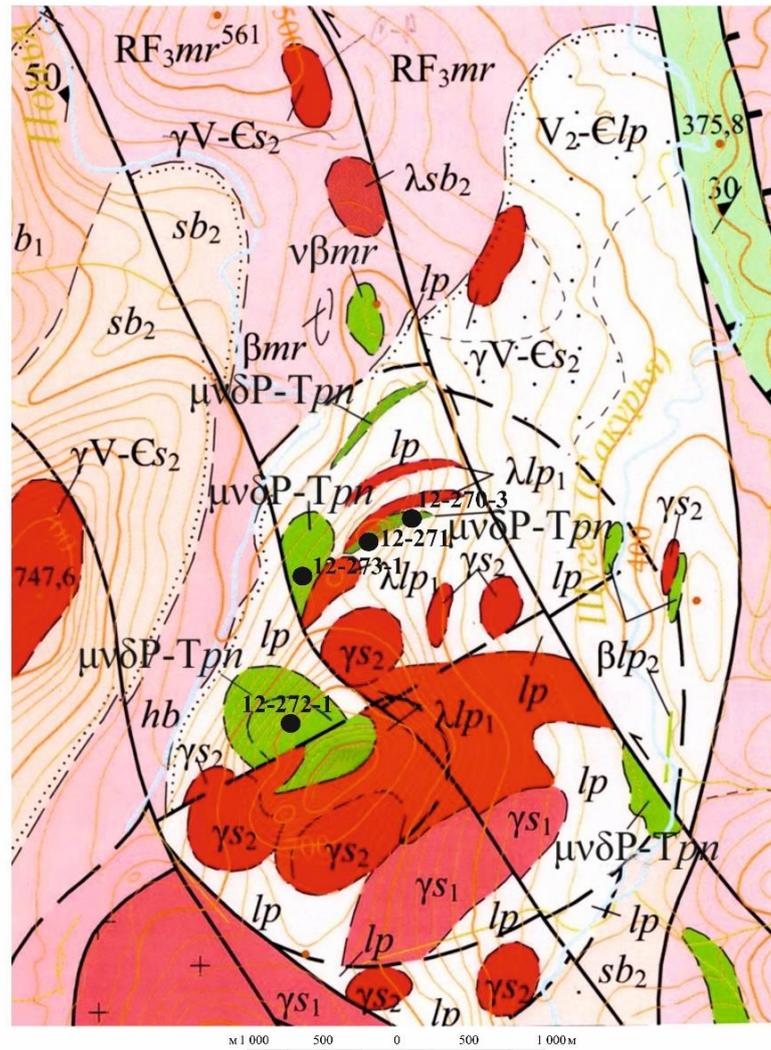
закартированных в междуречье рек Щугор-Понья-Пеленья-Подчерем и выявленных в верховьях р. Туяхланья, в районе рек Вэраю и Кожимью. Размеры тел колеблются в пределах от 0,7 м до 5 км по мощности и от десятков метров до 2 км по длинной оси. Они приурочены в основном к эндо- и экзоконтактам Ильязского [Калиновский А.В., 1990] и Малопатовского массивов, где установлены в виде даек в осевой части интрузии, и показаны Э. Г. Негурицей [Негурица Э.Г., Севостьянов Г.И., 1970] в северной части Тильтимьинской антиклинали как щелочные сиениты. Характерна приуроченность комплекса к оперяющим структурам Кулемшорско-Маньхамбовской зоны, в швах Няйско-Щугорского дизъюнктива, а также контролирующего диагональный Туяхланьинский разлом.

По результатам анализа геофизических данных диссертантом установлено, что в магнитном поле породы выражены отрицательными аномалиями интенсивностью -200-250 нТл, гравитационные поля также отрицательные от -20 до -25 мГал. На спектрональных космоснимках при хорошей обнаженности массивы и дайки окрашены в ярко-оранжевый спектр. Естественная радиоактивность пород варьирует от 10 до 30 мкР/ч.

В районе развития Поньизской палеовулканической структуры (г. Поньиз) заактивированы группы небольших тел каплевидной и эллипсоидной формы и дайки габбро, габбродолеритов и долеритов размером 80-120×160-200 м и 5-15×250-300 м соответственно (рисунок 2.1). Они контролируются дизъюнктивами северо-западного простирания (Северо-Маньхамбовский и Няйско-Щугорский разломы), интрузируя лаптопайские отложения ( $V_2-C_{lp}$ ) и гранитоиды второй фазы сальнеро-маньхамбовского ( $\gamma\delta V-C_{S_2}$ ) комплекса. Контакты с вмещающими отложениями резкий, интрузивный под углом 55-60° с падением на запад и северо-запад, локально наблюдается зона закалки. Породы от темно-зеленого до черного цвета, скрытокристаллические, массивные. Наблюдается характерный раковистый излом. Примерно такая же картина наблюдается в районе верховьев р. Толья, где по периферической части массива Маньхамбо на месте сопряжения с Северо-Маньхамбовским разломом развиты эллипсоидные тела размером 100-120×200-250 м и дайки размером 10-20×100-150 м габбро и монцогаббро субщелочного ряда дискордантно прорывающие сланцево-терригенную толщу хобейнской свиты ( $RF_3hb$ ) и гранитоиды второй фазы сальнеро-маньхамбовского ( $\gamma\delta V-C_{S_2}$ ) комплекса. Выше Поньизской палеовулканической структуры в междуречье р. Понья и р. Щугер (Сакурья) вдоль Няйско-Щугорского разлома трассируется тело овальной формы размером 140×300 м долеритов субщелочного ряда с северо-западным простиранием несогласно прорывающее плагиоклаз-серицит-кварцевые и плагиоклаз-эпидот-хлорит-серицит-кварцевые сланцы мороинской свиты ( $RF_3mr$ ). Подобные магматические образования имеются в пределах

Щучьинского блока Полярного Урала Юнтинская малая интрузия субщелочных габброидов С<sub>2</sub>-Р возраста [Попова О.М., 2002] и в пермской щелочной провинции грабена Осло (Норвегия) и считаются переходными к фельдшпатоидным габбро [Вильямс Х, Тернер Ф. и др., 1985].

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ПОНЬИЗСКОЙ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ



м 1 000 500 0 500 1 000м

масштаб 1:50 000

Составил Душин В.А.

**Условные обозначения**

V.-Clp	Лаптопайская свита	μνδР-Трп	Габбро, габбродолериты, долериты поньинский гнабиссальный комплекс
RF,-V, sb.	Саблегорская свита, верхняя подсвита	βV,-Clp.	Базальты, трахибазальты, лаптопайский субвулканический комплекс, вторая фаза
RF, mr	Моронинская свита	λV,-Clp.	Риолиты, лаптопайский субвулканический комплекс, первая фаза
RF, hb	Хобеинская свита	λRF,-V, sb.	Риолиты, саблегорский субвулканический комплекс, вторая фаза
12-272-1	Точка наблюдения и место отбора проб	γV,-Cs <sub>2</sub> .	Гранитоиды, сальперо-маньхамбовский комплекс, вторая фаза
		γV,-Cs <sub>1</sub> .	Гранитоиды, сальперо-маньхамбовский комплекса, первая фаза
		vβRl, mr.	Габбродолериты, моронинский субвулканический комплекс

Рисунок 2.1 Геологическая карта Поньизской палеовулканической структуры с малыми телами основных и средних пород поньинского комплекса (μνδР-Трп) масштаба 1:50 000 (составил Душин В.А., 2015 г)

В районе верховьев р. Туяхла́нья закартирована группа слабо линейно вытянутых интрузии и даек светлых с оранжевым оттенком щелочных сиенитов и микрограносиенитов размером 10-60×250-300 м сближенных с Туяхла́нинским разломом северо-западного направления, характеризующегося взбросо-сдвиговой кинематикой. Тела имеют четкие резкие контакты с вмещающими аповулканогенными сланцами мороинской свиты ( $RF_3mr$ ) и доломитизированными известняками седельской свиты ( $S_2sd$ ), зона закалки установлены только у более основных разностей – монцодиоритов, сиенитодиоритов. Иногда отмечается ороговикование вмещающих пород. Макроскопически, породы серые, светло-серые с оранжевым оттенком мелко-средне-крупнозернистой структуры и массивной текстурой.

## 2.2 Туяхла́нинский комплекс ( $\tau\lambda P-Tth$ )

Трахиритовая формация сложена породами туяхла́нинского ( $\tau\lambda P-Tth$ ) комплекса, который представлен как крупными и малыми телами изометричной и линейновытянутой формы, размером от 100-150 м до 8-12 км по простиранию и от 40-120 м до 2-3 км в поперечнике, так и дайками, размером 150-300 м по простиранию и 15-80 м в поперечнике, субщелочных и щелочных риолитов, трахиритов, трахиритоцитов, закартированных в районе верховьев рек Малого Туяхла́нья, Талтма, Подчерем, Хунты́нья, Правого Укью. Магматические образования туяхла́нинского комплекса приурочены к эндо-экзоконтактам Ильяизского и Маньхамбовского массивов и контролируются крупными дизъюнктивами северо-западного простирания Кожимский (I), Вэраюских (II), Северо-Маньхамбовский (III), Няйско-Щугорский разломами сбросо-сдвиговой кинематики и Туяхла́нинский, Тильтильминский, Попьельский разломами взбросо-сдвиговой кинематики.

По результатам анализа геофизических данных установлено, что в пределах Маньхамбовского блока исследуемые породы достаточно уверенно выделяются по магнитным свойствам на фоне вмещающих отложений, образуя локальные отрицательные аномалии интенсивностью -200 - -300 нТл, гравитационное поле также отрицательное (-4 мГал). Поля развития пород сопровождаются аномалиями калия (1-3 г/т), тория (5-17 г/т) и урана (8-10 г/т), выявленные аэрогамма-спектрометрическими методами. Естественная радиоактивность кислых магматитов составляет 25-28 мкР/ч.

Диссертантом и коллегами по СНИГЭ в районе междуречья рек Хунты́нья и Яныманья в обрамлении Ойканьёрской антиклинали закартированы тела риолитов и трахиритов, трассирующих разлом северо-западного направления (рисунок 2.2). Тела имеют форму неков, даек и небольших изометричных и линейновытянутых куполов размером от 120 до 300 м по простиранию и от 40 до 110 м в поперечнике. Магматические



Ильязским массивом выявлены тела и дайки риолитов и трахириолитов (рисунок 2.3). Тела имеют неправильную линейновытянутую форму размером от 80-150 м до 4,5-5 км по простиранию и от 10-40 до 300 м в поперечнике. Они контролируются и развиты в пределах зоны сочленения Северо-Маньхамбовского, Няйско-Щугорского и Попельского дизъюнктивов северо-западного направления. Контакты с вмещающими основными и пироксен-плагиоклазовыми туфами нижней части саблегорской свиты резкие, местами тектонические, отчетливо фиксируются закаленные зоны интрузии и даек. Породы от светло-серого с лиловым оттенком до вишнево-серого цвета. Текстура массивная, флюидальная, структура порфировая, редкопорфировая и афировая, излом часто раковистый.

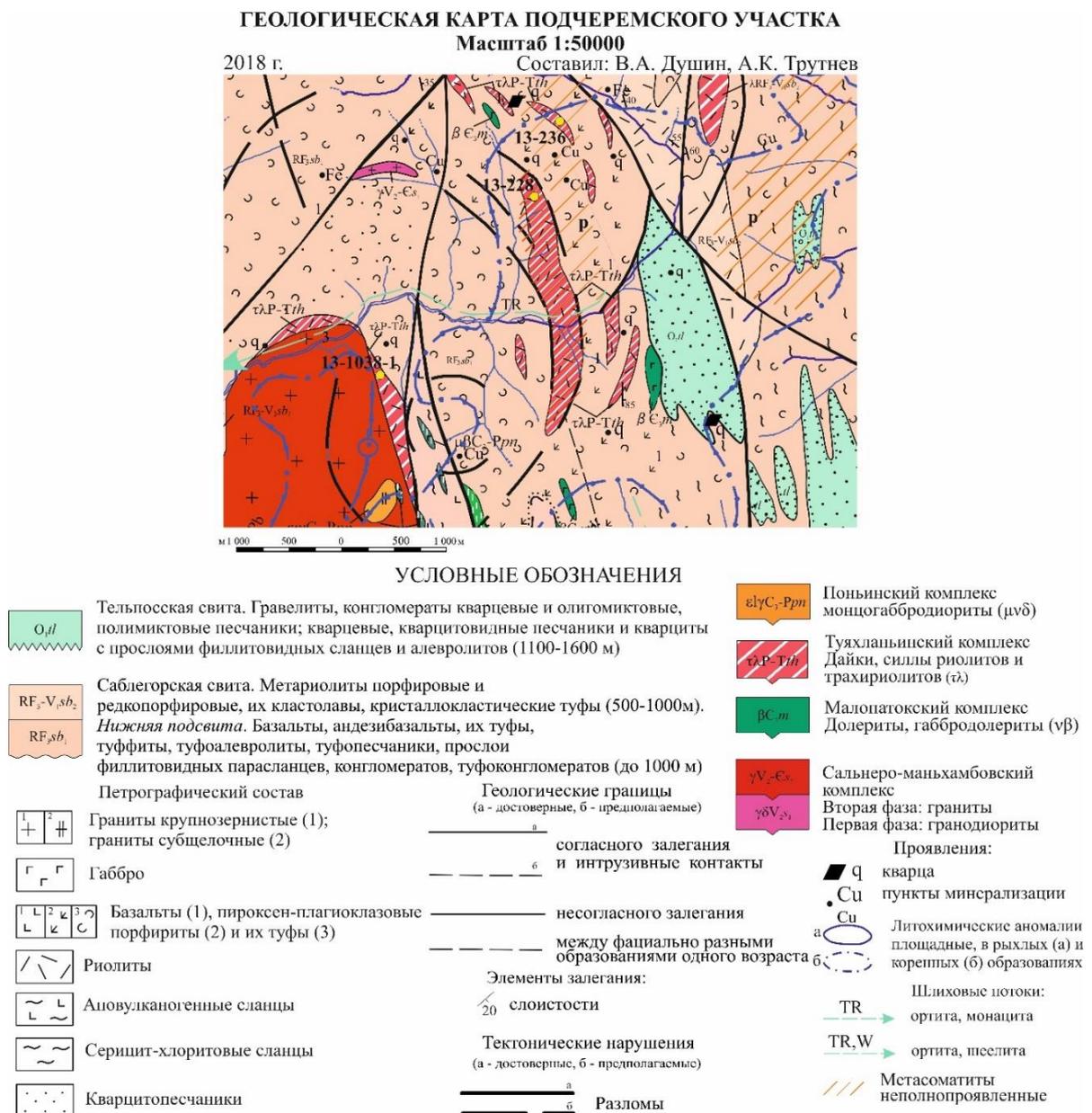


Рисунок 2.3 Геологическая карта и условные обозначения Подчеремского участка с силлами и дайками риолитов и трахириолитов туяхлаьинского (τλP-Tth) комплекса масштаба 1:100 000 (составили Душин В.А., Трутнев А.К., 2018 г)

### 2.3 Геохронологические исследования

С целью выяснения возрастного положения, проведены геохронологические исследования акцессорных и породообразующих минералов пород поньинского и туяхланьинского комплексов Rb-Sr, Sm-Nd и U-Pb методами датировки. При помощи Rb-Sr и Sm-Nd методов изучены зерна ортоклаза, плагиоклаза, амфибола и биотита, отобранные из монцогаббро (обр.13-299-1; N 63°20'25,6'' E 59°8'58,2'') и субщелочного габбро (обр.13-21; N 63°12'2,4'' E 59°8'58,2''), которые соответствуют возрасту в диапазоне  $250,3 \pm 1,2$  и  $251 \pm 25$  млн. лет (таблица 2.1, 2.2, рисунок 2.4, 2.5). Вследствие чего, установлено, что основные породы поньинского комплекса датируются возрастом, соответствующему пермско-триасовой эпохи.

Таблица 2.1 - Изотопные Rb-Sr данные монцогаббро (обр. 13-299-1)

Номер пробы	Rb, г/т	Sr, г/т	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$
13-299-1 <i>Pl</i>	31,2	336	0,2669	0,0013	0,717835	0,000028
13-299-1 <i>Wr</i>	27,0	211	0,3678	0,0018	0,718161	0,000021
13-299-1 <i>Bt</i>	512	12,1	121,6	0,61	1,150101	0,000038

Примечание: *Pl* – плагиоклаз, *Wr* – порода в целом, *Bt* – биотит.

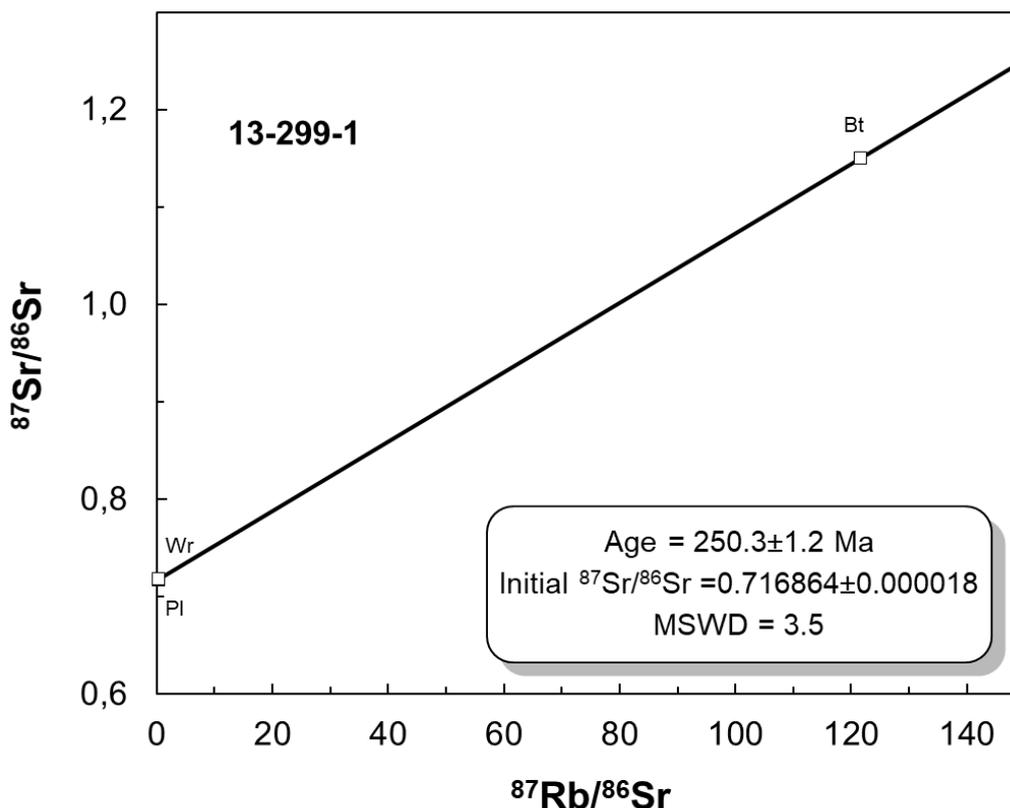


Рисунок 2.4 Rb-Sr систематика по монцогаббро поньинского комплекса (т.н. 13-299-1)

Таблица 2.2 - Изотопные Sm-Nd данные субщелочного габбро (обр. 13-21)

Минерал/порода	Sm, г/г	Nd, г/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\sigma$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\sigma$	$T_{DM}$ (млн. лет)
Полевой шпат	0,112	0,813	0,0833	0,0004	0,5127705	0,000009	
Габбро	4,04	16,4	0,1488	0,0007	0,512805	0,000012	251
Амфибол серовато-зеленый	3,01	12,0	0,1515	0,0008	0,512817	0,000012	
Амфибол 2	2,64	10,4	0,1530	0,0008	0,512827	0,000013	

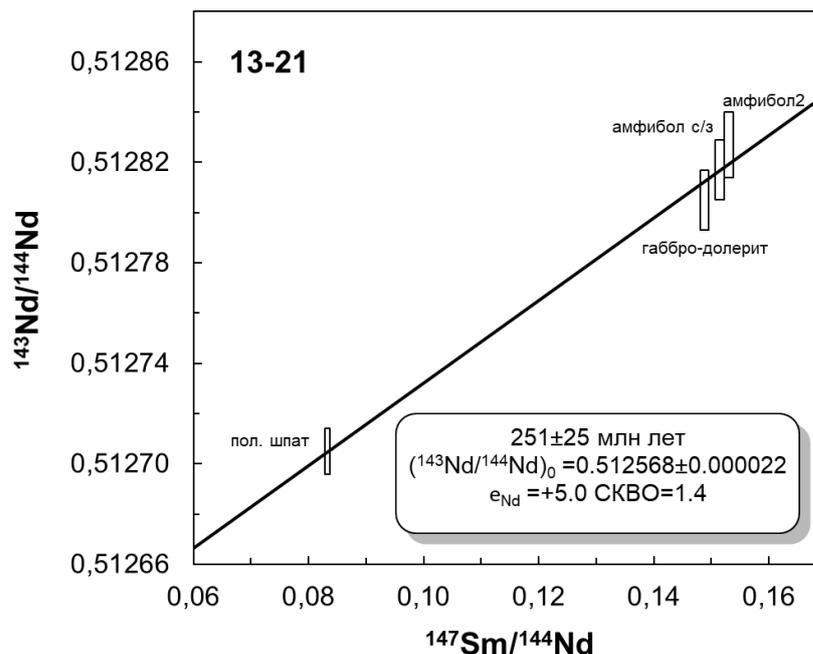


Рисунок 2.5 Sm-Nd систематика по субщелочному габбро поньинского комплекса (т.н. 13-21)

При помощи U-Pb систематики датирования возраста исследованы зерна циркона, выделенные из образца риолита 13-1240 (N 63°23'28,2'' E 59°30'55,0'', истоки р. Хунтынья) туяхланьинского трахириолитового (τLP-Tth) комплекса. U-Pb LA ICP-MS датирование кристаллов циркона проводилось в Институте Наук о Земле Университета Иоганна Вольфганга Гете (г. Франкфурт-на-Майне, Германия) с использованием секторного, масс-спектрометра ICP-MS Element2, интегрированного с лазером New Wave UP213 UV, по методике, описанной в работе [Гердес А., Зех А., Ронкин Ю.Л., 2013]. По минералогическим особенностям, выделенный из образца 13-1240, циркон представлен как минимум двумя группами индивидов. Первый тип это прозрачные бледно-светло-желтые, хорошо ограненные бипирамидально-призматические удлиненные ( $K_{удл} = 2-4$ ) кристаллы размером 50–130 мкм. В цирконах слабо проявлена осцилляционная зональность. Второй тип зерен представлен идиоморфными прозрачными светло-желтыми субизометричными или слабо удлиненными ( $K_{удл} = 1-2,5$ ) бипирамидальными кристаллами размером 70-120

мкм, которые имеют яркое свечение и осцилляционную зональность. Концентрации U, Pb, отношение Th/U (приложение 1) варьирует в диапазоне 24-1129 г/т, 3-109 г/т и 0,43-0,93 соответственно. Положение соответствующих фигуративных точек (n=15) на графике Арсена-Везерилла определяет три кластера, соответствующих U-Pb возрастам (рисунок 2.6):  $246,2 \pm 3,1$  млн. лет,  $419,3 \pm 4,9$  млн. лет и  $493,2 \pm 2,7$  млн. лет. Наибольшей вероятностью соответствия конкордантности (BK=0,95) отличается наиболее «молодой» кластер с возрастом  $246,2 \pm$  млн. лет, СКВО = 0,0042. [Душин В.А., Ронкин Ю.Л., Гердес А., 2015]

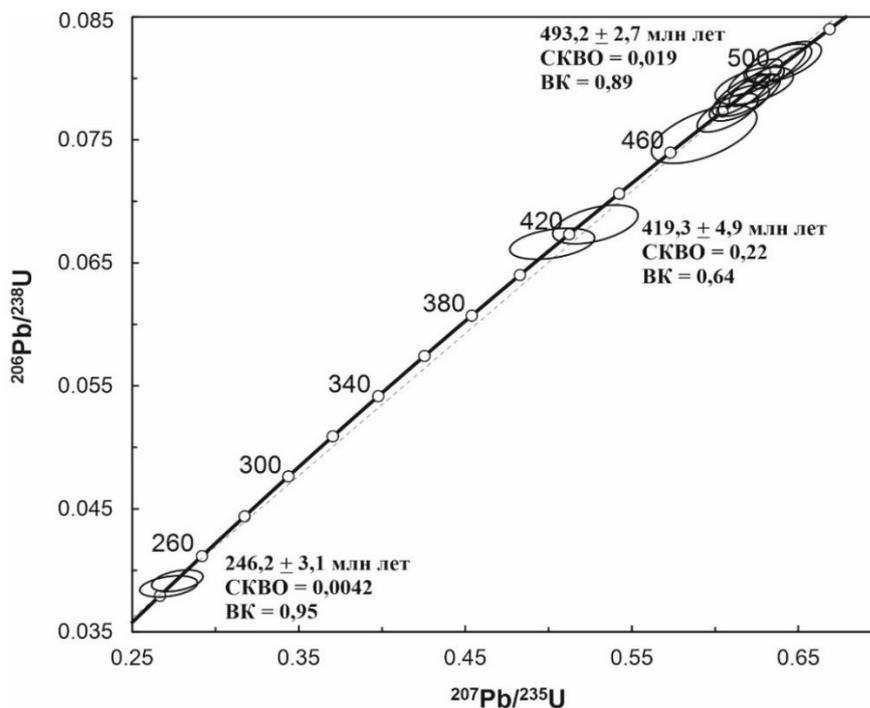


Рисунок 2.6 U-Pb изохрона риолита туяхланьинского комплекса (т.н. 13-1240)

В результате геохронологических исследований различными методами установлено, что основные субщелочные породы поньинского комплекса ( $\mu\nu\delta P$ - $Trn$ ) и кислые щелочные породы туяхланьинского ( $\tau\lambda P$ - $Tth$ ) комплекса, как правило, трассирующие дизъюнктивные нарушения северо-западного и субширотного направления, по всей видимости, сформированы в пермско-триасовый (246,2 - 251 млн. лет) этап развития территории, которые хорошо коррелируются с габбро-монцодолеритовой (яляяхинский комплекс, P-T) и граносиенит-гранитовой (лонготюганский, осоевский комплексы, P - T) формациями Полярного Урала.

### Выводы

Проведя анализ геологического положения и геохронологические исследования малых тел, штоков, некков и даек основных, средних и кислых пород поньинского ( $\mu\nu\delta P$ - $Trn$ ) и туяхланьинского ( $\tau\lambda P$ - $Tth$ ) комплексов можно сделать следующие выводы:

1. Исследуемые магматические тела приурочены к зонам дизъюнктивов северо-западного и субширотного простираения сбросово-сдвиговой и взбросо-сдвиговой кинематики, обладающие относительной «свежестью» и дискордантностью (несогласным, поперечным залеганием) по отношению к вмещающим структурам средне-позднерифейского, венд-кембрийского и палеозойского возраста.

2. Простираение тел и даек, как правило, совпадает с нарушениями северо-западного (310-320°) и субширотного направления.

3. Породы комплексов уверенно выделяются по отрицательным магнитным (-200 - -300 нТл) и гравитационным (-4 - -25мГал) аномалиям, а также сопровождаются аномалиями калия (1-3 г/т), тория (5-17 г/т) и урана (8-10 г/т), выявленные аэрогамма-спектрометрическими методами.

4. Геохронологическими исследованиями различными методами установлено, что основные, средние и кислые породы поньинского и туяхланьинского комплексов сформированы в пермско-триасовый (246,2 - 251 млн. лет) этап развития территории.

Таким образом, изучив геологическое положение малых тел, штоков и даек пород поньинского и туяхланьинского комплексов, проведя геохронологические исследования и корреляцию с магматическими комплексами пермско-триасового возраста на Урале и прилегающих территориях следует, что в пределах Маньхамбовского блока Ляпинской СМЗ Уральской металлогенической провинции выявлены малые тела, штоки и дайки субщелочных и щелочных пород основного, среднего и кислого составов пермско-триасового возраста, а именно поньинский и туяхланьинский комплексы.

В связи с этим, можно выделить монцогаббро-долерит-граносиенитовую и трахириолитовую формации [Магматические формации СССР, 1979], отвечающие периоду внутриплитной позднепалеозойско-раннемезозойской (Р-Т) тектоно-магматической активизации.

### **ГЛАВА 3. ПОРОДЫ ПОНЬИНСКОГО И ТУЯХЛАНЬИНСКОГО КОМПЛЕКСОВ – ПРОДУКТЫ ПЕРМСКО-ТРИАСОВОГО ВНУТРИПЛИТНОГО МАГМАТИЗМА МАНЬХАМБОВСКОГО БЛОКА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

Поньинский комплекс представлен породами семейства монцогаббро, долеритов и граносиенитов. Туяхланьинский комплекс, в свою очередь, включает в себя семейства риолитов, трахириолитов и трахириодацитов. Как правило, малые тела, штоки и дайки, исследуемых комплексов трассируют разломы северо-западного и субширотного направления сбросово-сдвиговой и взбросо-сдвиговой кинематики, наложенной в позднепалеозойско-раннемезозойский (Р-Т) период на палеозойские и более древние геологические структуры, связанной с активизации древних структур (Кожимский, Северо-Маньхамбовский и Няйско-Щугорский разломы) и появлением новых (Туяхланьинский, Тильтимальминский, Хомеский, Попьельский, Прищугорский и Поньизский разломы) дизъюнктивов. По минералого-петрографическим, петрохимическим и геохимическим характеристикам исследуемые породы отвечают продуктам внутриплитного магматизма.

#### **3.1 Поньинский комплекс ( $\mu\nu\delta P$ -Трп)**

*Поньинский комплекс ( $\mu\nu\delta P$ -Трп)* выделен при проведении ГДП-200 листа Р-40-VI [Государственная геологическая..., 2018] и представлен группами небольших штоков, линзообразных тел и даек габбро, монцогаббро, монцогаббродолеритов, долеритов субщелочного ряда, редко сиенитами и измененными микрограносиенитами, закартированных в междуречье рек Щугор-Понья-Пеленья-Подчерем и выявленных в верховьях р. Туяхланья, в районе рек Вэраю и Кожимью. Размеры тел колеблются в пределах от 0,7 м до 5 км по мощности и от десятков метров до 2 км по длинной оси. Они приурочены в основном к эндо- и экзоконтактам Ильязского [Калиновский А.В., 1990] и Малопатокского массивов, где установлены в виде даек в осевой части интрузии, и показаны Э. Г. Негурицей [Негурица Э.Г., Севостьянов Г.И., 1970] в северной части Тильтимальминской антиклинали.

По результатам петрографических исследований установлено, что монцогаббро и долериты обладают от темно-зеленой до черной окраски, от скрытокристаллической до мелко-среднезернистой, иногда крупнозернистой структурой и массивной, редко полосчатой текстурой с характерным раковистым изломом. Микрограносиениты - серые, светло-серые с оранжевым оттенком породы мелко-среднезернистой структуры и массивной текстурой. В некоторых породах поньинского комплекса локально выражена зона закалки, связанная с уменьшением размера зерен и количества вкрапленников, где краевая часть породы стекловатая, а центр наиболее раскристаллизован.

## **Монцогаббро и долериты**

### *Петрографическая характеристика*

*Монцогаббро* – породы от темно-зеленого до черно-белого цвета. Структура от среднезернистой до крупнозернистой, габбровая. Микроструктура гипидиоморфнозернистая и редкопорфировая (рисунок 3.1 А - Б), текстура – массивная. Минеральный состав: плагиоклаз - 35-40 %, пироксены - 30-35 %, амфиболы – 15-20 %, рудные и акцессорные минералы – 5-10 %. Из акцессорных минералов установлены эпидот, титанит, магнетит, ильменит, монацит и апатит. По содержанию плагиоклаза и амфибола, согласно петрографическому кодексу [Петрографический кодекс, 2009] выделяются меланократовые и роговообманковые разновидности.

Плагиоклаз представляет из себя субизометричные и короткопризматические лейсты размером от 0,2-0,3×0,4 мм до 1,8-2,4×1,9-3,2 мм. В малых телах и штоках это, как правило, лабрадор (№ 63-70), тогда как в дайках фиксируется плагиоклаз, представленный битовнитом (№ 68-74). В породах минерал идиоморфный, сдвойникованный, иногда с зональным погасанием от краев к центру, мутный за счет тонкозернистых продуктов замещения, пелитизированный, интерференционная окраска от серого до бледно-желтого I порядка ( $\Delta = 0,007-0,009$  нм) (рисунок 3.2 А - Г). В некоторых зернах прослеживается зональное строение, часто с сильно измененным ядром, представленным более основной разновидностью (лабрадором или битовнитом), но границы зон не четкие, что свидетельствует о возможной деформационной природе зональности или процессах альбитизации. Кроме того, отмечается новообразованный идиоморфный неправильной и изометричной формы альбит (№2-8) – бесцветный, спайность совершенная по (001), рельеф слабый, интерференционная окраска окраска серая I порядка ( $\Delta = 0,007-0,0075$  нм), углы угасания на (010)  $-8^\circ$ , на (001)  $-2^\circ$ , двойники по альбитовому закону (Рисунок 3.2 А - Г). В плагиоклазах фиксируется включения магнетита и апатита.

При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном TESCAN VEGA с приставкой X-Max Oxford (Лаборатория НИЛ ВСПиР, УГГУ) в монцогаббро удалось диагностировать только альбит, так как остальные плагиоклазы сильно пелитизированный, что существенно искажает химический состав минералов. В альбитах содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  варьирует от 10,5 до 12,2 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 19,8-20,8 %,  $\text{SiO}_2$  – 67,8-68,5 %,  $\text{CaO}$  – 0,2-0,3 %, альбитовая составляющая (Ab) находится в диапазоне от 98,4 до 99,1, анортитовая молекула (An) изменяется от 0,9 до 1,6 (Приложение 2, рисунок 3.3 А).

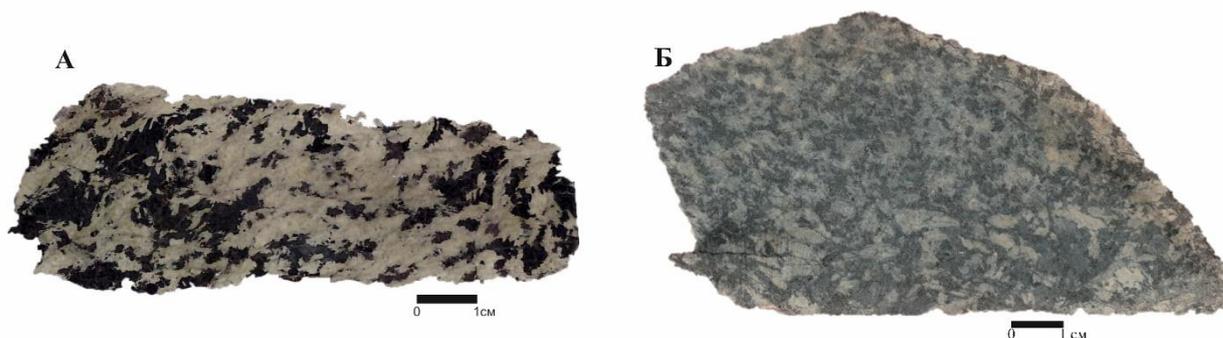
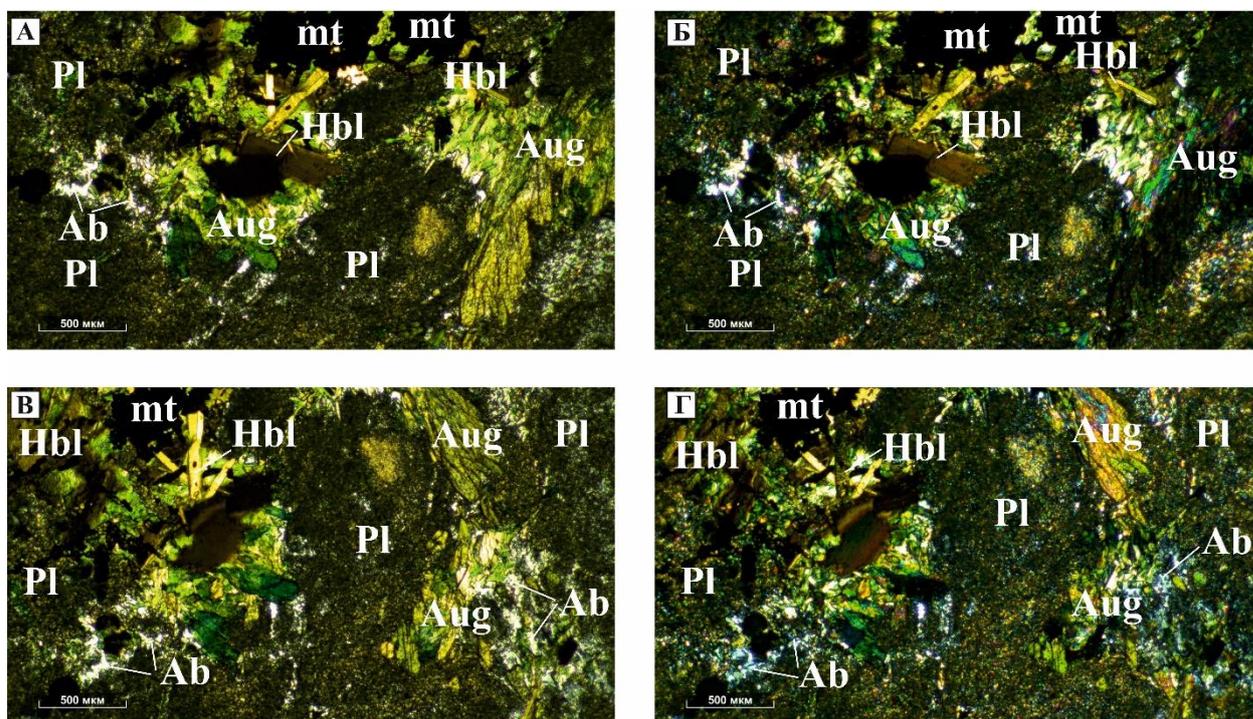


Рисунок 3.1 Фотографии образцов монцогаббро поньинского ( $\mu\nu\delta P$ -Трп) комплекса: А – черно-белое крупнозернистое монцогаббро (обр.13-21); Б – зеленовато-черно-белое средне-крупнозернистое монцогаббро (обр. М-07-10);



Условные обозначения минералов: Ab - альбит, Aug - авгит, Pl - плагиоклаз, Hbl - роговая обманка, mt - магнетит

Рисунок 3.2 Микрофотографии шлифов монцогаббро поньинского ( $\mu\nu\delta P$ -Трп) комплекса Маньхамбовского блока (А, В – с выключенным анализатором; Б, Г – с включенным анализатором) с увеличением  $\times 30$ :

А – Г – «пестроокрашенное» крупнозернистое монцогаббро (обр. 13-21)

Пироксен представлен авгитом светло-зеленого цвета, субпризматической и удлиненно-призматической формы размером от  $0,4-0,6 \times 1,6 - 1,8$  мм до  $1,9-2,2 \times 3,1-3,5$  мм, с высоким рельефом, резкой шагреневой поверхностью, с высокой интерференционной окраской индиго-розового цвета III порядка ( $\Delta = 0,027-0,029$  нм) (рисунок 3.2 В, Г). Спайность по третьей призме (110) с углами  $85-87^\circ$  между трещинами спайности; отдельности по первому и третьему пинакоидам. Углы погасания  $43-52^\circ$ , что типично для авгитов. В зернах пироксена фиксируется плеохроизм, где по оси Nm наблюдается

интерференционная окраска зеленовато-желтого оттенка II порядка, Np – индиго-розового оттенка III порядка, Ng – зеленовато-желтого оттенка II порядка, следовательно, схема абсорбции имеет следующий вид: Nm<Np>Ng. Такая схема абсорбции характерна для авгита [В.Е. Трёгер, 1980]. В породах часто наблюдается зерна потерявшие целостность за счет включения и замещение пироксена амфиболом.

В шлифах, исследованных на сканирующем электронном микроскопе (рисунок 3.3 Б), также фиксируется разновидность пироксена, представленная авгитом. Минерал обладает следующим химическим составом: Na<sub>2</sub>O – 0,9-2,8 %, MgO – 11,1-16,7 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,1-11,0 %, SiO<sub>2</sub> – 47,1-54,2 %, CaO – 9,3-11,8 %, FeO – 12,1-17,5 %, TiO<sub>2</sub> – 0,2-0,8 %, K<sub>2</sub>O – 0,1-0,5 %, MnO – 0,2-0,4 %. Среди примесей отмечается наличие Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с содержанием до 0,2 %, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с концентрацией 0,2-0,3 %, а также Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,2-0,4 % (Приложение 2). По номенклатурной системе пироксенов Винчелла [Винчелл А.Н., Винчелл Г., 1953] исследуемые зерна относятся к группе авгитов с бедным и низким содержанием Ca (рисунок 3.3 Б), что характерно для обстановок внутриплитного магматизма. Кроме того, зафиксированы единичные щелочные пироксены, представленные омфацитом (рисунок 3.3 В) с содержанием Na<sub>2</sub>O – 2,5-2,8 %, MgO – 11,5-12,8 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 8,7-10,0 %, SiO<sub>2</sub> – 47,5-49,1 %, CaO – 9,5-9,7 %, FeO – 14,5-17,0 %, TiO<sub>2</sub> – 0,2-0,3 %, K<sub>2</sub>O – 0,4-0,5 %, MnO – 0,2-0,3 %, примеси представлены Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 0,2 до 0,4 % и V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 0,2 % (приложение 2), что также указывает на анорогенный генезис образования пород [Добрецов Н.Л. и др., 1971].

Амфибол – минерал бурого цвета, чешуйки удлиненно-призматической или неправильной формы размером от 0,1-0,2×0,3-0,4 до 0,4-0,6×0,8-0,9 мм, образуют псевдоморфозы по пироксену (рисунок 3.2 А-Г). Ясный плеохроизм Ng>Nm>Np: по оси Np светло-желтая II порядка, Nm – светло-зеленый II порядка, Ng – светло-синевато-зеленая III порядка. Минерал обладает весьма высоким двупреломлением  $\Delta = 0,027-0,030$  нм, угол погасания 16-28°. Спайность по третьей призме 117-120°. По оптическим диагностическим признакам амфибол соответствует роговой обманке (уралиту) [Лодочников В.Н., 1974]. В некоторых породах отмечается замещение роговой обманки биотитом и пумпеелитом. Электронным микроспектральным энергодисперсионным анализом установлена еще одна разновидность амфибола, представленная К - содержащим паргаситом, где минералы имеют удлиненнопризматическую листовую форму зерна, размером 0,12-0,15×0,06-0,08 мм. К-содержащий паргасит (рисунок 3.4 А), по кристаллохимическим формулам (приложение 2), обладает низким содержанием Ti (0,2-0,3 ф.е), богатым содержанием щелочей (K+Na = 1,1-2,3 ф.е), где содержания калия значительно преобладает над натрием (K/Na = 4,3-9,5 ф.е), а также высокой

магнезиальностью ( $X_{Mg} = 0,79-0,87$ ) и отношением  $Al^{VI}$  к  $Fe^{3+}$  от 1,8 до 23,3 ф.е (рисунок 3.3 Г).

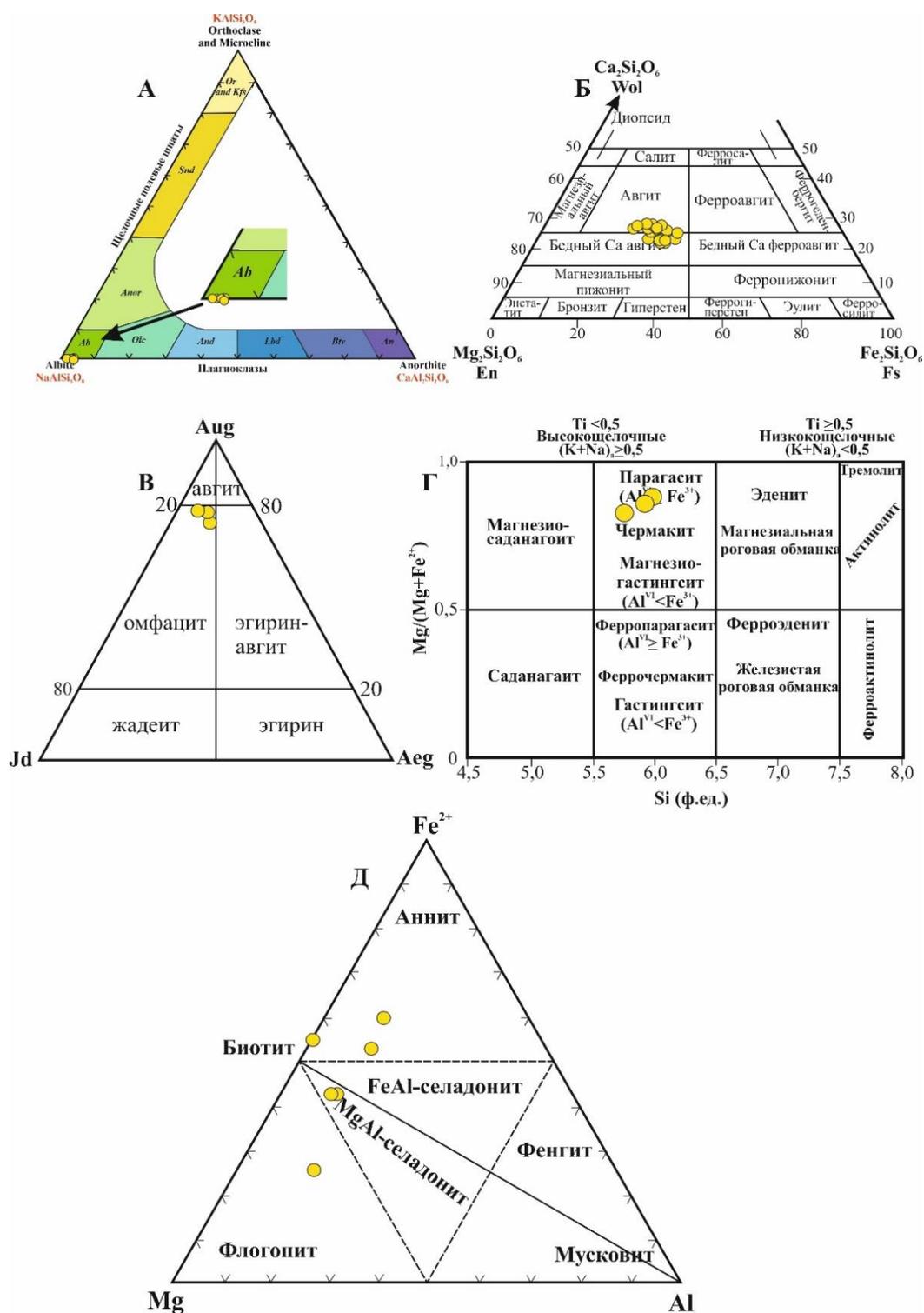
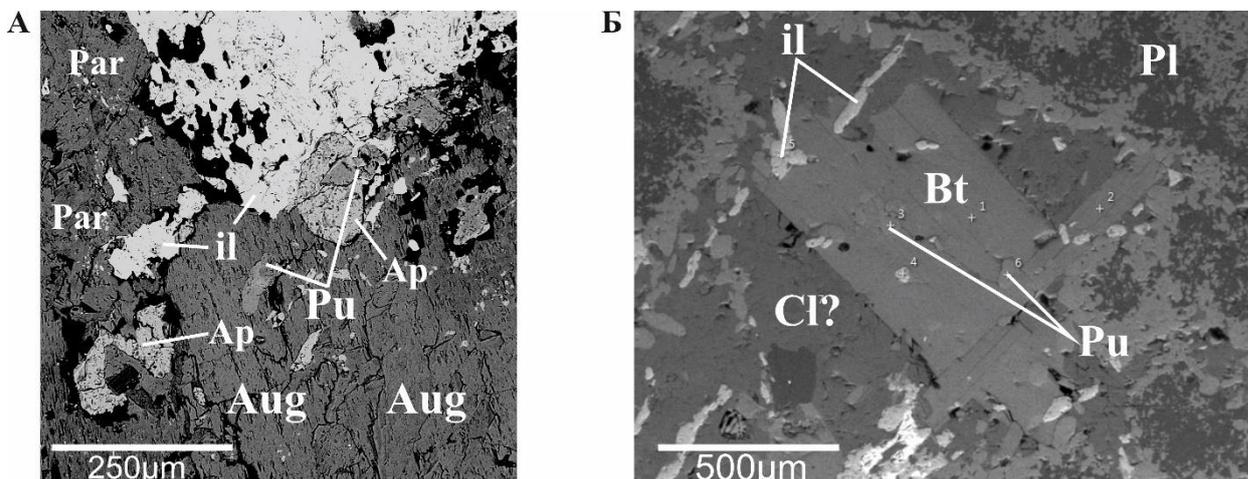


Рисунок 3.3 Классификационные диаграммы минералов из монzogаббро поньинского ( $\mu\nu\delta P$ -Трп) комплекса Маньхамбовского блока: А - Диаграмма Ab-Or-An с фигуративными точками составов плагиоклаза; Б - Диаграмма En-Wol-Fs с фигуративными точками составов пироксенов [В.Е. Трёгер, 1980]; В - Диаграмма Jd-Aug-Aeg с фигуративными точками составов пироксенов [В.Е. Трёгер, 1980]; Г - Классификационная диаграмма амфиболов с фигуративными точками [Leake et al., 1997, 2004]; Д - Диаграмма  $Fe^{2+}$ -Mg-Al с фигуративными точками составов слюды [Н.В. Васильев и др., 2012]

Среди примесей отмечается наличие  $\text{SO}_3$  с содержанием 0,27-0,34 % и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с содержанием 0,34-0,64 %. Такой химический состав минерала, особенно значительное содержание К, характерно для продуктов внутриплитного магматизма.

При помощи сканирующей электронной микроскопий установлены продукты вторичных изменений, представленные пумпеллиитом. Зерна имеют вытянутую неправильную форму размером 0,02-0,04×0,009-0,01 мм, образующиеся на зернах авгита и по периферии ильменитов и апатитов, в некоторых случаях наблюдается замещение биотита (рисунок 3.4 А-Б). Пумпеллиит содержит  $\text{SiO}_2$  – 38,5-39,6 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 21,6-25,3 %,  $\text{FeO}$  – 11,4-13,7 %,  $\text{CaO}$  – 23,3-24,1 %. В некоторых зернах отмечается примесь  $\text{TiO}_2$  до 4,3%,  $\text{MnO}$  до 0,03 % и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 0,3 % (Приложение 2).

Биотит – редкие прямоугольные пластинки размером 0,8-1,0×0,4-0,6 мм, с резким плеохроизмом от светло-коричневого до коричневого ( $\text{Np} < \text{Nm} \sim \text{Ng}$ ), ассоциирует с рудными минералами, амфиболом и плагиоклазом, часто разрушенный, замещается предположительно хлоритом. Биотит содержит следующий спектр химических элементов:  $\text{SiO}_2$  – 34,6-41,6 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 13,4-18,7 %,  $\text{MgO}$  – 7,0-16,4 %,  $\text{K}_2\text{O}$  – 8,3-11,7 %,  $\text{FeO}$  – 12,7-26,5 %,  $\text{TiO}_2$  – 1,3-1,8 %, в некоторых зернах отмечается содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  от 0,6 до 1,3 %, а также примеси  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  от 0,4 до 0,9 %,  $\text{CuO}$  до 0,6 %,  $\text{SO}_3$  до 0,3 % (приложение 2). На диаграмме  $\text{Mg}-\text{Fe}^{2+}-\text{Al}$  [Н.В. Васильев и др., 2012] фигуративные точки слюд имеют весьма широкий разброс, однако большинство точек расположено в области аннита и тяготеют к полю биотита (рисунок 3.3 Д)



**Условные обозначения минералов:** Aug - авгит, Ap - апатит, Bt - биотит, il - ильменит, Par - паргасит, Pu - пумпеллиит, Pl - плагиоклаз, Cl? - хлорит?

Рисунок 3.4 Микрофотографии участков ильфов монцогаббро поньинского ( $\mu\text{vdP}$ -Трп) комплекса Маньхамбовского блока в отраженных электронах:

А- участок ильфа «петсроакрашенного» монцогаббро (обр.13-21); Б - участок ильфа «петсроакрашенного» монцогаббро (обр.13-21) с увеличением 500 мкм;

Акцессорные минералы представлены магнетитом, ильменитом, рутилом, титанитом и апатитом.

Магнетит является самым распространенным среди акцессорных минералов. Зерна неправильной, кубической формы размером 0,2-0,6×0,8-1,2 мм. Иногда располагается по периферии и внутри в виде включения в апатите. Содержание FeO<sub>общ</sub> достигает 94 % (Приложение 2).

Ильменит имеет неправильную «рванную» форму зерен размером 0,25-1,0×0,4-1,6 мм, в некоторых зернах отмечается оторочка рутила. Часто ассоциирует с апатитом, рутилом и магнетитом. Внутри зерен прослеживаются пустоты и включения породообразующих минералов. Ильменит содержит TiO<sub>2</sub> от 39,7 до 51,3 %, FeO – 37,7-50,6 %, среди примесей отмечается MnO – 1,1-2,0 %, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,4-0,7 % и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,5-4,2 % (Приложение 2).

Рутил представлен зернами изометричной и игольчатой формы размером 0,02-0,6×0,04-0,8 мм. Зерна как правило встречаются по периферии ильменита в виде оторочки, а также образуют зерна в сочетании с другими минералами титана. Содержание TiO<sub>2</sub> в минерале варьирует от 98,1 до 99,3 %, среди примесей отмечается содержание FeO – 0,5-1,1 % и V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,8-0,96 % (Приложение 2).

Титанит обладает схожими характеристиками с ильменитом, также обладает неправильной формой размером 0,5-1,1×0,6-1,3 мм, для зерен характерен «рванный» тип контакта с другими минералами, внутри отмечается наличие пустот и включений, представленных породообразующими и вторичными минералами. Содержание CaO в минерале составляет от 18,8 до 28,4 %, TiO<sub>2</sub> – 23,8-41,0 %, SiO<sub>2</sub> – 21,3-38,9 %. Практически во всех зернах титанита отмечается содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 0,3 до 1,4 %, FeO – 0,6-15,1 %, Na<sub>2</sub>O – 0,2-0,6 %, редко фиксируется концентрация MnO до 0,5 %, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,5-0,6 %, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,8-1,1 % и Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 0,2 %.

Апатит представлен зернами призматической, удлиненной и изометричной формы размером 0,06-1,4×0,1-1,8 мм. Наблюдается как в ассоциации с ильменитом, титанитом, рутилом, так в виде самостоятельных выделений. Крупные зерна, как правило трещиноватые, внутри и по периферии апатита фиксируются включения вторичных минералов, представленных пумпеллиитом. По результатам электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа установлено содержание CaO в диапазоне от 48,1 до 63,9 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 34,5-42,6 %, концентрация F варьирует от 0,9 до 3,1 %, встречаются единичные зерна фторапатита, где содержание F достигает 5 %. Среди примесей отмечается Na<sub>2</sub>O – 0,2-4,6 %, K<sub>2</sub>O – 0,2-0,7 %, FeO – 0,2-0,6 % и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,2-1,5 %.

*Долериты* представленными породами от зеленовато-черного до черного, цвета тонкозернистой и скрытокристаллической структуры и массивной текстуры с характерным раковистым изломом (рисунок 3.5 А-В). Микроструктура долеритовая, гипидиоморфнозернистая и редкопорфировая. Для долеритов, развитых в непосредственной близости с разрывными нарушениями характерна полосчатая текстура, где фиксируется субпараллельное чередование «слоек» коротко-длиннопризматических лейстов плагиоклаза с чешуйками амфибола игольчатой формы (рисунок 3.6 А-Б). Минеральный состав: плагиоклаз – 40-80 %, отмечаются слабо пелитизированные ксеноморфные к плагиоклазу зерна полевого шпата, содержание которого составляет 1-3 % от модального состава породы, амфибол (10-15 %), слюды от 1-3 до 10-15 %, редко кварц 5-10 %. Среди вторичных минералов отмечается наличие эпидота и актинолита, последний содержится в малых телах и дайках, развитых вблизи тектонических нарушений. Рудные и аксессуарные минералы представлены: магнетитом, апатитом, ильменитом, муассанитом, сфеном, рутилом и цирконом.

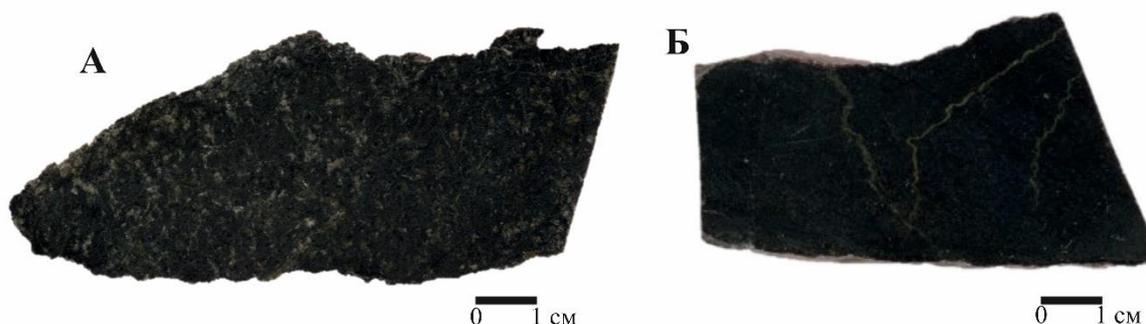


Рисунок 3.5 Фотографии образцов долеритов поньинского (*μνδP-Три*) комплекса: А – бело-зелено-черный тонкозернистый долерит (обр.13-299-1); Б – зеленовато-черный скрытокристаллический долерит (обр. 13-299);

Плагиоклаз представлен олигоклазом ( $An_{14-30}$ ), редко андезином ( $An_{31-45}$ ) удлиненной таблитчатой и призматической формы лейстов размером от  $0,08-0,09 \times 0,3-0,4$  мм до  $0,21-0,4 \times 1,0-1,6$  мм. Наивысшая интерференционная окраска от серого до бледно-желтого I порядка ( $\Delta = 0,007-0,009$  нм). В зоне влияния тектонических нарушений наблюдаются следы деформаций – смятые зерна плагиоклаза, деформационные двойники, полисинтетические двойники редки, часть зерен потеряла первоначальную удлиненно-призматическую форму, встречаются разрушение зерен до тонкозернистого материала. При этом короткопризматические минералы плагиоклаза, размером от  $0,02-0,07 \times 0,3-0,4$  мм, формируют цепочки в виде «слоек» (рисунок 3.6 А-Б), которые в свою очередь чередуются со «слоями» амфибол-биотитовой массы. Большинство «слоек» имеют

субпараллельное ориентирование. Внутри плагиоклаза (олигоклаза) наблюдается трещиноватость, которая заполнена темноцветными минералами.

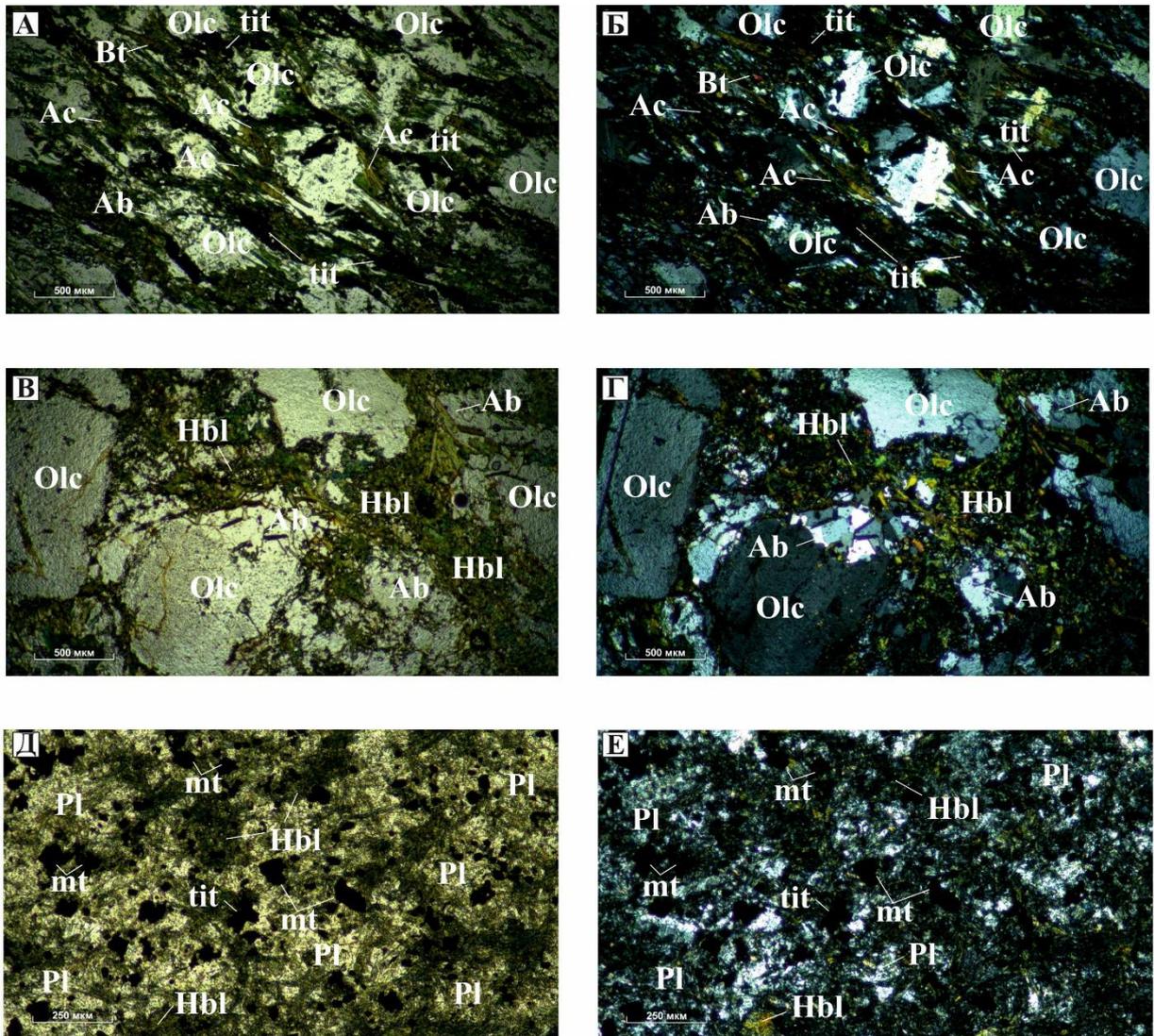
При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа в долеритах диагностированы три разновидности плагиоклаза, представленные альбитом, олигоклазом и андезином. В альбитах содержание  $\text{Na}_2\text{O}$  варьирует от 2,0 до 11,9 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 14,9-20,6 %,  $\text{SiO}_2$  - 64,0-80,3 %,  $\text{K}_2\text{O}$  - 0,1-0,4 %,  $\text{CaO}$  - 0,1-1,5 %, альбитовая составляющая (Ab) находится в диапазоне от 83,8 до 100, анортитовая молекула (An) не превышает 16,2. Олигоклаз имеет следующий химический состав:  $\text{Na}_2\text{O}$  - 8,9-11,6 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 21,7-25,5 %,  $\text{SiO}_2$  - 60,0-65,0 %,  $\text{K}_2\text{O}$  - 0,1-0,3 %,  $\text{CaO}$  - 2,3-4,3 %, содержание альбитовой составляющей (Ab) варьирует от 79,1 до 88,6, анортитовая молекула (An) изменяется от 11,4 до 20,1. Редкие зерна андезина обладают следующим спектром химических элементов:  $\text{Na}_2\text{O}$  - 8,0 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 25,2 %,  $\text{SiO}_2$  - 60,1 %,  $\text{CaO}$  - 6,2 %, альбитовая составляющая (Ab) - 70,0, анортитовая молекула (An) - 30,0 (Приложение 3, рисунок 3.7 А).

Редкие зерна полевого шпата представлены ортоклазом. Зерна размером 0,03-0,4×0,6-1,2 мм неправильной, реже субпризматической формы, с ясной спайностью, с буроватой пленкой за счет пелитизации. Наивысшая интерференционная окраска - бледно-желтая I порядка ( $\Delta = 0,009$  нм). При диагностике минералов электронным микроспектральным энергодисперсионным анализом установлен следующий химический состав полевого шпата:  $\text{K}_2\text{O}$  - 15,7 %,  $\text{SiO}_2$  - 62,7 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 18,9 %, содержание ортоклазовой молекулы (Or) - 100 (Приложение 3). На диаграмме Ab-Or-An спектр 1479 соответствует также ортоклазу (рисунок 3.7 А).

Амфиболы представлены двумя разновидностями минералов: роговая обманка и актинолит. Первый бурого цвета, линейновытянутой, игольчатой и призматической формы размером от 0,03-0,04×0,1-0,2 мм до 0,05-0,1×0,2-0,4 мм (рисунок 3.6 В-Е). Часто заполняет трещины, образованные в плагиоклазе. Спайность весьма совершенная в 2-х направлениях, угол 120°. Наблюдается ясный плеохроизм:  $\text{Np} < \text{Nm} < \text{Ng}$ : по оси Ng - от бледно-зеленого до светло-желто-зеленого II порядка, Nm - от светло-зеленого до желто-зеленого II порядка, Ng - от оливково-зеленого до сине-зеленого III порядка. Минерал обладает весьма высоким двупреломлением  $\Delta = 0,031-0,036$  нм, угол погасания 25-30°. В некоторых породах отмечается замещение роговой обманки биотитом и пумпеллиитом.

Актинолит, главным образом, зафиксирован в породах, развитых вблизи тектонических зон (рисунок 3.6 А-Б). Минерал представлен игольчатыми, длиннопризматическими чешуйками субпараллельного направления размером 0,03-0,1×0,4-0,9 мм, высокий рельеф, спайность в двух направлениях, угол погасания 65-67°. Наблюдается четкий и ясный плеохроизм:  $\text{Np} < \text{Nm} < \text{Ng}$ , где Np - светло-золотисто-зеленый

II порядка, Nm – светло-зеленый II порядка, Ng – зеленовато-голубой III порядка. Наивысшая интерференционная окраска голубая, индиго III порядка ( $\Delta = 0,025-0,028$  нм).



**Условные обозначения минералов:** Ab - альбит, Ac - актинолит, Bt - биотит, Olc - олигоклаз, Pl - плагиоклаз, Hbl - роговая обманка, mt - магнетит, tit - титанит  
 Рисунок 3.6 Микрофотографии шлифов долеритов поньинского ( $\mu\text{v}\delta\text{P}$ -Трп) комплекса Маньхамбовского блока (А, В, Д – с выключенным анализатором; Б, Г, Е – с включенным анализатором) с увеличением  $\times 30$ : А, Б – зеленовато-черный скрытокристаллический долерит (обр. 13-299); В, Г - бело-зелено-черный тонкозернистый долерит (обр.13-299-1); Д, Е - черный скрытокристаллический долерит (обр. М08-242а)

Электронным микроспектральным энергодисперсионным анализом уточнен химический состав ранее выявленных амфиболов (роговая обманка и ферроактинолит) (рисунок 3.7 А, В, Г), а также диагностированы новые, представленные ферроэденитом, ферропаргаситом, магнезиогастингситом и К-содержащим паргаситом (рисунок 3.7 В).

По кристаллохимическим формулам роговая обманка (приложение 3) обладает повышенным содержанием щелочей ( $\text{K}+\text{Na} = 0,6-0,7$  ф.е), где содержания натрия

преобладает над калием ( $\text{Na}/\text{K} = 5\text{-}6$  ф.е), повышенной магнезиальностью ( $X_{\text{Mg}} = 0,54\text{-}0,55$ ) и отношением  $\text{Al}^{\text{VI}}$  к  $\text{Fe}^{3+}$  от 0,6 до 350 ф.е.

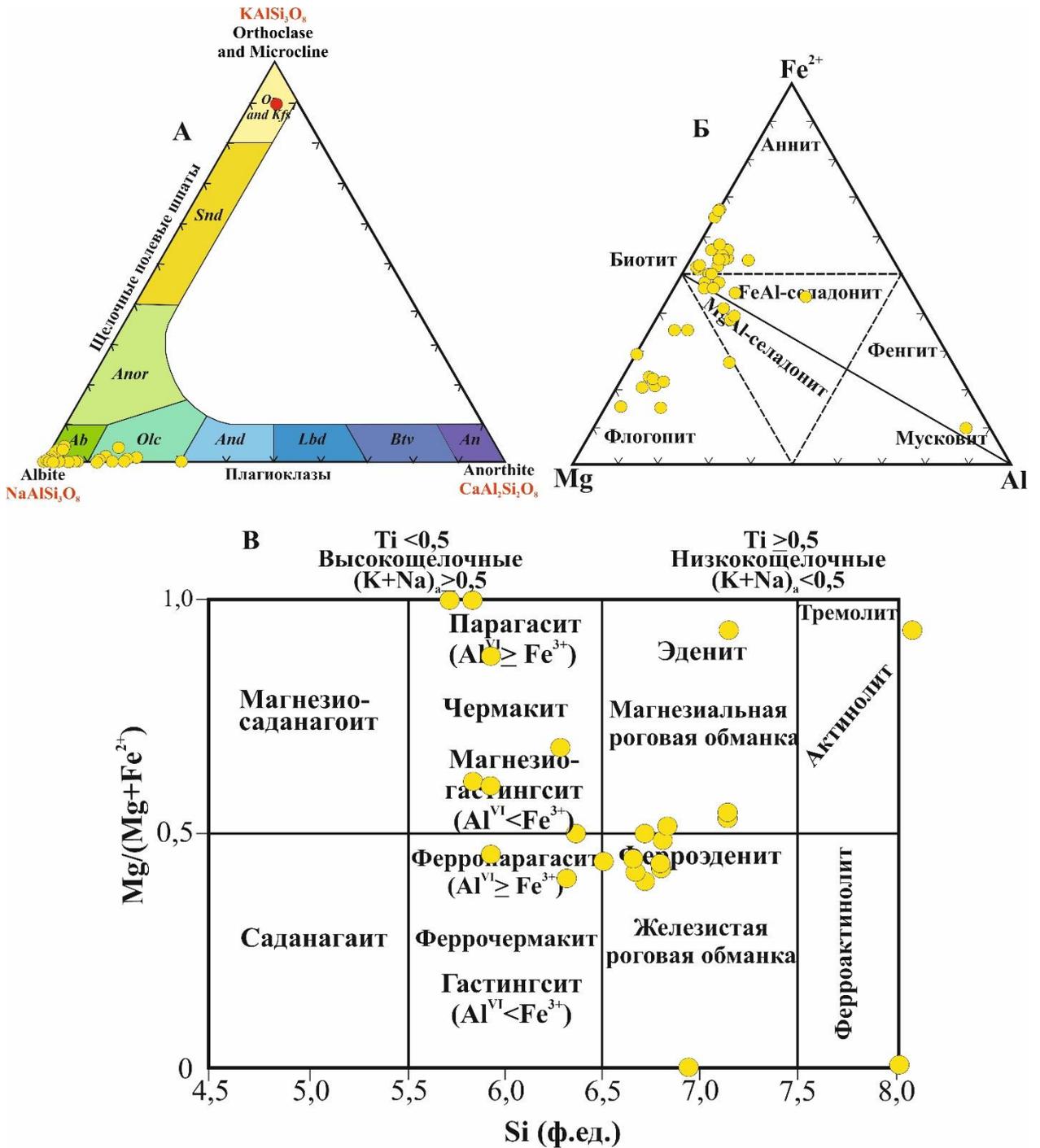


Рисунок 3.7 Классификационные диаграммы минералов из долеритов поньинского ( $\mu\text{vdP}$ -Трп) комплекса Маньхамбовского блока:

А - Диаграмма Ab-Or-An с фигуративными точками составов плагиноклаза;

Б - Диаграмма  $\text{Fe}^{2+}$ -Mg-Al с фигуративными точками составов слюды [Н.В. Васильев и др., 2012];

В - Классификационная диаграмма амфиболов с фигуративными точками [Leake et al., 1997, 2004]

Актинолит (приложение 3) имеет весьма высокую сумму щелочей ( $K+Na = 1,7$  ф.е.), причем за счет высокого содержания натрия, высокой железистостью ( $X_{Fe} = 1,0$ ) отношение  $Al^{VI}$  к  $Fe^{3+}$  составляет 70 ф.е. Для ферроэденита (приложение 3) характерно повышенная концентрация щелочей ( $K+Na = 0,7-1,0$  ф.е) с значительным преобладанием натрия над калием ( $Na/K = 6-9$  ф.е). Минерал обладает повышенной железистостью ( $X_{Fe} = 0,5-0,56$ ) и отношением  $Al^{VI}$  к  $Fe^{3+}$  варьирующим от 0,43 до 0,5. Ферропаргасит обладает весьма низким содержанием Ti (0,02 ф.е.), высоким содержанием щелочей ( $K+Na = 0,7-0,9$  ф.е.), натрия преобладает над калием ( $Na/K = 6-8$  ф.е), повышенным коэффициентом железистости ( $X_{Fe} = 0,54-0,58$ ) и отношением  $Al^{VI}$  к  $Fe^{3+}$ , находящегося в диапазоне от 1 до 50. Магнезиогастингсит (приложение 3) характеризуется низким содержанием Ti (0,03-0,2 ф.е.), высокой суммой щелочей ( $K+Na = 0,8-1,9$  ф.е), во многих минералах преобладает Na составляющая ( $Na/K = 7-13$  ф.е), однако в некоторых зернах (спектр 1608) калий значительно преобладает над натрием ( $K/Na = 18$  ф.е). Фиксируется повышенный коэффициент магнезиальности ( $X_{Mg} = 0,5-0,7$ ) и отношение  $Al^{VI}$  к  $Fe^{3+}$  варьирующим от 0,6 до 7. В породах, развитых вблизи тектонических нарушений, зафиксирован K – паргасит, который характеризуется низким содержанием Ti (0,2-0,03-0,2 ф.е.), высокой концентрацией щелочей ( $K+Na = 1,8-1,9$  ф.е), где калий резко преобладает над натрием ( $K/Na = 18-19$  ф.е), повышенным и высоким коэффициентом магнезиальности ( $X_{Mg} = 0,6-1,0$ ), отношение  $Al^{VI}$  к  $Fe^{3+}$  находится в диапазоне от 0,16 до 7.

По результатам исследования амфиболов, в которых содержится повышенная и высокая концентрация щелочей ( $K+Na = 0,6-1,9$  ф.е), обладающие весьма высоким коэффициентом магнезиальности ( $X_{Mg} = 0,54-1,0$ ), а также высокое содержание K в породах, развитых вблизи тектонических зон указывает на то, что породы формировались во внутриплитной обстановке [Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997].

Слюда, по петрографическим исследованиям, представлена биотитом (рисунок 3.6 А-Б). Минерал темно-коричневого цвета, вытянутые чешуйки, размером от 0,01-0,04×0,06-0,08 мм до 0,1-0,2×0,3-0,5 мм. Образует сростки с актинолитом, развит по периферии плагиоклазов, а также внутри по трещинам. Плеохраирует от светло-желтого до темно-коричневого ( $Np < Nm \sim Ng$ ), где Np – серо-желтая III порядка, Nm – темно-зеленая III порядка, Ng – яблочно-желтый III порядка, наивысшая интерференционная окраска яблочно-желтая ( $\Delta = 0,038-0,040$  нм), угол угасания 45°.

При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа установлен химический состав и уточнены разновидности минералов группы слюд, которые представлены флогопитом, селадонитом и биотитом (рисунок 3.7 Б). Флогопит обладает следующим химическим составом:  $SiO_2 - 31,9-55,4 \%$ ,  $Al_2O_3 - 2,5-25,6 \%$ ,  $MgO -$

11,3-27,4 %,  $K_2O$  – 0,2-0,5 %,  $Na_2O$  – 0,8-4,7 %,  $FeO$  – 9,0-18,8 %,  $TiO_2$  – 0,2 %,  $CaO$  – 0,1-7,8 %, в некоторых зернах зафиксирована примесь  $MnO$  (0,2-1,5 %),  $Cr_2O_3$  (0,2-3,6 %) и  $WO_3$  (1,2 %) (Приложение 3). По кристаллохимическому составу селадонит подразделяется на  $Fe$  и  $Mg$  содержащий (Приложение 3):  $SiO_2$  – 29,5-43,1 %,  $Al_2O_3$  – 15,7-23,1 %,  $MgO$  – 9,0-16,2 %,  $K_2O$  – 0,3-0,6 %,  $Na_2O$  – 2,4-2,7 %,  $FeO$  – 15,7-30,9 %,  $TiO_2$  – 0,2-0,3 %,  $CaO$  – 0,2-10,4 %. Среди примесей отмечаются наличие  $MnO$  (0,4-0,6 %) и  $Cr_2O_3$  (0,3 %). В телах, развитых вблизи тектонических нарушений, встречены такие разновидности слюд, как аннит и фенгит. Первый имеет следующий химический состав:  $SiO_2$  – 21,5-41,0 %,  $Al_2O_3$  – 12,6-23,0 %,  $MgO$  – 7,4-15,4 %,  $K_2O$  – 0,1-9,7 %,  $Na_2O$  – 0,7-3,0 %,  $FeO$  – 20,9-32,9 %,  $TiO_2$  – 0,3-2,3 %,  $CaO$  – 0,2-2,8 %,  $MnO$  – 0,2-0,5 %, примеси  $Cr_2O_3$  (0,2-21,7 %),  $SnO_2$  (0,7 %),  $WO_3$  (1,2 %) и  $BaO$  (0,4 %). Фенгит содержит  $SiO_2$  – 57,7 %,  $Al_2O_3$  – 28,2 %,  $MgO$  – 0,7 %,  $K_2O$  – 0,5 %,  $Na_2O$  – 6,5 %,  $FeO$  – 3,3 %,  $TiO_2$  – 0,4 %,  $CaO$  – 0,6 %,  $Cr_2O_3$  – 0,7 %.

По результатам исследования слюд, необходимо отметить, что в зоне дизъюнктивных нарушений фиксируются слюды с высоким содержанием щелочей, причем с преобладанием  $K$ , что указывает на их внутриплитную природу [Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997].

Кварц – неправильной, изометричной формы, без рельефа, с низким двупреломлением, с серыми цветами интерференции ( $\Delta = 0,09$  нм), размеры от 0,05-0,1×0,08-0,1 до 0,1-0,2×0,2-0,4 мм, с включениями магнетита и ильменита.

В ходе электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа установлены продукты вторичных изменений, представленные пумпеллиитом, которые замещают и образуются по периферии минералов группы слюд. Зерна имеют призматическую вытянутую форму размерами 0,02-0,04×0,009-0,01 мм. Пумпеллиит содержит  $SiO_2$  – 29,1-39,8 %,  $Al_2O_3$  – 18,3-24,9 %,  $FeO$  – 10,9-16,2 %,  $CaO$  – 21,7-29,1 %. В некоторых зернах отмечается примесь  $P_2O_5$  до 9 %,  $Na_2O$  до 0,6 %,  $TiO_2$  до 0,4 %,  $MnO$  до 0,7 %,  $Cr_2O_3$  до 1 %,  $Se_2O_3$  1,5 %,  $WO_3$  до 1,4 % (Приложение 3).

Среди рудных и акцессорных минералов установлены магнетит, ильменит, титанит, рутил, апатит, циркон и эпидот.

Магнетит представлен зернами неправильной и кубической формы размерами 0,05-0,2×0,1-0,3 мм. Минерал расположен внутри или по периферии плагиоклазов и минералов группы слюд. В тектонических зонах образуют цепочки субпараллельные актинолиту. Содержание  $FeO_{общ}$  варьирует от 92,1 до 100 % (Приложение 3), среди примесей отмечается  $CoO$  (0,5-0,7 %) и  $CuO$  (0,9-1,7 %).

Ильменит имеет призматическую, часто «рванную» форму зерен, размером от 0,1-0,2×0,4-0,6 мм до 0,3-0,5×0,8 мм. Минерал ассоциирует с магнетитом, апатитом и рутилом,

последний часто развит по периферии ильменита. Внутри зерен прослеживаются пустоты и включения порообразующих минералов. В породах, развитых вблизи тектонических зон, прослеживаются вытянутые цепочки из мелких зерен. Ильменит содержит  $\text{TiO}_2$  от 16,6 до 53,1 %,  $\text{FeO}$  – 27,7-81,7 %, среди постоянных примесей отмечается  $\text{MnO}$  – 0,3-3,9 %,  $\text{V}_2\text{O}_3$  – 0,4-1,1 % и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 0,3-6,0 % (Приложение 3).

Рутил обладает столбчатой и игольчатой формой, иногда образует оторочку по периферии ильменита. Размер зерен изменяется от  $0,02-0,1 \times 0,04-0,3$  до  $0,1 \times 0,3-0,4$  мм. Содержание  $\text{TiO}_2$  в минерале варьирует от 64,2 до 98,8 %, среди постоянных примесей отмечается содержание  $\text{FeO}$  – 0,8-34,3 % и  $\text{V}_2\text{O}_3$  0,8-0,98 % (Приложение 3).

Титанит встречен в породах, развитых только вблизи тектонических зон. Встречены единичные очень мелкие зерна неправильной и изометричной формы размером  $0,06-0,09 \times 0,9-0,1$  мм, часто минералы титанита образуют вытянутые цепочки размером до 2 мм. Содержание  $\text{CaO}$  в зернах составляет от 7,8 до 28,3 %,  $\text{TiO}_2$  – 17,8-46,3 %,  $\text{SiO}_2$  – 10,1-35,3 %.

Апатит присутствует во всех долеритах, бесцветный, как правильной шестиугольной и удлиненнопризматической с дипирамидой на концах и шестиугольной формой, так и неправильной изометричной удлиненной формы. Размеры зерен варьируют от  $0,09-0,1 \times 0,2-0,3$  мм до  $0,2-0,4$  мм. Содержание  $\text{CaO}$  составляет от 48,9 до 54,1 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 36,5-42,1 %, концентрация F варьирует от 0,5 до 4,5 %.

Циркон – бесцветный, с высоким рельефом, удлиненно-призматической формы размером до  $0,1-0,2$  мм.

В породах, развитых вблизи дизъюнктивных нарушений при помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа установлен алланит, а также впервые зафиксированы такие минералы как халькопирит, планшеит, галенит и аурипигмент.

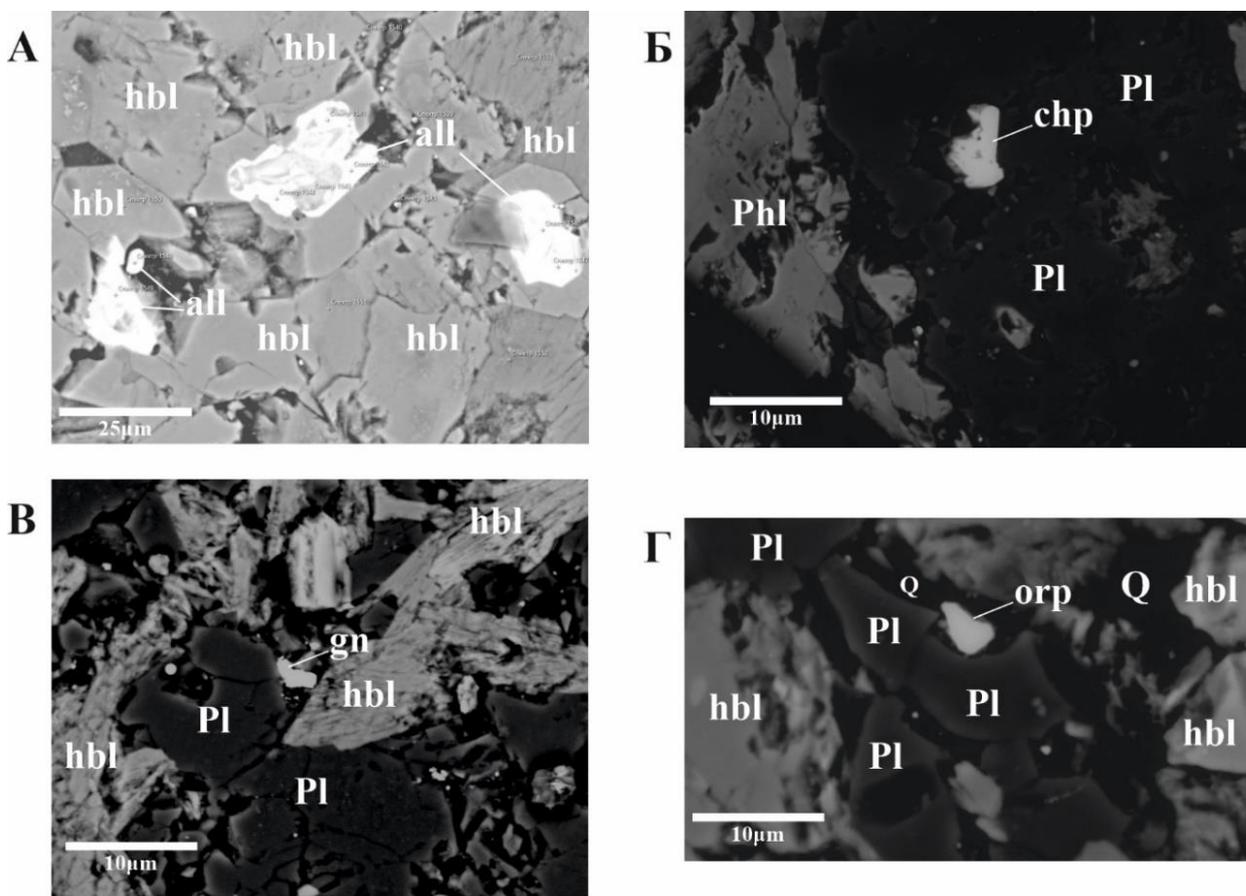
Алланит обладает призматической формой с округлыми и «оплавленными» краями размером  $0,01-0,02 \times 0,015-0,02$  мм (рисунок 3.8 А). Минерал зафиксирован в трещинах, пустотах и межзерновом пространстве. При детальном исследовании на электронном сканирующем микроскопе установлен следующий химический состав алланита:  $\text{CaO}$  – 14,4-22,7 %,  $\text{CeO}_2$  – 0,5-7,4 %,  $\text{La}_2\text{O}_3$  – 1,6-3,6 %,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  – 1,8-3,0 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 20,2-24,9 %,  $\text{FeO}$  – 12,3-14,4 %,  $\text{SiO}_2$  – 35,8-39,4 %. Среди редкоземельных элементов в некоторых минералах встречаются  $\text{Pr}_2\text{O}_3$  с концентрацией 0,9 %,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  – 0,8 %,  $\text{Ir}_2\text{O}$  – 1,5 %. В единичных зернах отмечена примесь  $\text{P}_2\text{O}_5$  с содержанием 0,5 % и  $\text{Ag}_2\text{O}$  с концентрацией 0,3 %.

Минералы меди представлены халькопиритом и планшеитом. Халькопирит представлен зернами размером менее 0,1 мм неправильной формы с округлыми и оплавленными краями в виде включений в лейстах плагиоклаза (рисунок 3.8 Б). Минерал

обладает содержанием  $\text{CuO}$  в диапазоне от 23,3 до 27,4 %,  $\text{FeO}$  – 23,0-25,4 %,  $\text{SO}_3$  – 43,5-49,8 %. Планшеит – вторичный силикат меди. Встречены единичные зерна призматической формой размером 0,01 мм. Минералы наблюдаются в виде включений в лейстах плагиоклаза, которые имеют следующий химический состав:  $\text{CuO}$  – 45,3 %,  $\text{SiO}_2$  – 47,0 %.

Галенит зафиксирован в межзерновом пространстве между лейстами плагиоклаза и чешуйками роговой обманки (рисунок 3.8 В). Минерал имеет неправильную вытянутую форму размером до 0,07 мм. Содержание  $\text{PbO}$  составляет порядка 70,5 %, тогда как содержание  $\text{SO}_3$  не превышает 29,5 %.

Среди сростков кварца в виде включения установлены сульфиды мышьяка, представленный аурипигментом. Минералы обладают неправильной формой с округлыми краями размером до 0,08-0,09 мм (рисунок 3.8 Г). Содержание  $\text{As}_2\text{O}_3$  составляет 44,6 %,  $\text{SO}_3$  – 43,9 %.



**Условные обозначения:** *hbl* - роговая обманка, *Pl* - плагиоклаз, *Q* - кварц, *Phl* - флогопит, *all* - алланит, *chp* - халькопирит, *gn* - галенит, *orp* - аурипигмент

Рисунок 3.8 Микрофотографии участков шлифов долеритов поньинского ( $\mu\text{vдP-Трп}$ ) комплекса Маньхамбовского блока в отраженных электронах: А – участок шлифа долерита (обр.13-299-1) с зернами алланита; Б – участок шлифа долерита (обр.13-299) с зерном халькопирита; В – участок шлифа долерита (обр.13-299-1) с зерном галенита; Г – участок шлифа долерита (обр.13-299) с зерном аурипигмента

*Петрохимическая характеристика*

На классификационной петрохимической диаграммы  $\text{SiO}_2\text{-(Na}_2\text{O+K}_2\text{O)}$  фигуративные точки магматитов поньинского комплекса соответствуют габбро, монцогаббро, монцогаббродиоритам и монцодиоритам (рисунок 3.9 А).

Основные интрузивные породы комплекса характеризуются широким диапазоном содержания  $\text{SiO}_2$  (45,4-54,1 мас. %) и щелочей от нормально-щелочного ( $\Sigma\text{Na}_2\text{O+K}_2\text{O} - 4,3-4,35$  мас. %) до умеренно-щелочного ряда ( $\Sigma\text{Na}_2\text{O+K}_2\text{O} - 4,7-6,7$  мас. %), повышенным содержанием  $\text{TiO}_2$  (0,8-4,3 мас. %), низкими концентрациями  $\text{MnO}$  (0,1-0,4 мас. %), варьирующими содержаниями  $\text{CaO}$  (3,4-10,5 мас. %),  $\text{MgO}$  (3,8-10,9 мас. %) и  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,2-1,3 мас. %) (Приложение 6).

Интрузивы обладают повышенной железистостью ( $X_{\text{Fe}} = 0,56-0,75$ ), пониженной магниальностью ( $X_{\text{Mg}} = 0,25-0,44$ ), коэффициент агпаитности ( $K_a$ ) находится в диапазоне от 0,32 до 0,79, коэффициент титанистости ( $K_{\text{Ti}}$ ) варьирует от 7,87 до 32,3 (Таблица 3.1). Коэффициент окисленности железа ( $K_{\text{F}}$ ) находится в пределах 0,24-0,5, что указывает на глубинные и средне-глубинные условия формирования [Заварицкий А.Н., 1956].

Большинство исследуемых пород характеризуются как метаглиноземистые ( $A/\text{CNK} = 0,26-95$ ), только в единичных долеритах фиксируется перенасыщенность глиноземом ( $A/\text{CNK} = 1,22$ ) (рисунок 3.9 В). В интрузивах фиксируется резкое преобладание натрия над калием ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,3-8,7$ ), что свидетельствует о принадлежности магматитов К-На серии. Однако в некоторых долеритах, развитых вблизи тектонических зон, наблюдается обратная картина, когда калии резко преобладает над натрием ( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 8,1$ ).

На диаграмме Бородин Л.С. [Бородин Л.С., 1981] (рисунок 3.9 Б) породы основного состава поньинского комплекса подразделяются на три серий: известково-щелочную, где прослеживается главный известково-щелочной тренд, умереннощелочную (субщелочную) и щелочную, соответственно в которой наблюдается щелочно-базальный тренд. На диаграмме  $\text{FeO}^*/\text{MgO} - \text{SiO}_2$  [А. Miyashiro, 1974] (рисунок 3.9 Г) большинство фигуративных точек занимает поле толеитовой серии, либо наблюдаются в смежной зоне с известково-щелочной серией. Согласно классификационной диаграммы AFM [Irvin T.N., Varagar V.R.A, 1971] (рисунок 3.9 Д) основные интрузивы поньинского комплекса относятся к толеитовой серии пород. На петрохимической диаграмме  $\text{TiO}_2\text{-FeO}^*/\text{MgO} - \text{SiO}_2$  (рисунок 3.9 Е) наблюдается неоднозначное положение фигуративных точек, однако большинство из них ложится в область пород, соответствующие толеитовой серией. По содержанию К основные породы поньинского комплекса (рисунок 3.9 Ж) занимают весьма широкий диапазон серий. Однако, большинство фигуративных точек составов пород фиксируются в диапазоне известково-щелочной серий с умеренным содержанием калия.

Таким образом, проанализировав петрохимические характеристики основных пород поньинского комплекса при помощи различных диаграмм, можно сделать вывод о том, что они принадлежат толеитовой серии.

На петрохимических диаграммах Харкера [А. Harker, 1904] (рисунок 3.10) установлены зависимости изменений содержаний некоторых петрогенных оксидов от концентраций  $\text{SiO}_2$ , так с увеличением оксида кремния уменьшается концентрация  $\text{FeO}_{\text{общ}}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Для щелочных ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) элементов фиксируется обратная картина, то есть с увеличением  $\text{SiO}_2$  повышается и концентрация суммы натрия и калия. Для остальных петрогенных оксидов закономерности не выявлены.

Нормативный минеральный состав по CIPW для основных пород поньинского комплекса является следующий: кварц – 3,8 %, плагиоклаз – 50,1 %, ортоклаз – 8,9 %, диопсид – 8,2 %, гиперстен – 11,8 %, ильменит – 4,2 %, магнетит – 9,4 %, апатит – 1,4 %.

#### *Геохимическая характеристика*

Согласно классификации, В. Гольдшмидта (1924) с дополнениями [Требования..., 2021] основные интрузивные породы поньинского комплекса имеют халько-литофильную специализацию. Породы обладают весьма неоднородным и своеобразным геохимическим спектром микроэлементов, в котором есть признаки магматических образований, как областей растяжения, так и областей сжатия.

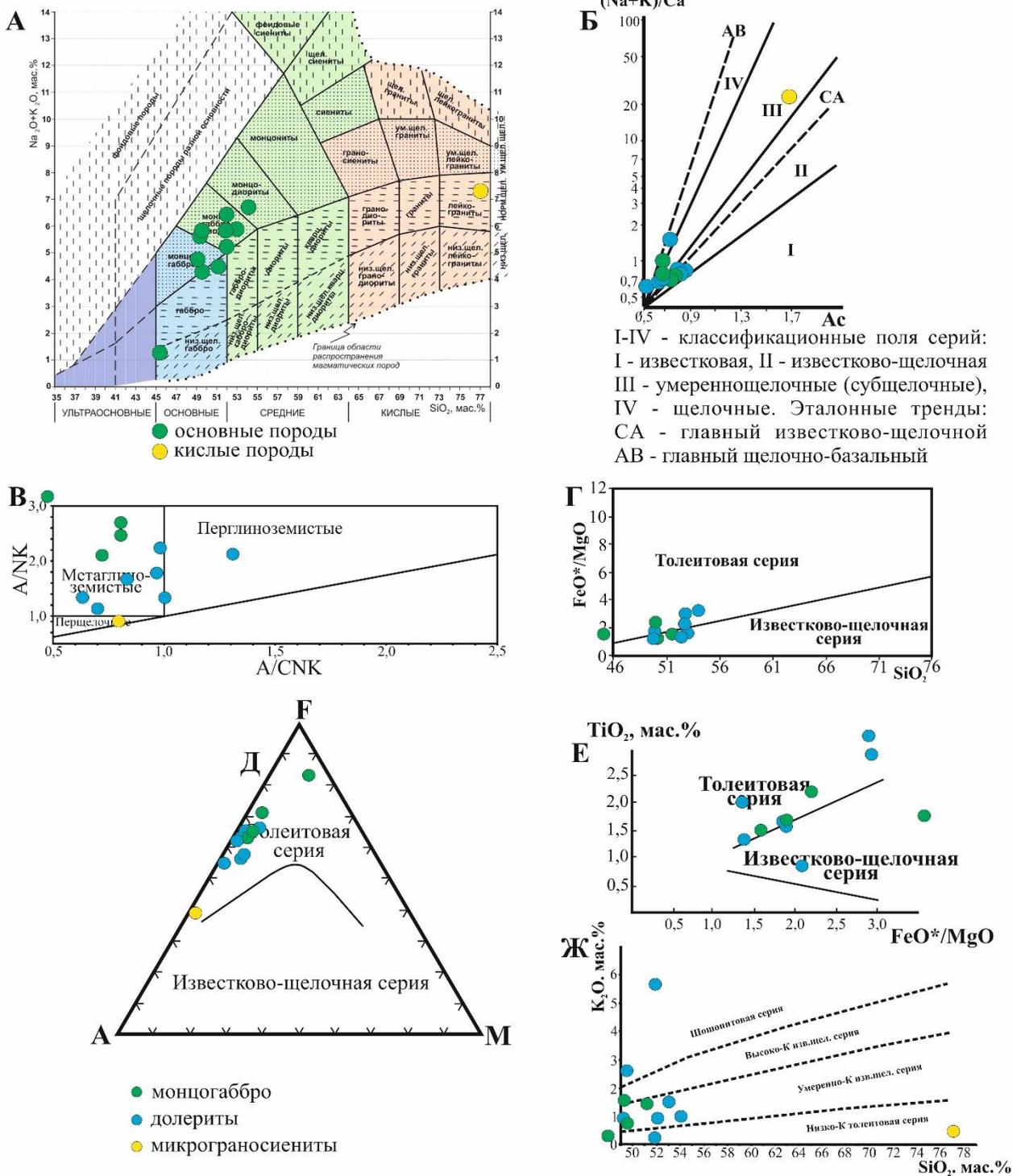
Для различных петрографических разновидностей интрузивных пород характерны следующие геохимические признаки: породы семейства монцогаббро (М-07-210, 12-262-1, 13-21) характеризуются высоким содержанием ( $K_k > 3$ )  $\text{Be}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Bi}$ , в телах, расположенных в непосредственной близости с тектоническими нарушениями наблюдается высокая концентрация ( $K_k > 10$ )  $\text{Pd}$ ,  $\text{Sn}$  и  $\text{Te}$ . Зафиксированы надкларковые концентрации ( $K_k > 1,5$ )  $\text{Nb}$  и  $\text{Pb}$ . Околокларковым содержанием обладает спектр следующих элементов:  $\text{Co}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{Ge}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{In}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Re}$ ,  $\text{Os}$ ,  $\text{Ir}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Te}$ . Дефицит отмечен для  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Pd}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Hf}$ . Широкий разброс в содержаниях наблюдается для  $\text{Li}$ ,  $\text{Sc}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cs}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Th}$  и  $\text{U}$  (Рисунок 3.11 А) (Приложение 7).

Долериты (13-299, 12-232, 13-30 и др.) обладают повышенной концентрацией  $\text{Be}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Cs}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Bi}$ . Надкларковое значение наблюдается для  $\text{Zn}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Pb}$  и  $\text{Th}$ . Нормальное содержание характерно для  $\text{Sc}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{Ge}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{In}$ ,  $\text{Re}$ ,  $\text{Os}$ ,  $\text{Ir}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Hg}$ , тогда как в дефиците находятся  $\text{V}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Zr}$ . Весьма неоднозначное содержание отмечено для  $\text{Li}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Pd}$ ,  $\text{Te}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Hf}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{Tl}$  и  $\text{U}$ . В долеритах, тела которых расположены вблизи дизъюнктивов северо-западного простирания фиксируется высокая концентрация  $\text{Be}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Pd}$ ,  $\text{Cs}$ ,  $\text{Re}$ ,  $\text{Os}$ ,  $\text{Ir}$ ,  $\text{Bi}$  и повышенные содержания  $\text{Te}$  и  $\text{Au}$  (Рисунок 3.11 А) (Приложение 7).

Таблица 3.1 - Статистические оценки средних содержаний петрогенных компонентов и петрохимических коэффициентов в основных интрузивных породах поньинского комплекса Маньхамбовского блока

<b>Основные породы поньинского комплекса</b>					
<b>Компоненты</b>	<b>Статистические параметры</b>				
	X(n=11)	S	Xmin	Xmax	доверительный интервал
SiO <sub>2</sub>	50,7	2,34	45,48	54,05	49,0-52,3
TiO <sub>2</sub>	2,2	1,03	0,82	4,29	1,4-2,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,6	3,67	5,52	19,80	12,0-17,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,5	1,74	3,93	9,54	5,3-7,8
FeO	5,3	2,22	2,80	10,70	3,7-6,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,6	0,35	0,15	1,26	0,2-0,8
MnO	0,2	0,09	0,12	0,38	0,2-0,3
CaO	6,7	2,11	3,35	10,48	5,2-8,2
MgO	6,0	2,06	3,77	10,89	4,6-7,5
Na <sub>2</sub> O	3,7	1,69	0,71	5,78	2,5-4,9
K <sub>2</sub> O	1,5	1,58	0,13	5,72	0,4-2,6
X <sub>Fe</sub>	0,6	0,06	0,56	0,75	0,6-0,7
X <sub>Mg</sub>	0,4	0,06	0,25	0,44	0,3-0,4
K <sub>a</sub>	0,5	0,14	0,32	0,79	0,4-0,6
K <sub>F</sub>	0,4	0,09	0,24	0,50	0,3-0,4
K <sub>ti</sub>	23,1	6,52	7,87	32,33	18,5-27,6
A/CNK, % мол.к.	0,8	0,24	0,26	1,22	0,6-0,9

Примечание: X – среднее содержание, n- количество проб, S – среднеквадратичное отклонение, X<sub>min</sub>, X<sub>max</sub> – наблюдаемые минимальные и максимальные содержания, X<sub>Fe</sub> – коэффициент железистости, X<sub>Mg</sub> – коэффициент магнезиальности, K<sub>a</sub> – коэффициент алкаитности, K<sub>F</sub> – коэффициент окисленности железа, K<sub>ti</sub> – коэффициент титанистости, A/CNK = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) мол.к, доверительный интервал для генерального среднего с вероятностью 0,95 (среднее значение при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала)



Условные обозначения: **А** - классификационная петрохимическая диаграмма  $SiO_2 - (Na_2O+K_2O)$  [Практическая петрология, 2017г]; **Б** - петрохимическая диаграмма  $(Na+K)/Ca - Ac$  [Бородин Л.С., 1987 г]; **В** - классификационная петрохимическая диаграмма  $A/NK - A/CNK$ , где  $A - Al_2O_3$ ,  $N - Na_2O$ ,  $K - K_2O$ ,  $C - CaO$  (в мол. кол-вах); **Г** - петрохимическая диаграмма  $FeO^*/MgO - SiO_2$  [Miyashiro A., 1974 г]; **Д** - классификационная диаграмма  $A (Na_2O+K_2O) - F (FeO+0,9*Fe_2O_3) - M (MgO)$  [Irvin T.N., Baragar V.R.A., 1971г]; **Е** - петрохимическая диаграмма  $TiO_2 - FeO^*/MgO$  [Miyashiro A., 1974 г]; **Ж** - классификационная петрохимическая диаграмма  $K_2O - SiO_2$  [Paccerillo A., Taylor S.R., 1976 г]

Рисунок 3.9 Классификационные петрохимические диаграммы с точками составов основных и средних интрузивных пород поньинского комплекса Маньхамбовского блока

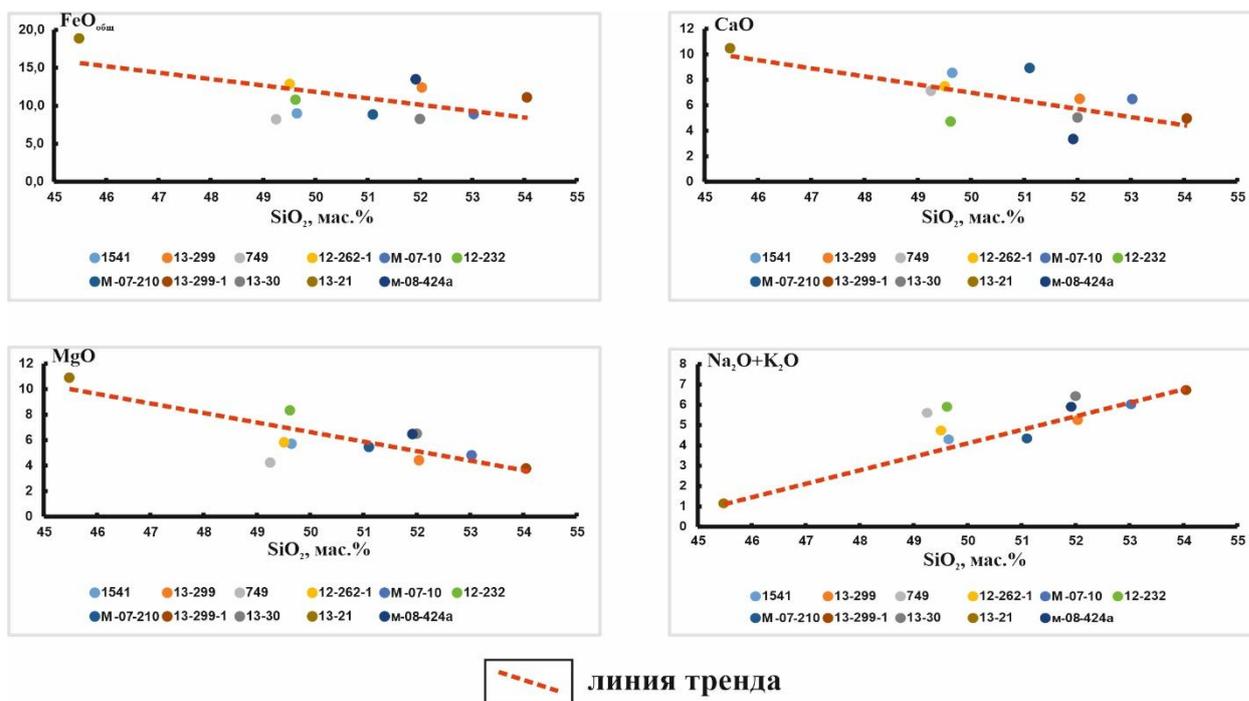


Рисунок 3.10 Вариационные диаграммы Харкера [A. Harker, 1904] с фигуративными точками составов основных пород поньинского комплекса Маньхамбовского блока

Для различных петрографических разновидностей интрузивных пород характерны следующие геохимические признаки: породы семейства монцогаббро (M-07-210, 12-262-1, 13-21) характеризуются высоким содержанием ( $K_k > 3$ ) Be, Ag, Bi, в телах, расположенных в непосредственной близости с тектоническими нарушениями наблюдается высокая концентрация ( $K_k > 10$ ) Pd, Sn и Te. Зафиксированы надкларковые концентрации ( $K_k > 1,5$ ) Nb и Pb. Околокларковым содержанием обладает спектр следующих элементов: Co, Zn, Ga, Ge, Rb, Y, Cd, In, Sn, Sb, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Te. Дефицит отмечен для Cr, Ni, Cu, As, Sr, Zr, Mo, Pd, Ba, Hf. Широкий разброс в содержаниях наблюдается для Li, Sc, Ti, V, Mn, Cs, Ta, W, Th и U (Рисунок 3.11 А) (Приложение 7).

Долериты (13-299, 12-232, 13-30 и др.) обладают повышенной концентрацией Be, Nb, Ag, Sb, Cs, W, Bi. Надкларковое значение наблюдается для Zn, Y, Sn, Pb и Th. Нормальное содержание характерно для Sc, Co, Ga, Ge, Cd, In, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, тогда как в дефиците находятся V, Cr, Ni, Cu, As, Sr, Zr. Весьма неоднозначное содержание отмечено для Li, Ti, Mn, Rb, Mo, Pd, Te, Ba, Hf, Ta, Tl и U. В долеритах, тела которых расположены вблизи дизъюнктивов северо-западного простирания фиксируется высокая концентрация Be, Rb, Pd, Cs, Re, Os, Ir, Bi и повышенные содержания Te и Au (Рисунок 3.11 А) (Приложение 7).

По соотношению Rb/Sr основные породы соответствуют магматическим породам, образованным в обстановке коры переходного типа мощностью 20-30 км. Относительно

высокое соотношение Nb/Y (0,21-0,84) свидетельствует о внутриплитном плюмовом источнике формирования пород [Салихов Д.Н., Холоднов В.В., и др., 2019 г].

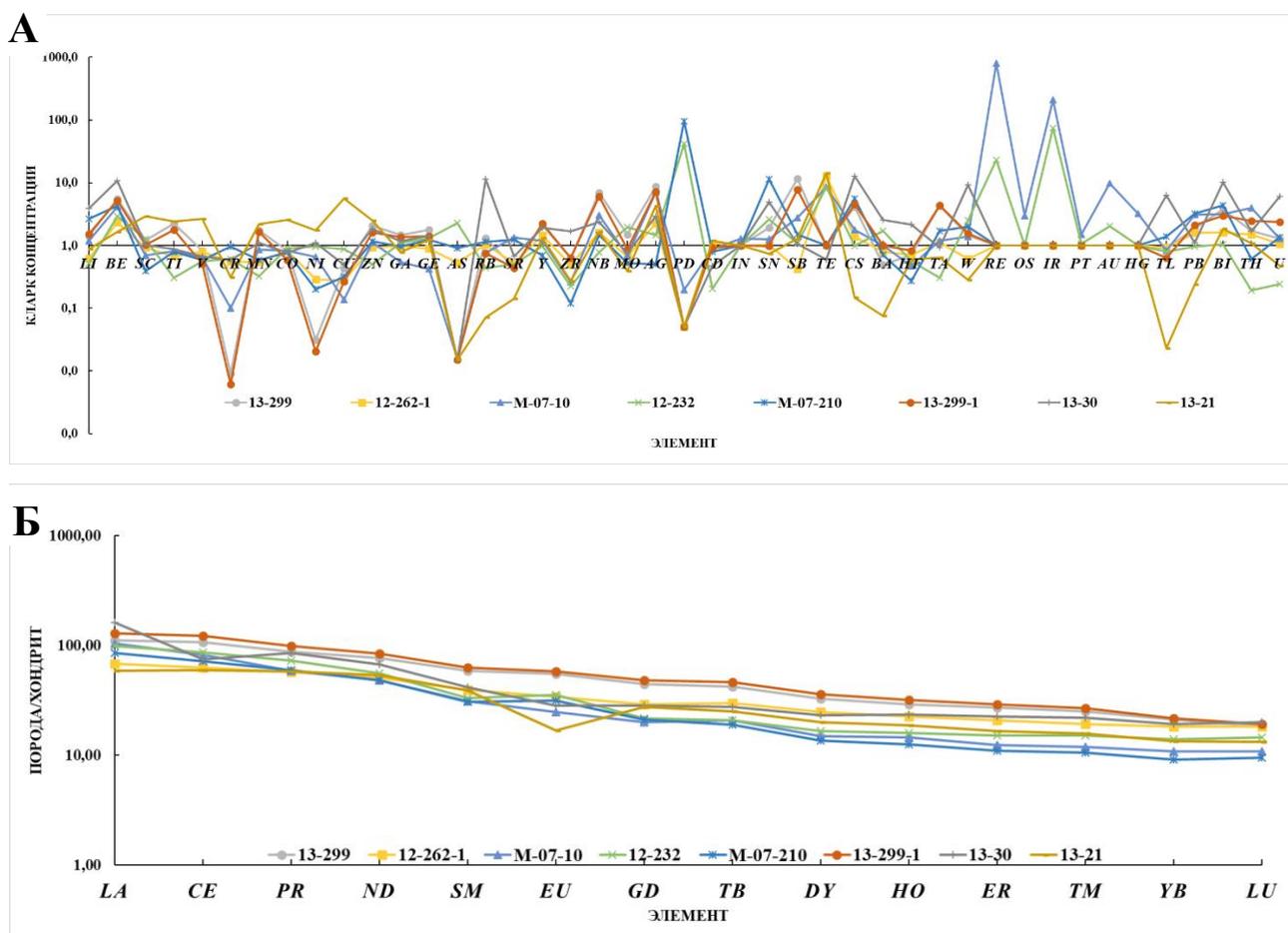


Рисунок. 3.11 Кларки концентрации микроэлементов (А) и распределение РЗЭ (Б) в монцогаббро и долеритах поньинского комплекса

По соотношению Th/U (ср. 4,0) и К/U (ср. 1,4) основные интрузивы поньинского комплекса близки габброидам яляяхинского комплекса (Полярный Урал) и субщелочным габбро грабена Осло (Th/U > 3,5) (К/U < 2,0) [Попова О.М., 2002 г].

По характеру поведения РЗЭ в породах наблюдается отрицательный наклон. Это обусловлено весьма резким преобладанием легких (La-Nd) относительно средних (Sm-Ho) и тяжелых (Er-Lu) РЗЭ (La/Yb = 3,8-9,6) (рисунок 3.11 Б). Породы обладают высоким содержанием РЗЭ (137,6-257,2 г/т). Европейский минимум либо не отмечается, либо проявлен очень слабо (Eu/Eu\* = 0,8–1,0). Однако, в породах, расположенных в непосредственной близости с тектоническими нарушениями, отмечается положительная европиевая аномалия (Eu/Eu\* = 0,8–1,3). Считается, что отрицательная европиевая аномалия, как правило, характерна для верхней континентальной коры, положительная – для нижней коры и верхней мантии [С.Р. Тейлор, С.М. Мак-Леннон, 1988].

Сравнивая химический состав пород поньинского комплекса с магмой N-MORB типа [S. Sun, W. F. McDonough, 1989] установлены следующие закономерности (рисунок 3.12): для пород семейства монцогаббро и долеритов отмечаются высокие концентрации крупноионных (Rb, K, Sr), высокозарядных (Th, U, Ta, Y) и легких РЗЭ. Зафиксировано наличие минимумов по Cs, Ba, Nb, Pb, Zr, Hf и Ti, что сближает их по форме спектра с валовым составом верхней континентальной коры [С.А. Сасим и др., 2012]. Возможно, эта близость связана с процессом контаминации базальтоидного расплава с коровым веществом. Крупноионные некогерентные и легкие редкоземельные элементы, равно как и U и Th значительно преобладают над тяжелыми РЗЭ. Такое поведение крупноионных литофильных элементов (LILE), Th и U, а также низкие концентрации высокозарядных элементов (HFSE) связаны с процессами внутриплитного магматизма [Мартынов Ю. А., 2010].

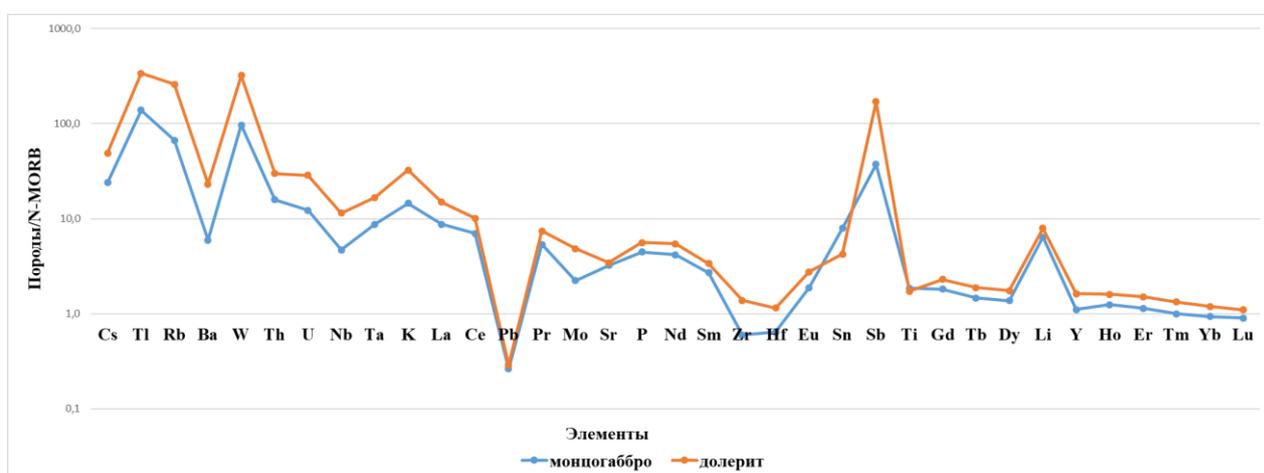


Рисунок. 3.12 Мультикомпонентная спайдер-диаграмма основных пород поньинского комплекса Маньхамбовского блока. N-MORB – средний состав нормального базальта океанических островов [по S. Sun, W. F. McDonough, 1989]

### Геодинамика

Треугольная диаграмма  $MgO - FeO^* - Al_2O_3$  указывает нам на то, что исследуемые породы образовывались в континентальных условиях (рисунок 3.13 А). На диаграмме Т. Х. Пирса  $K_2O - TiO_2 - P_2O_5$  [Pearce T.H. and eat., 1975] практически все точки основных пород попадают в поле континентальных базальтов (рисунок 3.13 Б).

При сравнении основных пород нормального и субщелочного ряда поньинского комплекса с различными геодинамическими обстановками обнаруживается их сходство с континентально-рифтогенными образованиями и отличие от островодужных процессов. Отчетливо это иллюстрирует диаграмма  $(Na_2O+K_2O) - TiO_2$  (рисунок 3.13 В). Вместе с тем, на эпиплатформенный тип континентальных рифтов указывает узкая вариация глиноземистости и К-Na тип щелочности, где Na/K отношение изменяется от 1,3 до 8,7.

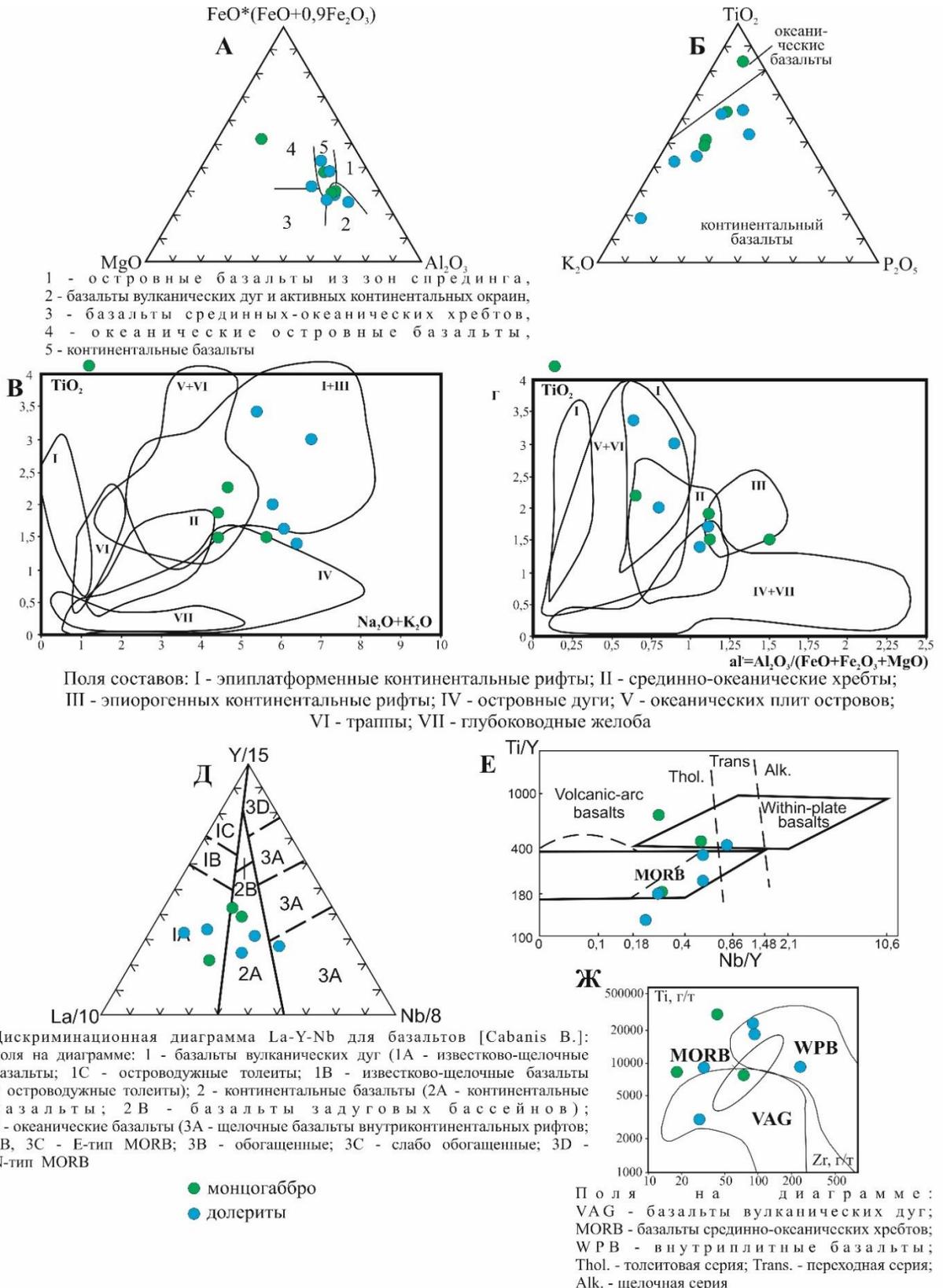
Также внутриплитная природа подтверждается на диаграмме  $al_1 - TiO_2$  (рисунок 3.13 Г), где рой точек охватывает поля как эпиплатформенных континентальных рифтов, так и эпиорогенных континентальных рифтов.

На дискриминационной диаграмме  $La - Y - Nb$  [Cabanis B, Lecolle M., 1989] (рисунок 3.14 Д) фигуративные точки основных интрузивов поньинского комплекса занимают неоднозначную позицию. Однако большинство точек соответствуют обстановкам континентальных базальтов и щелочных базальтов внутриконтинентальных рифтов. Такая же неоднозначная картина наблюдается на геодинамической дискриминационной диаграмме  $Ti/Nb - Nb/Y$  Дж. Пирса [Pearce J.A., 1982] (рисунок 3.13 Е), где породы равномерно занимают поля базальтов срединно-океанических хребтов и внутриплитных базальтов. Еще более сложная картина наблюдается на диаграмме  $Ti - Zr$  Дж. Пирса [Pearce J.A., 1982] (рисунок 3.13 Ж), где породы разбросаны по областям, либо занимают смежные зоны вулканических дуг, срединно-океанических хребтов и внутриконтинентальных обстановок.

Магматические образования основного состава пермско-триасового периода тектоно-магматической активизации (ТМА), развитые в пределах Маньхамбовского блока, на диаграмме  $Th/Yb - Nb/Yb$  [Pearce, J.A., 2008] (рисунок 3.13) наиболее близки к источнику E-MORB типа. Отношение  $Nb/Yb$  в основных породах изменяется от 1,9 до 10,8. Среди процессов, которые могли повлиять на образование пород фиксируется четкая тенденция обогащения внутриплитным (плюмовым) компонентом, что также подтверждается в исследованиях Душина В.А. [Душин В.А., 2017].

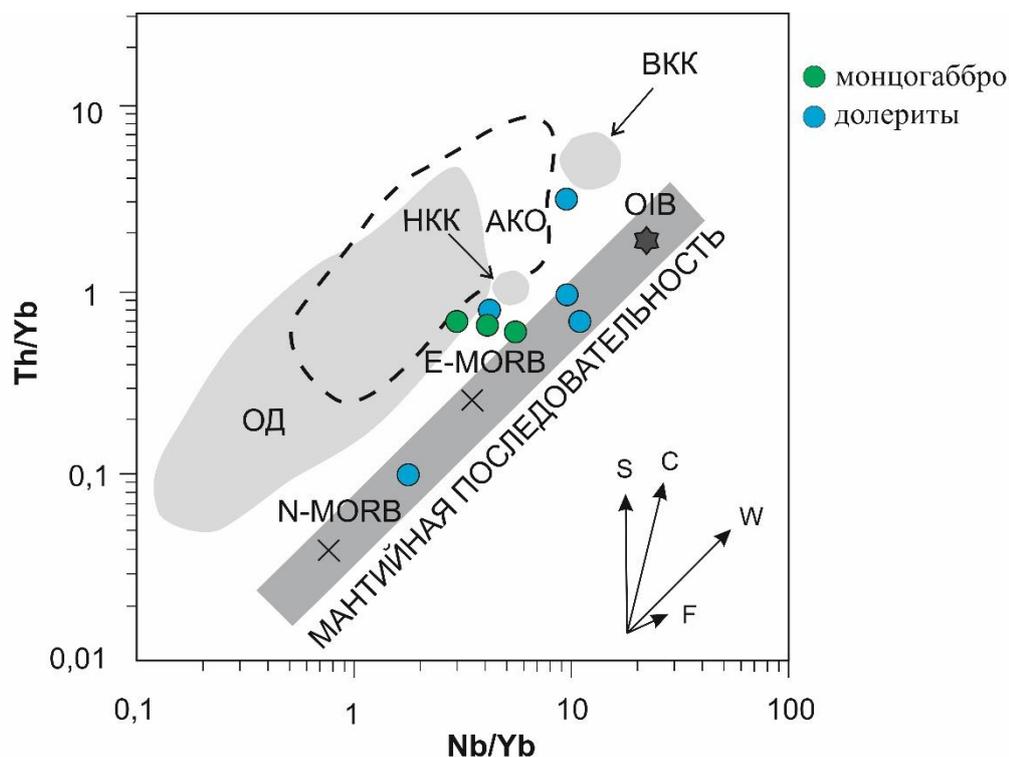
$Th/Yb$  отношение позволяет оценить роль гибридизма и контаминации первичных мантийных (астеносферных) магм веществом литосферы и коры (с возможным смешением разноглубинных расплавов). В поньинском комплексе  $Th/Yb$  отношение увеличивается с ростом содержания  $SiO_2$ : от 0,1-0,7 в монцогаббро до 0,8-3,1 в долеритах. Это свидетельствует об усилении контаминации по мере эволюции в сторону более кремнистых разновидностей. Судя по диаграмме Дж. Пирса (рисунок 3.14), основные породы испытали контаминацию с коровым веществом, тяготея к составам нижней континентальной коры (НКК).

По результатам анализа различных геодинамических диаграмм, геологической позиций, минералого-петрографических, петрохимических и геохимических особенностей геодинамическую обстановку формирования основных пород поньинского комплекса можно определить, как рифтовую (горячих точек) внутриплитную.



Условные обозначения: **А** - дискриминационная диаграмма  $MgO-FeO^*-Al_2O_3$  Т.Х. Пирса [Pearce T.H. and eat., 1975]; **Б** - дискриминационная диаграмма  $K_2O - TiO_2 - P_2O_5$  Т. Х. Пирса [Pearce T.H. and eat., 1975]; **В** - классификационная геодинамическая диаграмма  $(Na_2O+K_2O) - TiO_2$ ; **Г** - классификационная геодинамическая диаграмма  $al - TiO_2$ ; **Д** - дискриминационной диаграмме La-Y-Nb [Cabanis B, Lecolle M., 1989]; **Е** - геодинамическая дискриминационная диаграмма  $Ti/Y-Nb/Y$  Дж. Пирса [Pearce J.A., 1982]; **Ж** - геодинамическая дискриминационная диаграмма  $Ti-Zr$  Дж. Пирса [Pearce J.A., 1982];

Рисунок. 3.13 Классификационные петрохимические диаграммы с точками составов основных интрузивных пород поньинского комплекса Маньхамбовского блока



Векторами отмечено возможное влияние процессов: S – обогащения субдукционным компонентом, C – коровой контаминации, W – обогащения внутриплитным (плюмовым) компонентом, F – фракционной кристаллизации. Точки средних составов нормального базальта срединно-океанических хребтов (N-MORB), обогащенных базальтов срединно-океанических хребтов (E-MORB), базальтов океанических островов (OIB) приведены по [S.S. Sun]; валовый состав верхней континентальной коры (BKK), валовый состав нижней континентальной коры (HKK) по [C.P. Тейлор]; поля составов островных дуг (ОД) и активных континентальных окраин (АКО) приведены по [M. Wilson] адаптированных по [Z. Zhao]

*Рисунок 3.14 Положение основных пород поньинского комплекса Маньхамбовского блока на классификационной диаграмме Th/Yb – Nb/Yb [Pearce, J.A., 2008]*

### Выводы

По структурно-текстурным признакам, минералого-петрографическому составу, петрохимическим и геохимическим характеристикам основные породы поньинского комплекса характеризуются следующими особенностями:

1. Основные породы - это породы от темно-зеленого, черного до бледно-серого цвета гипидиоморфнозернистой, редкопорфировой структуры и массивной, а вблизи тектонических нарушений полосчатой текстуры. Минеральный состав *монцогаббро* представлен парагенезисом авгита с основным плагиоклазом (An<sub>63-74</sub>). Для некоторых зерен плагиоклаза прослеживается зональное строение, где ядра представлены основной разностью (лабрадором, битовнитом), а периферия кислой (альбит). В породах присутствуют поздний амфибол (роговая обманка) и биотит. Среди аксессуарных минералов установлены: магнетит, титанит, ильменит, рутил и апатит. Вторичные минералы –

пумпеллит и эпидот. *Долериты* обладают следующим парагенезисом минералов: удлиненные призматические лейсты плагиоклаза ( $An_{14-45}$ ) с редкими ксеноморфными зернами кварца и пелитизированного ортоклаза. В породах наблюдается поздний амфибол и минералы группы слюд. Среди вторичных установлены эпидот, редко актинолит (вблизи тектонических нарушений). Рудные и акцессорные минералы – магнетит, апатит, ильменит, муассанит, сфен, рутил и циркон.

2. Впервые при помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа в монцогаббро установлен щелочной пироксен – омфациит и K-содержащий паргасит, где отмечается высокое содержание щелочей ( $K+Na = 1,1-2,3$  ф.е.), а содержание калия значительно преобладает над натрием ( $K/Na = 4,3-9,5$  ф.е.). В долеритах, расположенных вблизи тектонических нарушений, также диагностирован K – содержащий паргасит с низким содержанием титана ( $Ti < 0,02-0,2$  ф.е.), высоким коэффициентом магнезиальности ( $X_{Mg} = 0,6-1,0$ ) и высокой концентрацией щелочей ( $K+Na = 1,8-1,9$  ф.е.), где K резко преобладает над Na ( $K/Na = 18-19$  ф.е.). Среди минералов группы слюд диагностирован флогопит, который обладает повышенной магнезиальностью ( $X_{Mg} = 0,55-0,6$ ) и высокой концентрацией щелочей ( $K_2O+Na_2O = 1,0-5,2$  мас. %). Согласно некоторым исследователям (Добрецов Н.Л., 1971; Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997) наличие таких минералов и их химический состав указывает на внутриплитную природу формирования пород.

3. Впервые в долеритах с помощью современных аналитических исследований диагностированы алланит, халькопирит, планшеит, галенит и аурипигмент.

4. Петрохимическим анализом установлено, что основные интрузивы поньинского комплекса характеризуются широким диапазоном содержания  $SiO_2$  (45,4-54,1 мас. %) и щелочей от нормально-щелочного ( $\sum Na_2O+K_2O = 4,3-4,35$  мас. %) до умеренно-щелочного ряда ( $\sum Na_2O+K_2O = 4,7-6,7$  мас. %), повышенным содержанием  $TiO_2$  (0,8-4,3 мас. %), повышенной железистостью ( $X_{Fe} = 0,56-0,75$ ). По соотношению различных пороодообразующих оксидов породы принадлежат толеитовой серии. В интрузивах фиксируется резкое преобладание натрия над калием ( $Na_2O/K_2O = 1,3-8,7$ ), что свидетельствует о принадлежности магматитов K-Na серии. Однако в долеритах, развитых вблизи тектонических зон, наблюдается обратная картина, когда калии резко преобладает над натрием ( $K_2O/Na_2O = 8,1$ ).

5. По характеру поведения РЗЭ в основных породах наблюдается отрицательный наклон ( $La/Yb = 3,8-9,6$ ). Европейский минимум либо не отмечается, либо проявлен очень слабо ( $Eu/Eu^* = 0,8-1,0$ ). Породы обладают высоким содержанием РЗЭ (137,6-257,2 г/т).

6. Геохимически породы семейства монцогаббро характеризуются высоким содержанием Be, Ag, Bi, а в телах, расположенных в непосредственной близости с тектоническими нарушениями наблюдается высокая концентрация ( $K_k > 10$ ) Pd, Sn и Te. Долериты обладают повышенными концентрациями Be, Nb, Ag, Sb, Cs, W, Bi, а в телах, расположенных вблизи разломов фиксируется высокая концентрация Be, Rb, Pd, Cs, Re, Os, Ir, Bi и повышенные содержания Te и Au.

7. Интрузивы обладают повышенным содержанием крупноионных (Rb, K, Sr), высокозарядных (Th, U, Ta, Y) и LREE; высокими соотношениями  $Nb/Y > 0,2$  (0,21-0,84),  $Th/U > 3$  (ср.4,0)  $La/Yb > 3$  (3,8-9,6);  $^{87}Sr/^{86}Sr - 0,71-1,15$ , что соответствует породам внутриплитного магматизма (Попова О.М., 2002).

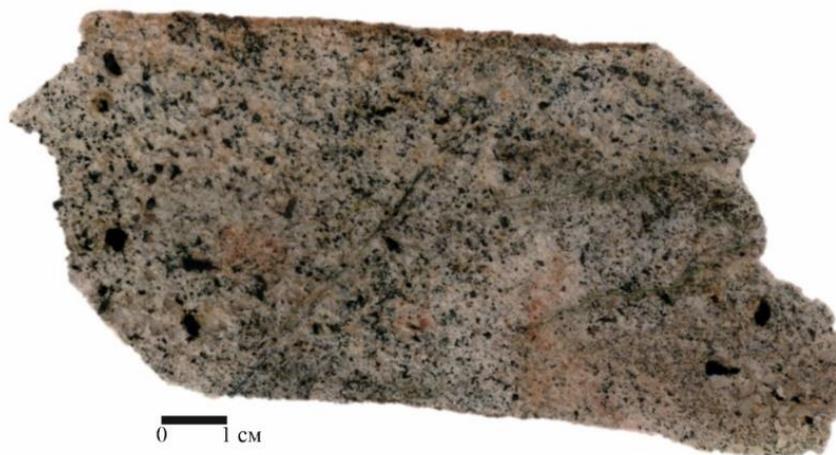
8. На различных классификационных диаграммах геодинамическая обстановка формирования основных пород идентифицируется как рифтовая (горячих точек) внутри-(окрайно)-плитная, а на диаграмме Пирса (Pearce, J.A., 2008) среди процессов, которые могли повлиять на формирование пород, прослеживается четкая тенденция обогащения внутриплитным (плюмовым) компонентом.

9. Рудоносность основных пород обусловлена благородно-редкометалльной специализацией, что подтверждается геохимическими исследованиями.

Таким образом по своим структурно-текстурным особенностям, парагенезису минералов, зональному строению плагиоклазов, химическому составу пироксенов, амфиболов и слюд, петрохимическим и геохимическим характеристикам основные породы поньинского комплекса близки к внутриплитным субщелочным и щелочным габброидам Алдана и пермским биотитовым габбро грабена Осло, а также хорошо коррелируются с субщелочными монцогаббро и долеритами яляяхинского комплекса (Полярный Урал).

### ***Микрограносиениты***

*Микрогранограносиениты* – это породы серые, светло-серые с оранжевым оттенком мелко-среднезернистой структуры и массивной текстурой (рисунок 3.15). Микроструктура неравномернозернистая, гипидиоморфнозернистая, катакластическая. Главными породообразующими минералами являются калиевый полевой шпат (50-80 %), плагиоклаз (15-20 %), участками в виде вкраплений наблюдается кварц (5-10 %), вокруг рудных минералов наблюдается слюда (5-7 %), редко фиксируется амфибол, содержание которого варьирует от 5-7 % (рисунок 3.16). Из вторичных минералов повсеместно встречается стильпномелан (1-10 %), образующий радиально-лучистые скопления, иногда присутствуют эпидот, хлорит и пумпеллит. Рудные и акцессорные минералы (5-10 %) представлены: магнетитом, цирконом, титанитом и рутилом.

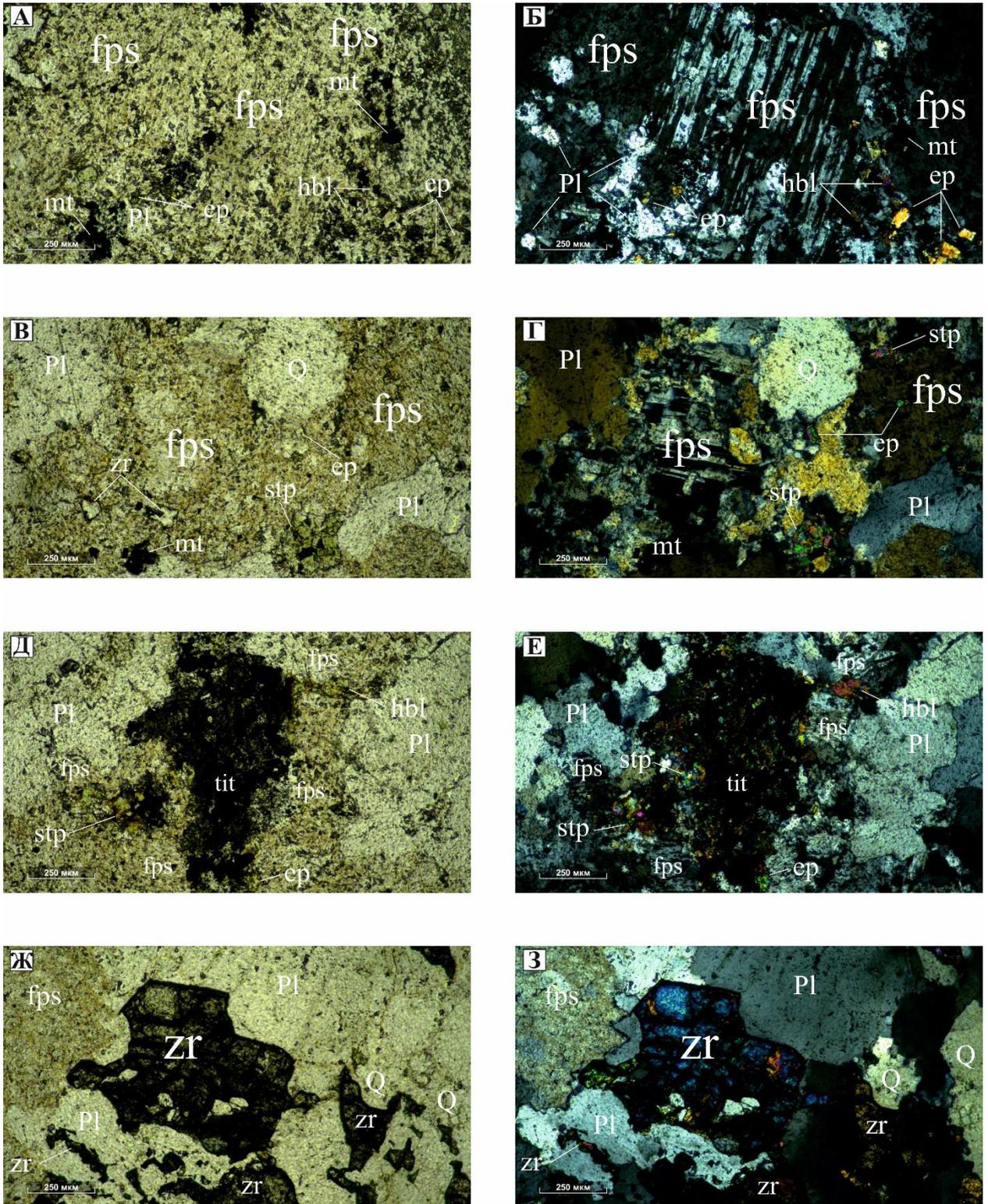


*Рисунок 3.15 Фотография образца светло-оранжевого мелко-среднезернистого микрограносиенита (обр. 14-275) поньинского ( $\mu\nu\delta P$ -Три) комплекса*

Калиевый полевой шпат является главным породообразующим минералом представленный ортоклазом. Он обладает изометричными и таблитчатыми формами размером от  $0,06-0,07 \times 0,04-0,06$  мм до  $0,8-1,2 \times 1,1-1,5$  мм. В некоторых зернах наблюдается ясно выраженная решетчатая структура. По структурным особенностям решетки они диагностируются как жилковатый ортоклаз-пертит (рисунок 3.16 А-Г). Угол погасания варьирует от  $23^\circ$  до  $32^\circ$ . Минералы обладают ясной спайностью  $88-90^\circ$ , со слабым рельефом, трещиноватые, иногда с включениями роговой обманки и эпидота. Наивысшая интерференционная окраска от серой до бледно-желтой I порядка ( $\Delta = 0,005-0,007$  нм).

При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе в микрограносиенитах удалось диагностировать химический состав ортоклаза, в котором содержание  $K_2O$  варьирует от 15,8 до 16,4 %,  $Na_2O$  – 0,24-0,4 %,  $Al_2O_3$  – 18,7-19,2 %,  $SiO_2$  – 63,5-64,5 % (Приложение 4). Альбитовая молекула (Ab) находится в диапазоне от 2,2 до 3,6, ортоклазовая составляющая (Or) 96,4 до 100 (рисунок 3.17 А).

Плагиоклаз представлен лейстами альбита ( $An_{6-10}$ ) размерами от  $0,03-0,06 \times 0,04-0,08$  мм до  $0,1-0,5 \times 0,4-1,2$  мм. Зерна вместе с КПШ слагают основную массу. Минералы, как правило, сильно измененные и деформированные с редкими полисинтетическими (реликтовыми) двойниками, около 5 % зерен плагиоклаза интенсивно сосюритизированы (рисунок 3.16 А-3). В целом, плагиоклазы бесцветны, спайность совершенная по (001), рельеф слабый, интерференционная окраска серая I порядка ( $\Delta = 0,006-0,007$  нм), углы угасания, двойники по альбитовому закону, (010)  $-10^\circ$ , на (001)  $-6^\circ$  соответствующие альбиту. Внутри зерен наблюдаются включения эпидота и циркона.



**Условные обозначения минералов:** *Fsp* - калиевый полевой шпат, *Pl* - плагиоклаз, *hbl* - роговая обманка, *Q* - кварц *stp* - стильномелан, *ep* - эпидот, *mt* - магнетит, *tit* - титанит, *zr* - циркон

Рисунок 3.16 Микрофотографии шлифов микрограносиенитов поньинского ( $\mu\delta P$ -Трп) комплекса Маньхамбовского блока (А, В, Д, Ж – с выключенным анализатором; Б, Г, Е, З – с включенным анализатором) с увеличением  $\times 60$ :

А-З – светло-оранжевый мелко-среднезернистый микрограносиенит (обр. 14-275)

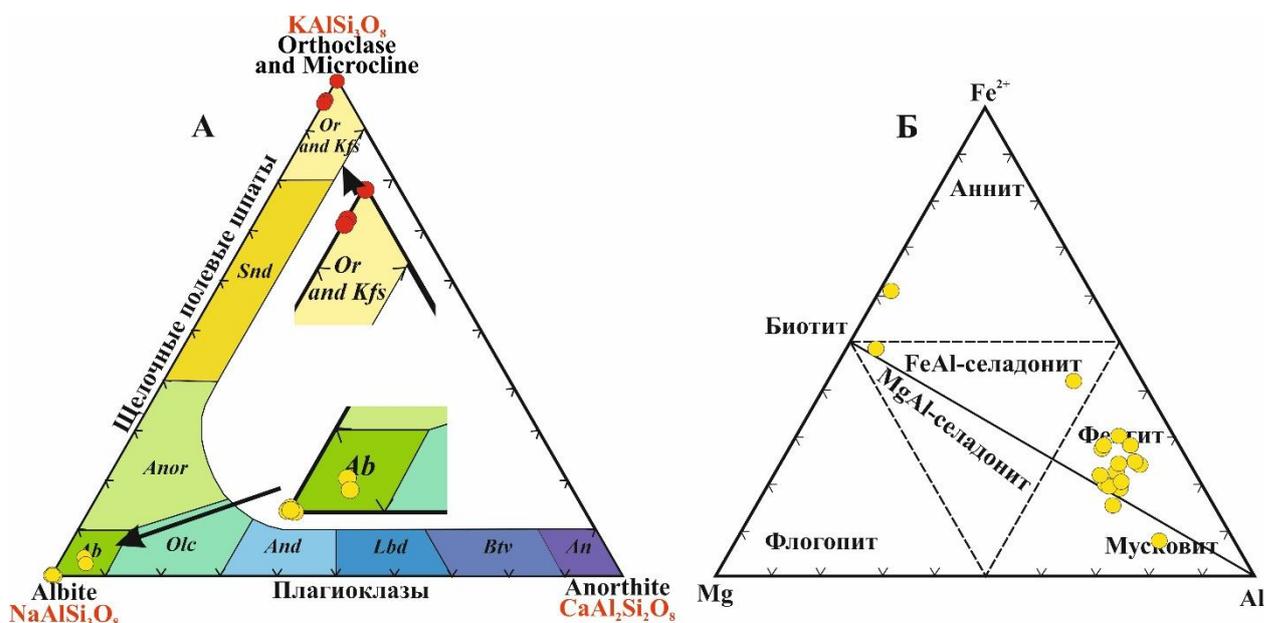


Рисунок 3.17 Классификационные диаграммы минералов из микрограносиенитов поньинского ( $\mu\nu\delta P$ -Трп) комплекса Маньхамбовского блока:

А - Диаграмма  $Ab$ - $Or$ - $An$  с фигуративными точками составов плагиоклаза;

Б - Диаграмма  $Fe^{2+}$ - $Mg$ - $Al$  с фигуративными точками составов слюды [Н.В. Васильев и др., 2012];

В шлифах, исследованных на сканирующем электронном микроскопе, также фиксируется разновидность плагиоклаза, представленная альбитом. Минерал обладает следующим химическим составом:  $Na_2O$  – 10,3-13,4 %,  $Al_2O_3$  – 19,4-20,1 %,  $SiO_2$  – 65,8-69,0 %,  $CaO$  – 0,2-0,4 %, иногда наблюдается  $K_2O$  – 0,1-0,5 % (Приложение 4). Альбитовая составляющая ( $Ab$ ) варьирует от 96,7 до 100, анортитовая молекула ( $An$ ) изменяется от 0,8 до 2,1. В некоторых зернах отмечается наличие ортоклазовой составляющей ( $Or$ ) от 0,6 до 2,4 (Рисунок 3.17 А).

Кварц представлен в виде вкраплений изометричной и неправильной формы размером зерен от 0,01-0,03×0,02-0,04 мм до 0,1-0,3×0,3-0,4 мм. Минерал без рельефа, без спайности, наивысшая интерференционная окраска бледно-желтая I порядка ( $\Delta = 0,009$ -0,010 нм).

Фенгит (слюда) наблюдается в виде удлиненопризматических чешуек размером от 0,03-0,04×0,06-0,08 мм до 0,08-0,1×0,1-0,4 мм. В шлифах бесцветен, не плеохраирует, не обладает псевдоабсорбцией, спайность отсутствует. Наивысшая интерференционная окраска индиго III порядка  $\Delta = 0,035$  нм. Минералы имеют следующий химический состав:  $Na_2O$  – 0,3-5,1 %,  $K_2O$  – 2,6-12,3 %,  $Al_2O_3$  – 19,5-26,6 %,  $SiO_2$  – 50,2-56,7 %,  $FeO$  – 2,0-10,9 %,  $MnO$  – 0,2-0,5 % (Приложение 4). В некоторых зернах отмечается концентрация  $UO_2$  – 0,7 %. На диаграмме  $Mg$ - $Fe^{2+}$ - $Al$  фигуративные точки слюд концентрируются в области фенгита (рисунок 3.17 Б).

Амфибол, как правило, распространён по периферии полевых шпатов (рисунок 3.16 А-Б) в виде чешуек короткопризматической формы с четкими ограничениями размером от 0,1-0,2×0,3-0,4 мм. Минерал соответствует роговой обманке, с резким плеохроизмом, где  $N_p$  – светло-желтая II порядка,  $N_m$  – темно-бурая II порядка,  $N_g$  – коричнево-зеленый II порядка. В сечениях, перпендикулярных призме, наблюдается ясно выраженная спайность по двум направлениям с характерными углами пересечения 56-62°. Наивысшая интерференционная окраска розово-красная II порядка ( $\Delta = 0,034-0,035$  нм).

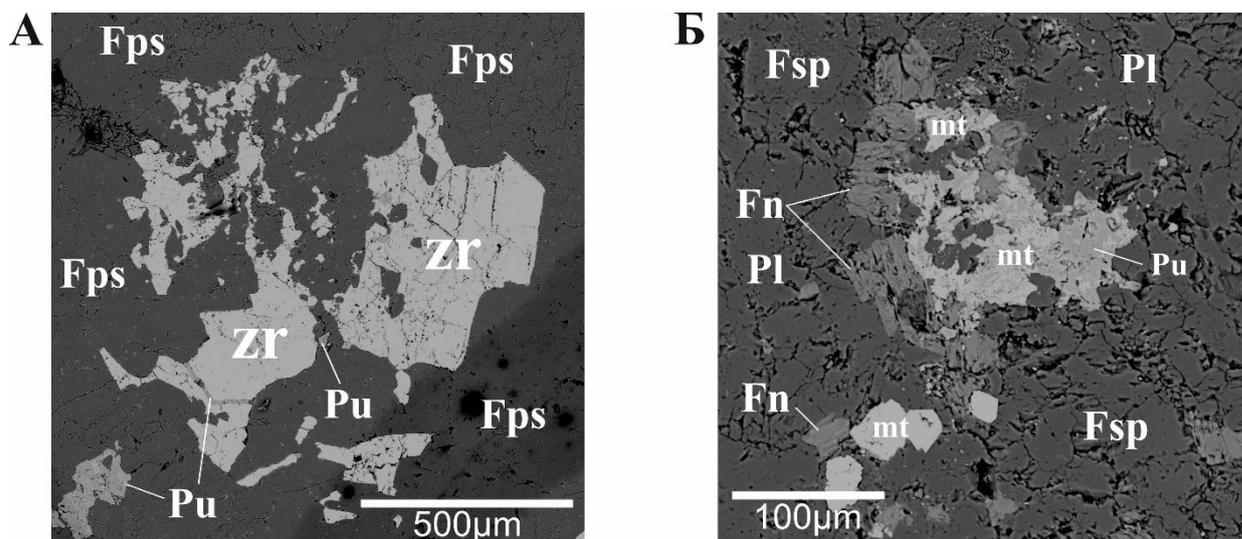
Стильпномелан образует радиально-лучистые скопления, концентрируясь вокруг рудных минералов, в основном, представленных титанитом, по всей видимости, замещая калиевые полевые шпаты (рисунок 3.16 В-Е). Размеры скопления составляют от 0,04-0,06×0,08-0,1 до 0,1-0,3×0,4-0,5 мм. Минерал с четкими границами, малым углом погасанием ( $2V$  не превышает 5°) и ясным плеохроизмом, где  $N_g=N_m>N_p$ : по оси  $N_p$  – светло-желтая II порядка,  $N_m$  – темно-зеленая III порядка,  $N_g$  – темно-зеленая III порядка. Наивысшая интерференционная окраска розово-красная III порядка ( $\Delta = 0,040-0,041$  нм).

При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе удалось установить следующий химический состав:  $K_2O$  – 0,9-3,8 %,  $Al_2O_3$  – 9,9-11,6 %,  $SiO_2$  – 37,0-43,8 %,  $MgO$  – 0,8-2,6 %,  $CaO$  – 0,7-19,0 %,  $TiO_2$  – 21,5 %,  $FeO$  – 4,3-35,1 % (Приложение 4). По содержанию  $FeO$  минерал диагностируется как ферростильпномелан.

При детальном анализе на электронном сканирующем микроскопе удалось диагностировать пумпеллит. Сам минерал обладает вытянутой неправильной формой размером от 0,02-0,03×0,04-0,06 мм до 0,2-0,3×0,4-0,5 мм, который распространен по периферии циркона, магнетита и титанита, замещая фенгит. В некоторых случаях пумпеллит заполняет трещины в зернах циркона (рисунок 3.18 А-Б). Минералы содержат  $SiO_2$  – 34,1-39,8 %,  $Al_2O_3$  – 20,2-24,1 %,  $FeO$  – 12,2-16,5 %,  $CaO$  – 19,6-22,6 %,  $Na_2O$  – 0,3-0,9 %,  $MnO$  – 0,3-1,7 % (Приложение 4). Среди примесей отмечается концентрация  $Sc_2O_3$  – 0,2 %,  $Ce_2O_3$  – 0,6-1,1 %,  $La_2O_3$  – 0,5-0,6 %,  $Nb_2O_5$  – 0,7 %,  $ThO_2$  – 2,6 %.

Рудные и акцессорные минералы (5-10 %) представлены эпидотом, цирконом, магнетитом и титанитом. В ходе исследований впервые установлены алланит и торит.

Эпидот наблюдается в виде включений в калиевых полевых шпатах и плагиоклазах (рисунок 3.16 А-Е). Минерал бесцветный, слабо плеохраирует, неправильной, изометричной формы размером до 0,1 мм, рельеф и шагреневая поверхность резкие, угол погасания 18-22°, из чего следует, что эпидот представлен клиноцоизитом. Наивысшая интерференционная окраска индиго-голубая III порядка ( $\Delta = 0,029-0,030$  нм).



**Условные обозначения минералов:** *Fsp* - КЩШ, *Pl* - плагиоклаз, *Fn* - фенгит, *Pu* - пумпеллит, *zr* - циркон, *mt* - магнетит

Рисунок 3.18 Микрофотографии участков илифов микрограносиенита поньинского ( $\mu\text{vdP-Trp}$ ) комплекса Маньхамбовского блока в отраженных электронах: А- участок илифа микрограносиенита (обр.14-275) с увеличением 500 мкм; Б - участок илифа микрограносиенита (обр. 14-275) с увеличением 100 мкм;

Циркон представлен зернами таблитчатой формы с пирамидальными ограничениями с двух сторон, размером от 0,03-0,04×0,05-0,08 мм до 0,1-0,3×0,4-0,7 мм (рисунок 3.16 Ж-З). В крупных зернах наблюдается трещиноватость, некоторые из трещин заполнены продуктами вторичных изменений – пумпеллитом (рисунок 3.18 А). Минерал бесцветный, не плеохроирует, без абсорбции, с резким рельефом. Наивысшая интерференционная окраска индиго III порядка ( $\Delta = 0,030$  нм). В составе цирконов отмечены следующие химически элементы:  $\text{ZrO}_2$  – 63,3 – 66,4 %,  $\text{SiO}_2$  – 31,6-32,1 %, примеси  $\text{HfO}$  – 1,4-1,5 % (Приложение 4).

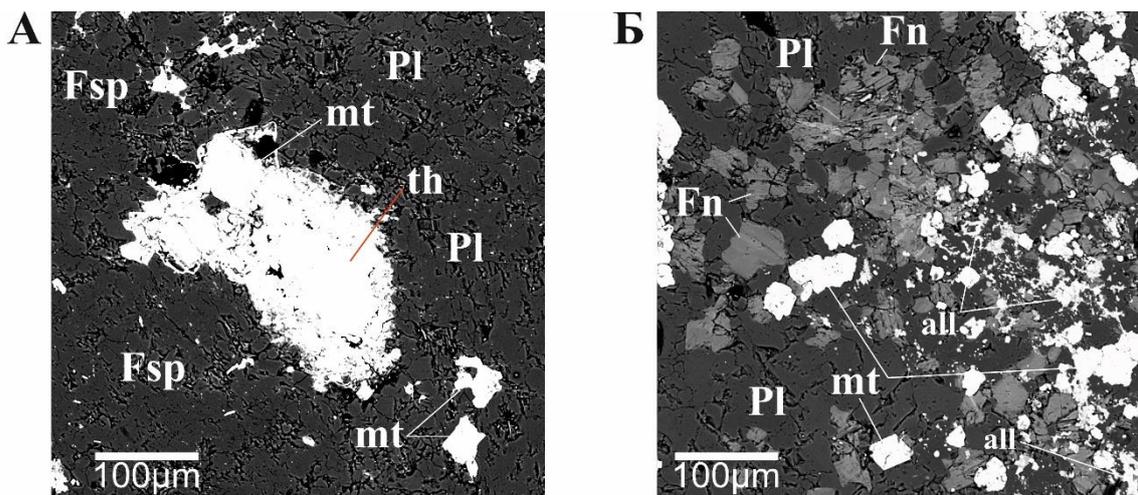
Магнетит является самым распространённым минералом среди рудных. Он имеет квадратную, неправильную и «пятнистую» формы, размером 0,01-0,03×0,02-0,03 мм, сгустки мелких зерен неправильной формы не превышают размеры 0,1 мм (рисунок 3.16 А-Г, рисунок 3.18 Б). Минерал наблюдается в ассоциации или в виде включений с калиевой слюдой – фенгитом. Содержание  $\text{FeO}_{\text{общ}}$  варьирует от 76,5-97,9 %, в некоторых зернах отмечается примесь  $\text{Co}$  – 0,5-0,55 % и  $\text{Ag}$  – 0,5 % (Приложение 4).

Титанит представлен таблитчатой формой размером от 0,05-0,07×0,1-0,3 до 0,1-0,4×0,6-1,2 мм, для зерен характерен «рваный» тип контакта с вмещающими минералами, внутри отмечаются включения, представленные вторичными минералами (рисунок 3.16 Д-Е). Содержание  $\text{CaO}$  составляет от 27,3 до 28,4 %,  $\text{SiO}_2$  – 30,0-31,0 %,  $\text{TiO}_2$  – 31,0-32,7 %

(Приложение 4). Практически во всех зернах отмечается наличие примеси  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  с концентрацией от 1,1 до 1,3 %.

Впервые в микрограносиените диагностирован алланит, который образует цепочки мелких зерен неправильной «рваной» формы размером до 0,1 мм (рисунок 3.19 Б). Содержание аланита в породе не превышает 1-1,5 %. Минералы распространены в ассоциации с магнетитом и фенгитом в виде включений в КППШ и плагиоклазах. Алланит обладает следующим химическим составом:  $\text{CaO}$  – 16,2 %,  $\text{SiO}_2$  – 37,0 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 16,0 %,  $\text{FeO}$  – 16,0 %,  $\text{La}_2\text{O}_3$  – 2,5 %,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  – 4,8 %,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  – 1,4 %,  $\text{Pm}_2\text{O}_3$  – 1,2 % (Приложение 4).

При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе впервые в микрограносиенитах установлен силикат тория, представленный торитом. Содержание в микрограносиените составляет 1-2 %. Минералы овальной вытянутой формы размером 0,1-0,15×0,2-0,3 мм, ассоциирующие с магнетитом. По периферии крупных зерен развита бурая «рубашка», представленная титанитом (рисунок 3.19 А). Торит обладает следующим химическим составом:  $\text{ThO}_2$  – 77,4-78,0 %,  $\text{SiO}_2$  – 9,3-11,9 % (Приложение 4).



**Условные обозначения минералов:** *Fsp* - КППШ, *Pl* - плагиоклаз, *Fn* - фенгит, *mt* - магнетит, *th* - торит, *all* - алланит

Рисунок 3.19 Микрофотографии участков илифов микрограносиенита поньинского ( $\mu\text{вдР-Три}$ ) комплекса Маньхамбовского блока в отраженных электронах: А- участок илифа микрограносиенита (обр. 14-275) с зерном торита и «рубашкой» титанита; Б - участок илифа микрограносиенита (обр. 14-275) с цепочечной вкрапленностью зерен алланита неправильной формы

#### Петрохимическая характеристика

Микрограносиениты поньинского комплекса по содержанию кремнезема и суммы щелочей на петрохимической TAS ( $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ ) диаграмме соответствуют лейкогранитам (рисунок 3.9 А). Породы обладают высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  (77,1 мас.

%), повышенной концентрацией щелочей ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7,3$  мас. %), низким содержанием  $\text{TiO}_2$  (0,13 мас. %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (9,5 мас. %),  $\text{CaO}$  (0,6 мас. %). Концентрация остальных петрогенных компонентов широко варьирует или находится в пределах нормы (Приложение 6). Породы характеризуются высоким коэффициентом железистости ( $X_{\text{Fe}} = 0,98$ ), низкой магнезиальностью ( $X_{\text{Mg}} = 0,02$ ), коэффициент агпаитности ( $K_a$ ) равен 1,2; коэффициент титанистости ( $K_{\text{Ti}}$ ) составляет 2,9. Коэффициент окисленности железа ( $K_{\text{F}}$ ) имеет значение равное 0,88, что указывает на глубинные и средне-глубинные условия формирования.

На диаграмме  $A/NK - A/CNK$  (рисунок 3.9 В) микрограносиениты соответствуют перщелочной группе пород, что указывает на дефицит глинозема и на их перенасыщенность щелочными компонентами. В интрузивах фиксируется резкое преобладание натрия над калием ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 41,9$ ), что свидетельствует о принадлежности магматитов к Na серии щелочности. На диаграмме Бородина Л.С. (рисунок 3.9 Б) породы идентифицируются в поле умереннощелочной (субщелочной) серии пород. Согласно классификационной диаграммы AFM [Irvin T.N., Varagar V.R.A., 1971 г.] (рисунок 3.9 Д) микрограносиениты относятся к толеитовой серии пород. На классификационной диаграмме Miyashiro A. фигуративные точки микрограносиенитов находятся в поле пород, соответствующих толеитовой серии. Следовательно, исходя из анализа разнообразных петрохимических диаграмм, можно сделать вывод о том, что микрограносиениты поньинского комплекса принадлежат толеитовой серии пород.

Нормативный минеральный состав по CIPW следующий: кварц – 37,8 %, плагиоклаз – 47,8 %, ортоклаз – 1,2 %, акмит – 10,9 %, диопсид – 0,5 %, волластонит – 0,95 %, ильменит – 0,3 %, магнетит – 0,6 %, гематит – 0,6 %.

#### *Геохимическая характеристика*

Микрограносиениты поньинского комплекса обладают весьма контрастным и неоднородным содержанием микроэлементов. В них наблюдается высокая концентрация ( $K_k > 10$ ) Nb, Ag, Pd, Te, Ta, Ir, Pt. Повышенные содержания отмечены для Sn, W, Pb, дефицит – Li, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, As, Rb, Sr, Zr, Mo, In, I, Cs, Ba, Hf, Re, Au, Hg, Tl, Th. Оклокларковые значения имеют Cu, Zn, Ge, Y, Sb, Os (рисунок 3.20 А) (Приложение 7). Микрограносиениты формировались, согласно соотношению,  $\text{Rb}/\text{Sr}$ , на коре мощностью менее 20 км. Отношения  $\text{Nb}/\text{Y}$  и  $\text{Th}/\text{U}$  равные 10,5 и 1,7 не позволяют диагностировать условия формирования пород, так как исследуемые образования обладают Nb, Y, Th и U минерализацией. Спектр распределения лантаноидов в микрограносиените поньинского комплекса имеет V-образную форму с отрицательным трендом ( $\text{La}/\text{Yb} = 17,8$ ) и четкой отрицательной европиевой аномалией ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,06$ ) (рисунок 3.20 Б). Общее содержание

РЗЭ составляет 296,9 г/т. Такое поведение лантоноидов и характер европейской аномалии, предположительно, вызван фракционированием полевых шпатов при плавлении исходного вещества (частичным плавлением) [Склярёв Е.В., 2001, Мартынов Ю. А., 2010].

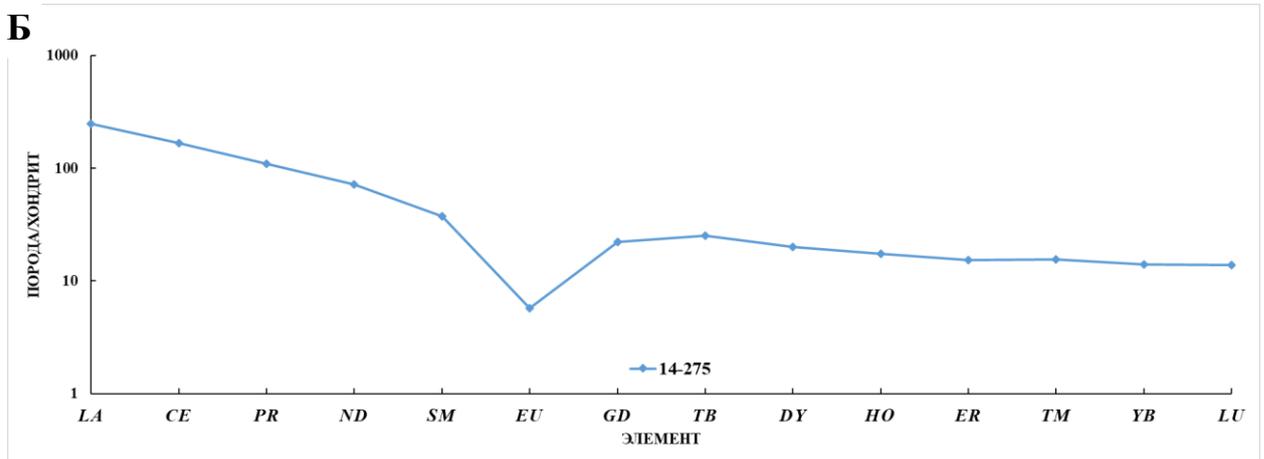
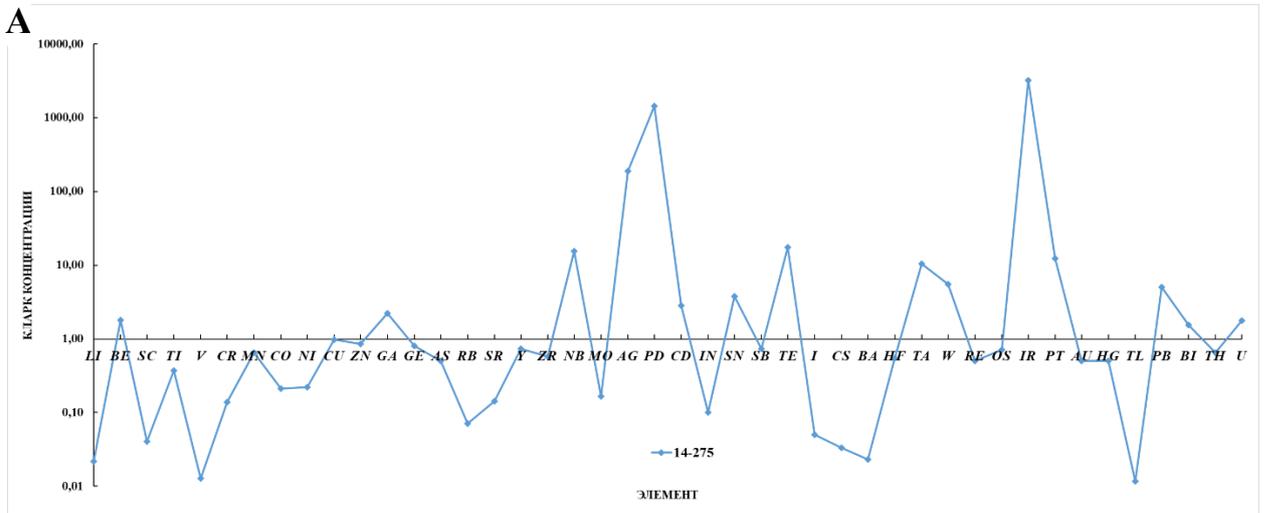


Рисунок 3.20 Кларки концентрации микроэлементов (А) и распределение РЗЭ (Б) в микрограносиенитах поньисского комплекса Маньхамбовского блока

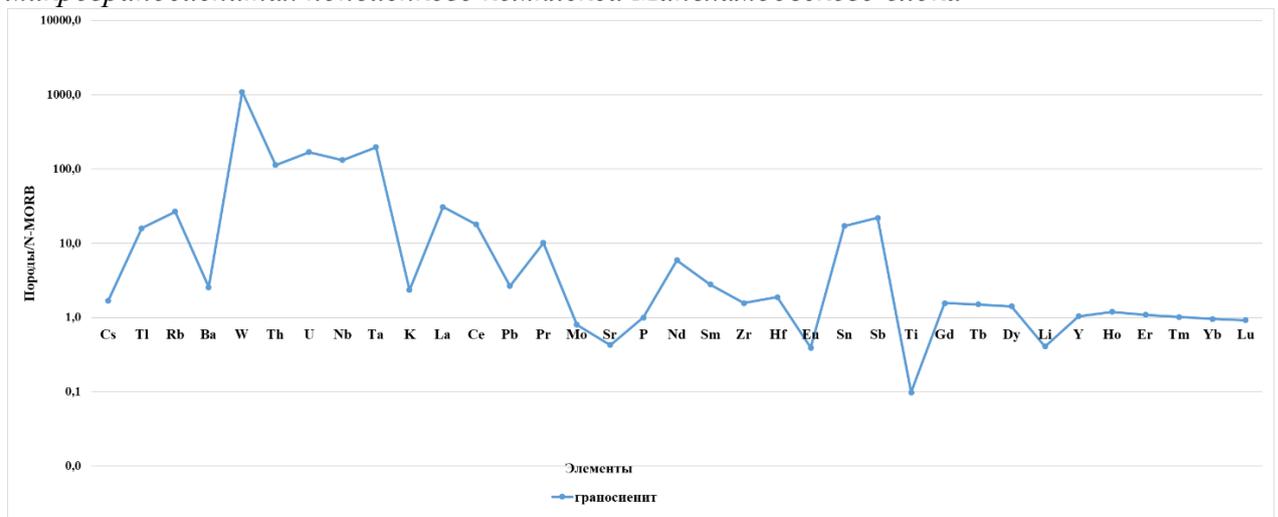


Рисунок 3.21 Мультикомпонентная спайдер-диаграмма пород поньинского комплекса Маньхамбовского блока. N-MORB – средний состав нормального базальта океанических островов [по S. Sun, W. F. McDonough, 1989]

Микрограносиениты обладают высокой концентрацией крупноинного (Rb) и высокозарядных элементов (Th, U, Nb, Ta, Zr, Hf, и легких РЗЭ), установлены минимумы для Sr, Eu, Ti, Li (рисунок 3.21). По характеру концентрации в породах поньинского комплекса элементы-примеси имеют очень близкое распределение с внутриконтинентальными обстановками [Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997, Душин В.А., 2013].

#### *Геодинамика*

Микрограносиениты поньинского комплекса на многокомпонентной дискриминационной диаграмме Р.А. Батчелора и П. Боудена [Batchelor, R. A. & Bowden, P., 1985] концентрируются в области анорогенных гранитоидов (рисунок 3.32 А). Анорогенная природа исследуемых пород фиксируется и на диаграммах Дж. Б. Уэлена [Whalen, J.V. and etc., 1987], Б. Чапеллома и А. Уайта [Chappell V.W., White A.J.R, 1974] (рисунок 3.32 Б-Д), где фигуративная точка микрограносиенита попадает в поле развития продуктов «А» типа. Магматиты А-типа впервые описаны М. Лойзеллом и Д. Уонесом [Loiselle M.C., Wones D.R., 1979] и обозначают анорогенный генезис пород. Эти образования характерны для рифтовых зон и внутренних областей устойчивых континентальных плит, а также широко развиты в условиях постколлизионной обстановки.

На классификационной геодинамической диаграмме Г. Н. Эби [Eby G.N., 1992] (рисунок 3.33 А-Д) микрограносиенит прослежен в области А<sub>1</sub>, что соответствует внутриплитным геодинамическим обстановкам и обстановки континентальных рифтов.

Микрограносиениты на Nb-Y и Ta-Yb диаграммах отчетливо соответствуют породам, образованных во внутриплитном режиме. Однако на Rb – (Y+Nb) и Rb – (Yb+Ta) интрузивы тяготеют к породам океанических хребтов, такое положение пород, скорее всего, связано с малой концентрацией рубидия.

По результатам анализа различных геодинамических диаграмм обстановку формирования микрограносиенитов поньинского комплекса можно определить, как рифтовую (горячих точек) внутри-(ораино)-плитную.

#### *Выводы*

Микрограносиениты поньинского комплекса обладают следующими минералого-петрографическими, петрохимическими и геохимическими особенностями:

1. Микрограносиениты - это породы мелко-среднезернистой структуры и массивной текстурой. Микроструктура – неравномернозернистая, гипидиоморфнозернистая, катакластическая. Главными породообразующими минералами является ортоклаз, ортоклаз-пертит и альбит, зерна которого сильно изменены и деформированы, участками встречаются кварц, поздний амфибол (роговая обманка) и слюда (фенгит). Из вторичных

минералов повсеместно встречается стильпномелан, редко эпидот, хлорит и пумпеллиит. Рудные и акцессорные минералы представлены магнетитом, титанитом, рутилом и цирконом

2. Впервые при детальном исследовании шлифов на электронном сканирующем микроскопе с применением микроспектрального энергодисперсионного анализа установлены алланит и силикат тория, представленный торитом.

3. На петрохимической TAS ( $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ) диаграмме микрограносиениты соответствуют лейкогранитам. Породы обладают повышенным содержанием кремнезема (77,1 мас. %), нормальной щелочностью ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - 7,3$  мас. %), высоким коэффициентом железистости ( $X_{\text{Fe}} = 0,98$ ), низкими концентрациями кальция ( $\text{CaO} - 0,6$  мас. %) и глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3 - 9,5$  мас. %). На различных петрохимических диаграммах установлено, что интрузивы относятся к толеитовой серии пород. В породах фиксируются резкое преобладание натрия над калием ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 41,9$ ), что свидетельствует о принадлежности магматитов к Na типу щелочности.

4. Спектр распределения лантаноидов имеет V-образную форму с отрицательным трендом ( $\text{La}/\text{Yb} = 17,8$ ) и четкой отрицательной европиевой аномалией ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,06$ ). Общее содержание РЗЭ составляет 296,9 г/т.

5. В интрузивах наблюдается высокая концентрация ( $\text{Kк} > 10$ ) Nb, Ag, Pd, Te, Ta, Ir, Pt и повышенные содержания ( $\text{Kк} > 3$ ) Sn, W, Pb.

6. Микрограносиениты обладают высокой концентрацией крупноинного (Rb) и высокозарядных элементов (Th, U, Nb, Ta, Zr, Hf, и легких РЗЭ), установлены минимумы для Sr, Eu, Ti, Li. По характеру концентрации в породах элементы-примеси имеют очень близкое распределение с внутриконтинентальными обстановками (Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997).

7. По результатам анализа различных геодинамических диаграмм, установлена внутриплитная природа формирования микрограносиенитов поньинского комплекса.

8. Рудоносность пород связана с благородно-редкоземельно-редкометалльной специализацией, что подтверждается минералого-петрографическими и геохимическими исследованиями.

Таким образом по результатам исследований можно сделать вывод о том, что микрограносиениты поньинского комплекса весьма схожи и хорошо коррелируются с внутриплитными граносиенитами лонготюганского и осоевского (Р–Т) комплексов Полярного Урала.

### 3.2 Туяхланьинский комплекс ( $\tau\lambda P-Tth$ )

Туяхланьинский ( $\tau\lambda P-Tth$ ) комплекс представлен как телами изометричной и линейновытянутой формы, размером от 100-150 м до 8-12 км по простиранию и от 40-120 м до 2-3 км в поперечнике, так и дайками, размером 150-300 м по простиранию и 15-80 м в поперечнике, риолитов, трахириолитов, трахидацитов, трахириодацитов, риодацитов закартированных в районе верховьев рек Малого Туяхланья, Талтма, Подчерем, Хунтынья, Правого Укью и выявлены в междуречье Матум-Тахамтамья-Ятья-Няйисманья, а также в районе рек Вэраю и Кожимью. Магматические образования туяхланьинского комплекса приурочены к эндо-экзоконтактам Ильязского и Маньхамбовского массивов и контролируются крупными дизъюнктивами северо-западного простирания как сбросо-сдвиговой, так и взбросо-сдвиговой кинематики.

Кислые магматические образования - это черные, темно-коричневые, лиловые и розовато-серые породы, массивной, полосчатой и флюидалной текстуры, с раковистым изломом (рисунок 3.22). Структура пород – порфировая, редкопорфировая, иногда афировая, микроструктура - аллотриомофнозернистая. Содержание вкрапленников колеблется от 10-20 до 30-40 % от объема породы, которые представлены кварцем, полевым шпатом, плагиоклазом, иногда амфиболом и биотитом. Основная масса сложена тонким кварц-полевошпатовым мезостазиом (рисунок 3.23 А-Е). Из акцессорных минералов присутствуют - титанит, магнетит, гематит, монацит и циркон.

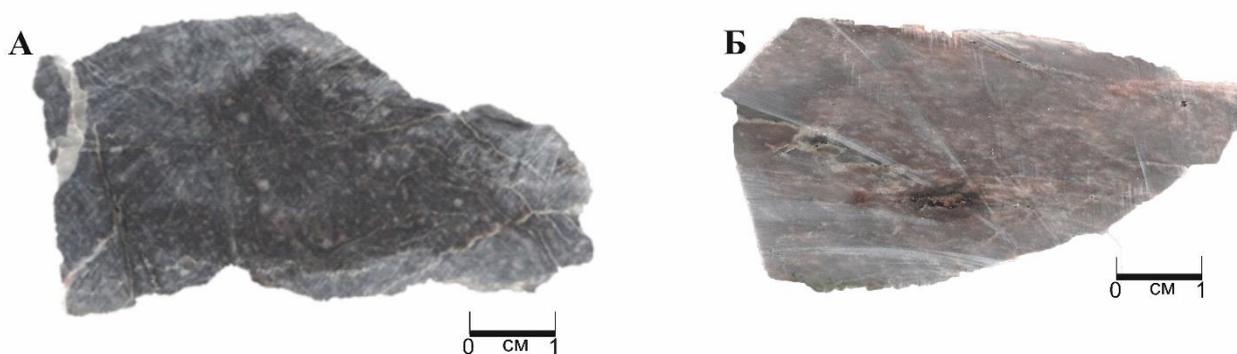
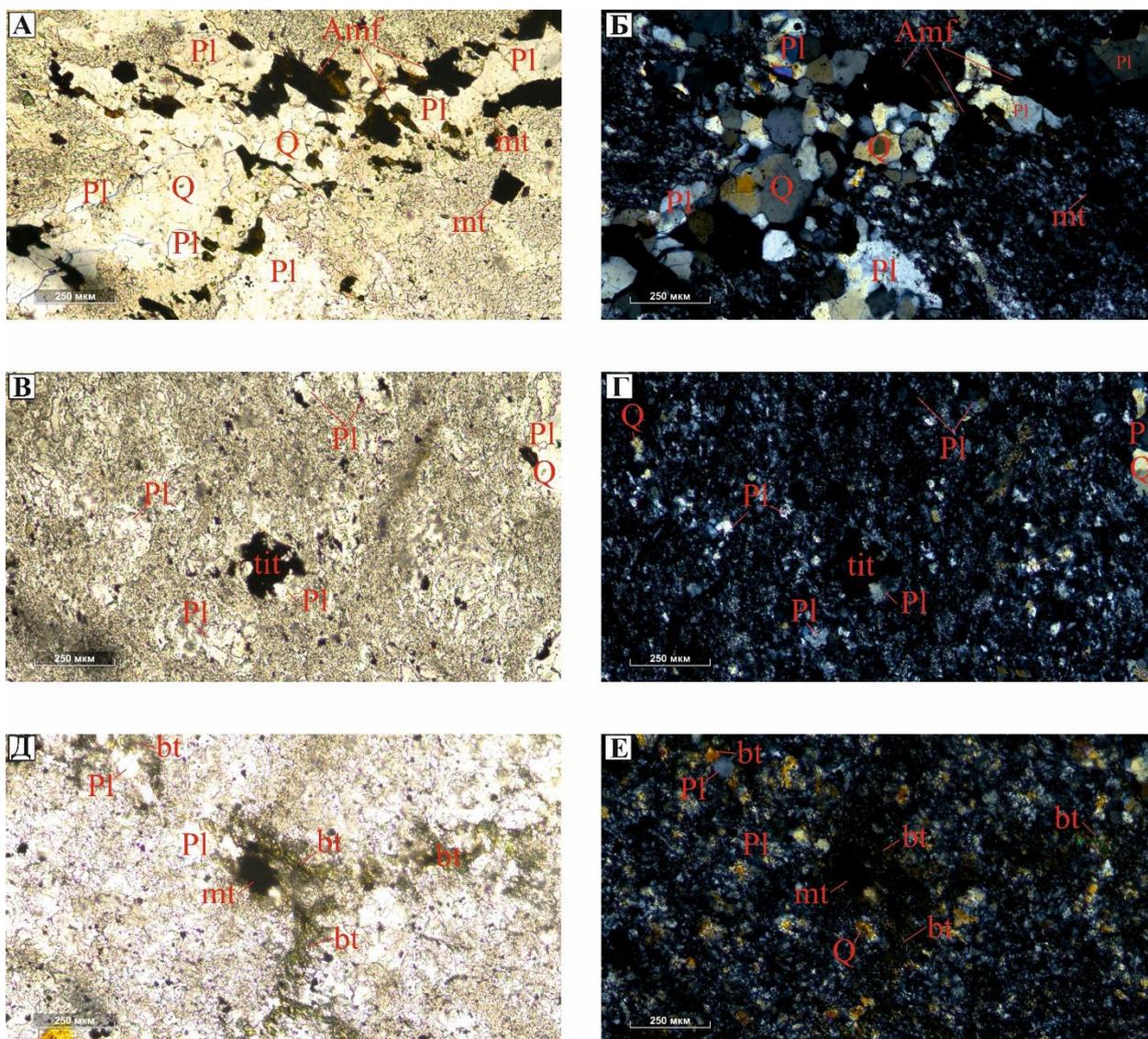


Рисунок 3.22 Фотографии образцов риолитов туяхланьинского ( $\tau\lambda P-Tth$ ) комплекса: А – черный риолит редкопорфировой структуры (обр. 12-617); Б – розово-серый риолит редкопорфировой структуры (обр. 13-1070);

Кварц - бесцветный минерал, не плеохраирует и без псевдоабсорбции. Рельеф и шагренева поверхность практически отсутствуют. Форма зерен ксеноморфная размером от  $0,01 \times 0,03$  мм до  $0,2 \times 0,4$  мм (Рисунок 3.23 А-Д). В некоторых зернах наблюдается волнистое угасание. Кварц представлен в виде вкрапленников и прожилков. Наивысшая интерференционная окраска бледно-желтая I порядка  $\Delta = 0,09$  нм.



**Условные обозначения минералов:** *Q* - кварц, *Pl* - плагиоклаз, *Amf* - амфибол, *mt* - магнетит, *tit* - титанит

Рисунок 3.23 Микрофотографии риолитов туяхланьинского ( $\tau\lambda P$ -Tth) комплекса Маньхамбовского блока (A, B, Д – с выключенным анализатором; Б, Г, Е – с включенным анализатором) с увеличением  $\times 20$ : А-Б - порфировый риолит (обр.13-1070); В-Г – аллотриоморфнозернистый риолит (обр.13-1244); Д-Е – порфировый риолит (обр.13-1240)

Плагиоклаз - бесцветный минерал, не плеохраирует, не обладает псевдоабсорбцией. В основном встречаются лейсты с округлыми ограничениями размером от  $0,2 \times 0,1$  до  $0,4 \times 0,2$  мм (рисунок 3.23 А-Е). Спайность в двух направлениях, угол между которыми примерно равен  $90^\circ$ . Наивысшая интерференционная окраска серая I порядка  $\Delta=0,006$  нм. Наблюдаются полисинтетические двойники. Угол угасания равен  $24-26^\circ$ , следовательно, плагиоклаз представлен олигоклазом. В большинстве зерен активно проявлен процесс пелитизации. В КПШ в виде пертитовых вrostков наблюдается альбит. В некоторых зернах олигоклаза наблюдается процесс альбитизации (раскисление).

Калевый полевой шпат представлен минералами бесцветного цвета, не плеохраирует, без псевдоабсорбции. Зерна таблитчатой и изометричной формы, размером от  $0,01 \times 0,01$  мм до  $0,2 \times 0,4$  мм. Встречаются зерна с зазубренными и оплавленными ограничениями. Рельеф слабо заметен, шагреневая поверхность гладкая, показатель преломления КППШ < показателя преломления канадского бальзама [Лодочников В.Н., 1974]. Спайность совершенная в 1 направлении. Наивысшая интерференционная окраска серая I порядка  $\Delta = 0,006$  нм.

При помощи сканирующего электронного микроскопа установлен химический состав:  $K_2O$  - 16,9%,  $Al_2O_3$  – 18,4%,  $SiO_2$  – 68,44% и  $Na_2O$  – 0,2-0,6%, который соответствует ортоклазу (Приложение 5) (рисунок 3.24 А). В некоторых зернах отмечается примесь  $BaO$  до 1,1 %. Примесь  $Ba$  примесь характерна для щелочных полевых шпатов, так как  $K$  и  $Ba$  обладают близким ионным радиусом. Ортоклазы представлены в виде отдельных вкрапленников, а также наблюдаются по периферии и в виде включений в кварцевых прожилках и крупных зернах рибекита (рисунок 3.25 А). В более крупных зернах КППШ замечены включения циркона (рисунок 3.25 Б). Также следует отметить, что КППШ входит в состав базиса. Альбитовая молекула ( $Ab$ ) находится в диапазоне от 2,0 до 5,5, ортоклазовая составляющая ( $Or$ ) 94,6 до 100.

Амфибол - минерал бледно-коричневого цвета, плеохраирует:  $Np$ -синий III порядка,  $Nm$ -бледно-голубого III порядка,  $Ng$ -зеленовато-желтый II порядка. Схема абсорбции обратная  $Np > Nm > Ng$ , что указывает на то что амфибол представлен рибектом. Характерно отрицательное удлинение. Форма зерен чешуйчатая, размером от  $0,01 \times 0,02$  мм до  $0,02 \times 0,04$  мм. Спайность совершенная в двух направлениях под углом  $120^\circ$ . Угол угасания  $80^\circ$ . Наивысшая интерференционная окраска темно-синяя III порядка  $\Delta = 0,035$  нм. Встречается в виде включений в прожилках и крупных фенокристаллах кварца (рисунок 3.25 А-Б). Изучив более детально чешуйки амфибола, получена следующая химическая характеристика:  $Na_2O$  – 7,1%,  $Fe_2O_3$  – 35,45%,  $SiO_2$  – 54,9 %,  $MgO$  - 2,3% и до 0,3% -  $K_2O$ , что соответствует рибекиту. Рибекит в отличие от других амфиболов имеет повышенное содержание  $Na$  и  $Fe$  и низкое  $Mg$  и  $K$ . По кристаллохимическим формулам (Приложение 5) минерал обладает низким содержанием  $Ti$  ( $< 0,1$  ф.е), богатым содержанием щелочей ( $K+Na = 1,9-2,1$  ф.е), где содержания натрия резко преобладает над калием ( $Na/K = 1,9-5,5$  ф.е), а также низкой магниальностью ( $X_{Mg} = 0,07-0,17$ ) и отношением  $Al^{VI}$  к  $Fe^{3+}$  равное 0,1 ф.е. В крупных чешуйках наблюдаются включения ортоклаза и рудных минералов. Также в составе рибекита выявлено содержание  $Sc_2O_3$  от 0,64 – 1,14%. Присутствие рибекитов в породах указывает на то, что формирование пород происходило в процессе сжатия, то есть на

завершающей стадии внутриплитного вулканизма [Фромберг Э.Д., 1993, Трутнев А.К., Душин В.А. 2019].

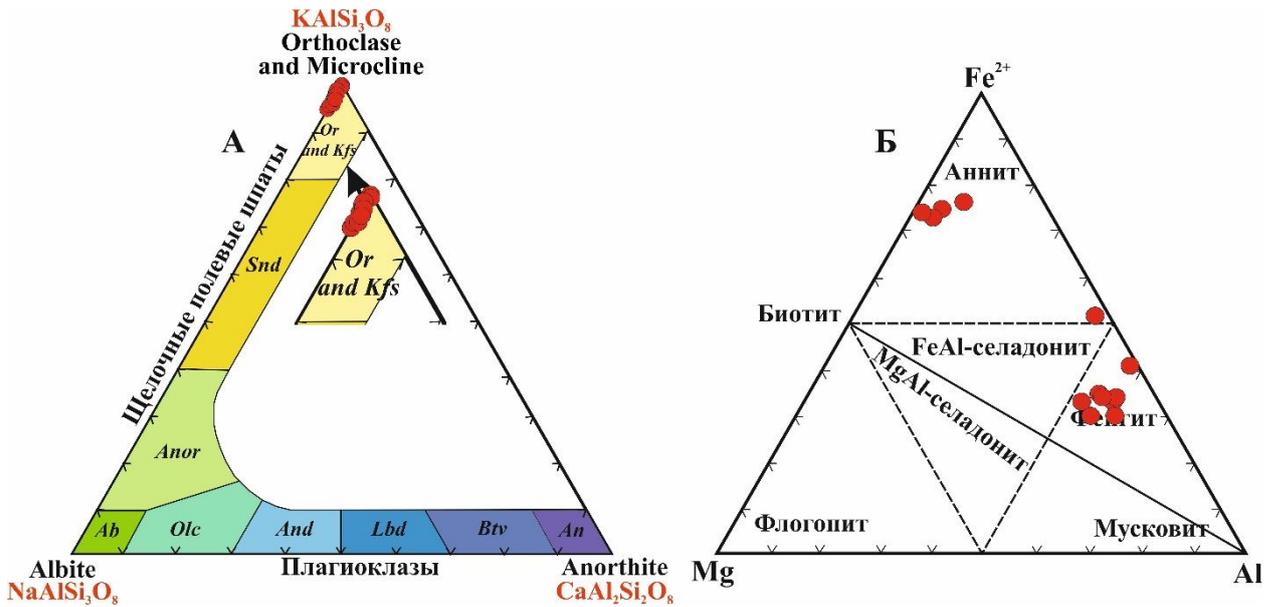
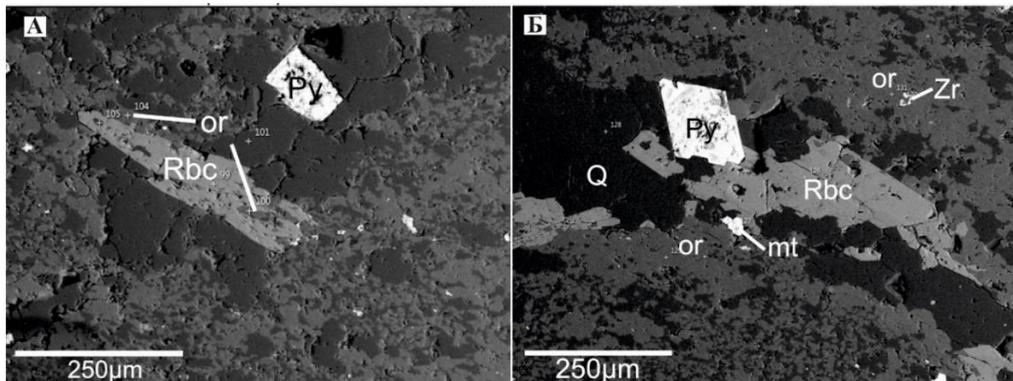


Рисунок 3.24 Классификационные диаграммы минералов из кислых вулканитов туяхланьинского ( $\tau\lambda P-Tth$ ) комплекса Маньхамбовского блока:

А - Диаграмма  $Ab-Or-An$  с фигуративными точками составов полевых шпатов;

Б - Диаграмма  $Fe^{2+}-Mg-Al$  с фигуративными точками составов слюды [Н.В. Васильев и др., 2012];



Обозначения минералов: *or* – ортоклаз, *Rbc* – рибекит, *Q* – кварц, *Zr* – циркон, *mt* – магнетит, *Py* – пирит

Рисунок 3.25 Микрофотографии участков илифов риолитов туяхланьинского ( $\tau\lambda P-Tth$ ) комплекса Маньхамбовского блока в отраженных электронах А - участок илифа порфирового риолита (обр. 13-1070) с зерном рибекита с включением ортоклаза; Б - участок илифа порфирового риолита (обр. 13-1240) с зерном ортоклаза с включением циркона

Биотит представлен минералом темно-бурого, коричневатого цвета, плеохраирует:  $Np$  - светло-зеленый,  $Nm$  - коричневато-оливковый,  $Ng$  - темно - коричневого. Схема абсорбции прямая  $Np < Nm = Ng$ . Минерал чешуйчатой формы размером от 0,01 x 0,03 мм до 0,1 x 0,2 мм. В удлинённых сечениях спайность совершенная в 1 направлении. Угасание

прямое, вдоль спайности. Наивысшая интерференционная окраска желтовато-зеленая III-ого порядка.  $\Delta=0,048$  нм. Встречается в виде включений в кварцевых прожилках.

При помощи сканирующего электронного микроскопа удалось установить химический состав минералов группы слюд. На диаграмме Mg-Fe<sup>2+</sup>-Al проанализированные минералы соответствуют двум разновидностям: аннит и фенгит (рисунок 3.24 Б). Аннит обладает следующим химическим составом: K<sub>2</sub>O – 7,9-12,6 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 11,7-19,7 %, SiO<sub>2</sub> – 39,7-47,3 %, FeO – 18,7-29,3 %, TiO<sub>2</sub> – 0,9-4,8 %, MgO – 0,4-5,98 % (Приложение 5). Среди примесей отмечается BaO – 0,76 %. Минералы характеризуются повышенным содержанием титана и высоким коэффициентом железистости ( $X_{Fe} = 0,82-0,97$ ). В непосредственной близости с дизъюнктивными нарушениями диагностирован фенгит, который имеет следующий химический состав: K<sub>2</sub>O – 11,2-12,1 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 19,8-22,9 %, SiO<sub>2</sub> – 49,1-51,9 %, FeO – 10,9-15,4 %, MgO – 2,2-3,2 %, TiO<sub>2</sub> – 0,2-0,6 % (Приложение 5). Среди примесей зафиксирован BaO – 0,41-0,66 %. Фенгиты также характеризуются высоким коэффициентом железистости ( $X_{Fe} = 0,77-1,0$ ).

Среди рудных и акцессорных выделены следующие минералы: магнетит, ильменит, рутил, титанит, циркон, монацит.

Магнетит имеет неправильные, изометричные формы размером от 0,01 × 0,015 мм до 0,04 × 0,06 мм (рисунок 3.23 А, Б, Д, Е). Все минералы в виде включений в кварцевых прожилках, чешуйках рибекита и зернах ортоклаза (рисунки 3.25 Б). Содержание FeO<sub>общ</sub> варьирует от 85,6 до 100 % (Приложение 5). В редких зернах установлена примесь CoO (0,6 %).

Ильменит неправильной, изометричной формой с размерами от 0,01×0,02 мм до 0,05×0,07 мм. Минерал наблюдается в виде включений в кварце и ортоклазе. При помощи сканирующего электронного микроскопа определен химический состав ильменита, который представлен TiO<sub>2</sub> (51,8-54,4 %), FeO (41,1-45,1 %). Отмечаются примеси Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (1,9 %) (Приложение 5).

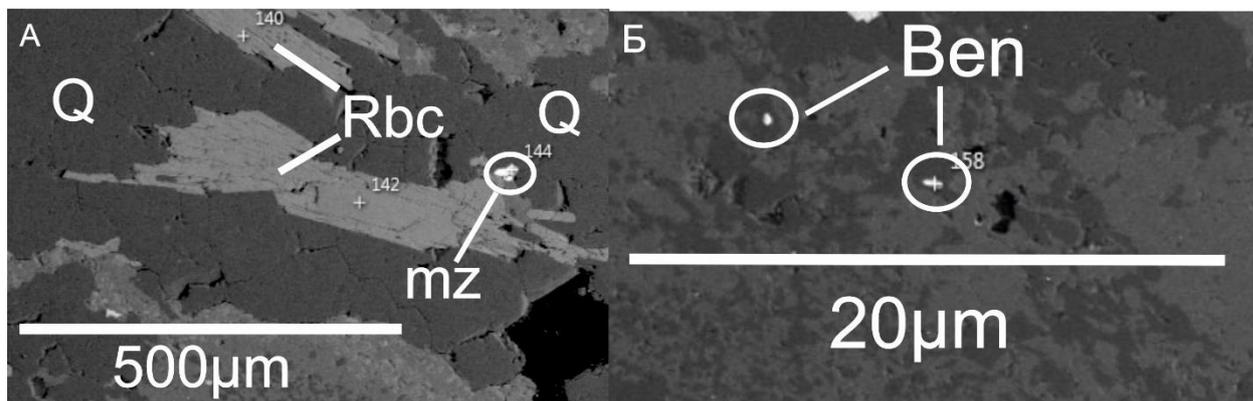
Рутил в виде игольчатой формы со средними размерами 0,015 × 0,02 мм. При помощи сканирующего электронного микроскопа в рутиле установлено содержание TiO<sub>2</sub>, которое находится в диапазоне 63,2-96,5 %. Среди примесей отмечается Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,7-2,2 %) и Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1,4 %) (Приложение 5).

Титанит представлен зернами неправильной «кляксообразной» формы размером от 0,04-0,06×0,09-0,1 до 0,08-0,1×0,1-0,4 мм, для зерен характерен «рваный» тип контакта с породообразующими минералами. Содержание CaO составляет от 21,2 до 25,8 %, SiO<sub>2</sub> – 26,0-32,8 %, TiO<sub>2</sub> – 29,5-34,7 %. Практически во всех зернах отмечается примесь Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с концентрацией до 1,46 % (Приложение 5).

Циркон представлен зернами таблитчатой формы с пирамидальными ограничениями с двух сторон, размером от 0,03-0,04×0,05-0,08 мм до 0,1-0,3×0,4-0,7 мм. Некоторые зерна имеют разрушенную, расплавленную форму (рисунок 3.26 Б). Минерал бесцветный, не плеохроирует, без абсорбции, с резким рельефом. Наивысшая интерференционная окраска индиго III порядка ( $\Delta = 0,030$  нм). В составе цирконов отмечены следующие химически элементы:  $ZrO_2 - 57,5 - 66,3 \%$ ,  $SiO_2 - 30,3-35,1 \%$ ,  $HfO - 1,1-2,1 \%$  (Приложение 5).

При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе установлены редкие зерна монацита. Минералы мелкого размера, менее 0,1 мм, неправильной формы (рисунок 3.27 А), следующим химическим составом:  $P_2O_5 - 24,2 \%$ ,  $Ce_2O_3 - 29,3 \%$ ,  $La_2O_3 - 16,2 \%$ ,  $Nd_2O_3 - 15,8 \%$ ,  $Pr_2O_3 - 3,3 \%$ ,  $Nd_2O_3 - 14,07 \%$ ,  $Sm_2O_3 - 1,6 \%$ ,  $ThO_2 - 2,4 \%$  (Приложение 5). Отношение La:Ce равное 1:2 характеризует то, что монациты имеют магматическую природу [Фромберг Э.Д., 1993].

Впервые установлены единичные зерна бенстонита мелкого размера, менее 0,1 мм, которые обладают следующим химическим составом:  $BaO - 59,4 \%$ ,  $CaO - 23,5 \%$ ,  $SrO - 5,9\%$  и  $MgO - 2,4 \%$  (рисунок 3.27 Б) (Приложение 5). Карбонат бария накапливается в постмагматические этапы и способен концентрироваться в результате мобилизации растворяющихся или перекристаллизующихся калиевых полевых шпатов [Фромберг Э.Д., 1993].

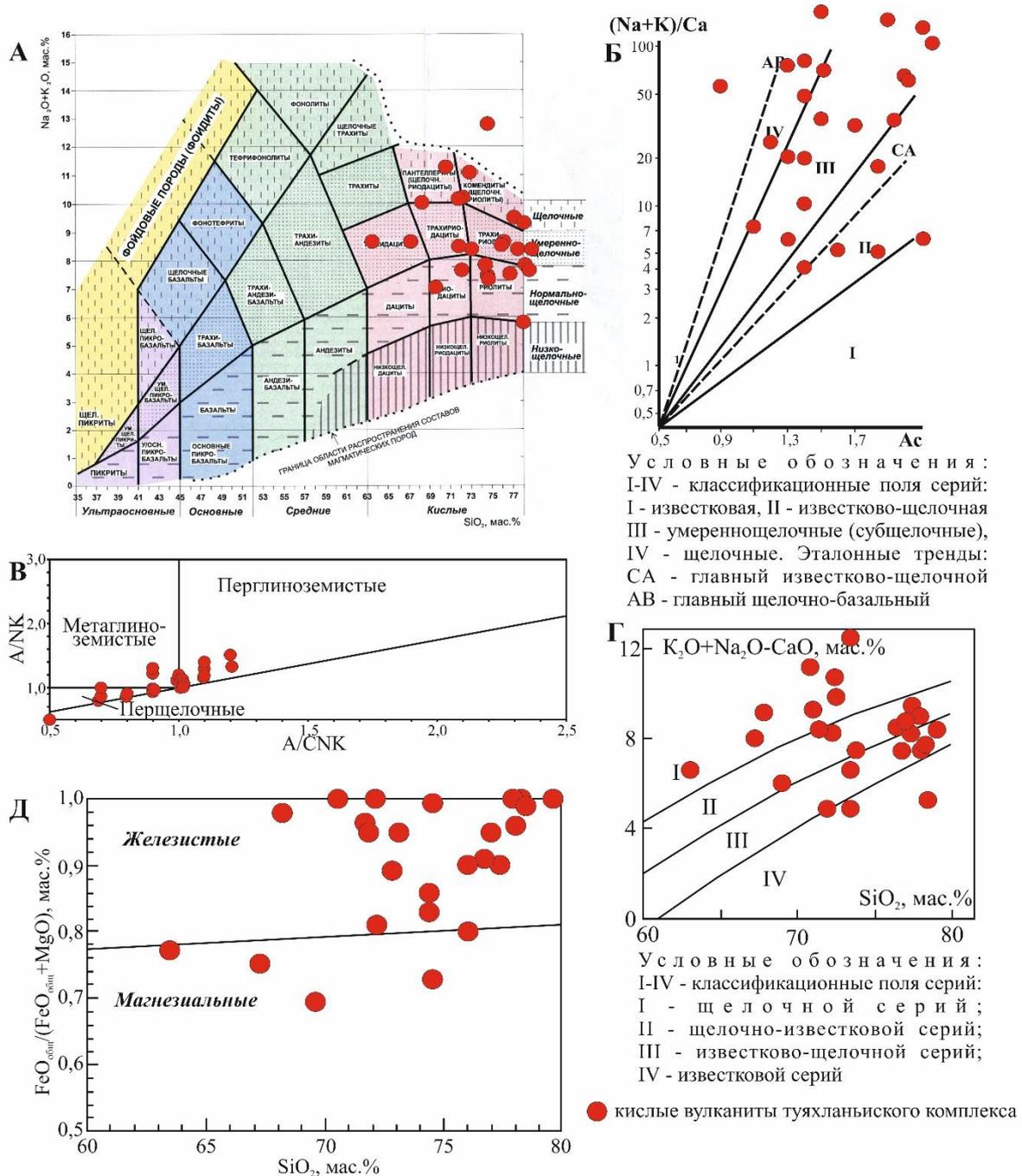


Обозначение минералов Q – кварц, Rbc – рибекит, mz – монацит, Ben - бенстонит  
Рисунок 3.26 Микрофотографии участка илфа риолита туяхланьинского ( $\tau\lambda P-Tth$ ) комплекса Маньхамбовского блока в отраженных электронах: А – участок илфа порфириового риолита (обр. 13-1070) с зерном монацита в кварцевом прожилке; Б – участок илфа порфириового риолита (обр. 13-1070) с бенстонитами в зерне кварца

#### Петрохимическая характеристика

На классификационной петрохимической TAS ( $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ ) диаграмме фигуративные точки магматитов туяхланьинского комплекса соответствуют субщелочным

и щелочным риодацитам, риолитами, трахидацитами, трахириодацитами, трахириолитами, пантеллеритами и комендитами (рисунок 3.27 А).



Условные обозначения: **А** - классификационная петрохимическая диаграмма  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  [Практическая петрология, 2017г]; **Б** - петрохимическая диаграмма  $(\text{Na}+\text{K})/\text{Ca} - \text{Ac}$  [Бородин Л.С., 1987]; **В** - классификационная петрохимическая диаграмма  $\text{A}/\text{NK} - \text{A}/\text{CNK}$ , где А -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , N -  $\text{Na}_2\text{O}$ , К -  $\text{K}_2\text{O}$ , С -  $\text{CaO}$  (в мол. кол-вах); **Г** - петрохимическая диаграмма  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO})-\text{SiO}_2$  [Frost C.D, Frost B.R. 1998]; **Д** - классификационная петрохимическая диаграмма  $\text{FeO}_{\text{общ}}/(\text{FeO}_{\text{общ}}+\text{MgO}) - \text{SiO}_2$  [Miyashiro A., 1974];

*Рисунок 3.27 Классификационные петрохимические диаграммы с точками составов кислых пород туяхланьинского комплекса Маньхамбовского блока*

Вулканыты кислого состава обладают достаточно высоким содержанием кремния вплоть до ультракислых разновидностей ( $\text{SiO}_2$  от 63,5 до 79,7 мас. %), широким диапазоном

содержания щелочей от нормально-щелочного до щелочного ряда ( $K_2O+Na_2O = 6,9-20,0$  мас. %), повышенным содержанием  $TiO_2$  (0,3-0,7 мас. %), низкой концентрацией  $MnO$  (0,01-0,4 мас. %),  $P_2O_5$  (0,02-0,2 мас. %), варьирующим содержаниями  $CaO$  (0,1-3,1 мас. %) и  $MgO$  (0,02-1,5 мас. %) (Приложение 6). Кислые магматиты обладают высокой железистостью ( $X_{Fe} = 0,69-1,0$ ) (рисунок 3.27 Д), низкой магнезиальностью ( $X_{Mg} = 0,01-0,31$ ), коэффициент титанистости ( $K_{Ti}$ ) варьирует от 3,1 до 41,7 (Таблица 3.2). Коэффициент агпаитности ( $K_a$ ) находится в диапазоне от 0,67 до 1,91, что указывает на наличие в породах цветных щелочных минералов [Практическая петрология, 2017]. Это подтверждается петрографическими исследованиями, где в ходе исследования в риолитах встречены рибекит, аннит и фенгит. Коэффициент окисленности железа ( $K_F$ ) находится в пределах 0,1-0,9, где окисная форма железа преобладает над закисной ( $Fe_2O_3/FeO = 1,04-17,6$ ). Низкие значения коэффициента (0,1-0,5) характерны для субвулканических дайек, что указывает на глубинные и средне-глубинные условия формирования. Излившиеся на поверхность кислые породы, представленные малыми телами и neckами, обладают коэффициентом окисленности железа равным 0,6-0,9.

Содержание глинозема в вулканитах туяхланьинского комплекса имеет широкий диапазон. Большинство фигуративных точек составов кислых пород относится к перглиноземистым разновидностям ( $A/CNK = 1,0-1,2$ ), либо находится на границе с метаглиноземистыми породами, исключением являются пантеллериты, комендиты и некоторые ультракалиевые риолиты которые пресыщены щелочными компонентами ( $A/CNK = 0,68-0,93$ ) (рисунок 3.27 В). По типу щелочности породы характеризуются от натровой ( $Na_2O/K_2O = 12,5-45,9$ ), калий-натровой ( $Na_2O/K_2O = 1,1-3,3$ ) до ультракалиевой серии, где фиксируется резкое преобладание калия над натрием ( $K_2O/Na_2O = 25,1-42,8$ ) [Трутнев А.К., Душин В.А., 2020]. Такое же разнообразие в содержании глинозема и типам щелочности часто наблюдается в обстановках континентальных рифтов. В частности, в Африканско-Аравийском рифтовом поясе, который является одной из наиболее протяженных и сложно построенных систем, заложенных на древнем (протерозойском) основании и начавшим свое развитие в конце мезозоя, наследуя простирающиеся древних разломов в юго-западном и северо-восточном направлении [Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997].

На диаграмме Бородина Л.С. (рисунок 3.27 Б) породы представлены широкими спектрами щелочных серий: известково-щелочной, умереннощелочной и щелочной. Однако большинство кислых вулканитов характеризуются как субщелочные породы, исключением являются пантеллериты, комендиты и ультракалиевые риолиты, которые соответствуют щелочной серий.

На диаграмме  $(K_2O+Na_2O-CaO)-SiO_2$  большинство точек вулканитов располагается в пределах щелочно-известковой и известково-щелочной серий пород (рисунок 3.27 Г). Из общей тенденции выбиваются пантеллериты, комендиты и ультракалиевые риолиты, которые соответствуют щелочной серии пород, а также некоторые риолиты и риодациты, характеризующиеся высоким содержанием кальция, которые установлены в поле развития пород известковой серии.

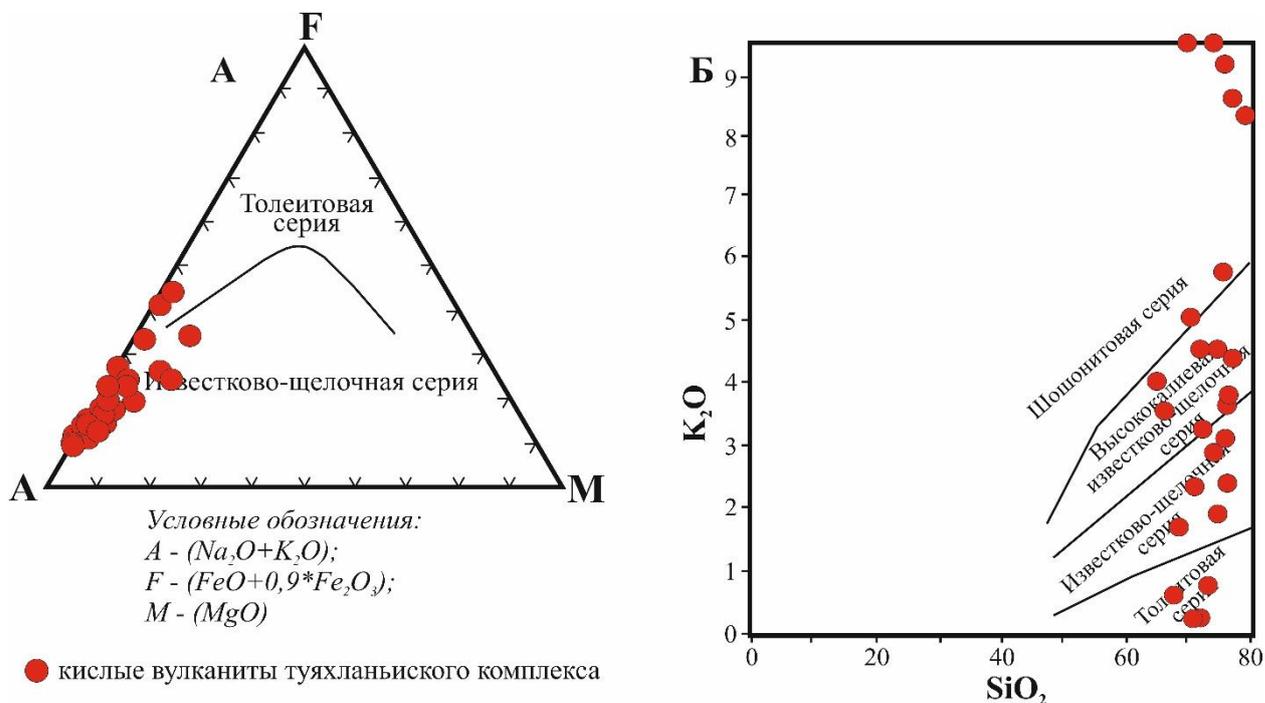
Таблица 3.2 - Статистические оценки средних содержаний петрогенных компонентов и петрохимических коэффициентов в кислых породах туяхланьинского комплекса Маньхамбовского блока

Кислые породы туяхланьинского комплекса					
Компоненты	Статистические параметры				
	X(n=25)	S	Xmin	Xmax	доверительный интервал
SiO <sub>2</sub>	73,9	3,98	63,54	79,69	72,2-75,5
TiO <sub>2</sub>	0,3	0,17	0,08	0,66	0,2-0,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,7	1,75	9,95	16,89	12,0-13,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,3	1,88	0,38	7,04	1,5-3,1
FeO	0,5	0,37	0,25	1,80	0,4-0,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0	0,05	0,00	0,19	0,03-0,1
MnO	0,0	0,08	0,00	0,35	0,01-0,1
CaO	0,7	0,79	0,05	3,07	0,4-1,1
MgO	0,3	0,44	0,00	1,53	0,1-0,5
Na <sub>2</sub> O	4,8	2,58	0,26	9,51	3,7-5,8
K <sub>2</sub> O	4,4	3,45	0,16	13,80	2,9-5,8
X <sub>Fe</sub>	0,9	0,10	0,69	1,00	0,86-0,94
X <sub>Mg</sub>	0,1	0,10	0,01	0,31	0,06-0,14
K <sub>a</sub>	1,0	0,26	0,67	1,91	0,9-1,1
K <sub>F</sub>	0,6	0,21	0,10	0,90	0,5-0,7
K <sub>ti</sub>	15,1	10,38	3,10	41,70	10,7-19,4
A/CNK, % мол.к.	0,9	0,17	0,50	1,22	0,9-1,0

Примечание: X – среднее содержание, n- количество проб, S – среднеквадратичное отклонение, X<sub>min</sub>, X<sub>max</sub> – наблюдаемые минимальные и максимальные содержания, X<sub>Fe</sub> – коэффициент железистости, X<sub>Mg</sub> – коэффициент магnezиальности, K<sub>a</sub> – коэффициент агаптитности, K<sub>F</sub> – коэффициент окисленности железа, K<sub>ti</sub> – коэффициент титанистости,  $A/CNK = Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ , доверительный интервал для генерального среднего с вероятностью 0,95 (среднее значение при выборке большего объема не выйдет за пределы найденного интервала)

Согласно классификационной диаграммы AFM [Irvin T.N., Varagar V.R.A, 1971 г.] (рисунок 3.28 А) кислые вулканиты туяхланьинского комплекса относятся к известково-

щелочной серии пород. По содержанию К породы занимают весьма широкий диапазон серий (рисунок 3.28 Б). Однако, большинство фигуративных точек составов пород фиксируются в диапазоне известково-щелочной серии с умеренным содержанием калия и высококалиевой известково-щелочной серий. Отличительной чертой обладают пантеллериты, комендиты и ультракалиевые риолиты, которые относятся, по типу щелочности, к шошонитовым разновидностям пород.



Условные обозначения: **А** - классификационная диаграмма А ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) - F ( $\text{FeO}+0,9*\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) - М ( $\text{MgO}$ ) [Irvin T.N., Baragar V.R.A., 1971г]; **Б** - классификационная петрохимическая диаграмма  $\text{K}_2\text{O}$  -  $\text{SiO}_2$  [Pascerrillo A., Taylor S.R., 1976 г]

Рисунок 3.28 Классификационные петрохимические диаграммы с точками составов кислых пород туяхланьинского комплекса Маньхамбовского блока

Таким образом, проанализировав петрохимические характеристики кислых пород туяхланьинского комплекса при помощи различных диаграмм, можно сделать вывод о том, что они принадлежат известково-щелочной серии. Однако, обособленное место среди кислых пород занимают пантеллериты, комендиты и ультракалиевые риолиты, которые характеризуются щелочной серией, а по содержанию калия относятся к шошонитовым разновидностям пород.

Сравнивая средний химический состав кислых вулканитов областей континентальных рифтов [Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997] и изучаемых пород можно убедиться в их близости (таблица 3.3), где фиксируется повышенное содержание  $\text{TiO}_2$  (0,11 – 0,42 мас. %), высокое содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (12,5 – 13,9 мас. %),  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  (6,9 – 19,9 мас.

%), повышенное содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,5-3,9 мас. %), низкие концентрации  $\text{MgO}$  (0,18-0,56 мас. %),  $\text{MnO}$  (0,01 – 0,04 мас. %) и  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,04-0,08 мас. %).

Таблица 3.3 - Средний химический состав кислых вулканитов областей континентальных рифтов [Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997] и кислых вулканитов туяхланьинского комплекса (Маньхамбовский блок)

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8
$\text{SiO}_2$	63,65	65,02	72,11	59,04	59,49	76,02	69,16	75,55
$\text{TiO}_2$	0,94	0,36	0,38	0,38	0,71	0,11	0,42	0,21
$\text{Al}_2\text{O}_3$	14,12	14,88	9,35	17,97	18,68	12,49	13,89	12,01
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,01	1,75	2,30	4,92	2,58	0,50	3,90	1,86
$\text{MnO}$	0,27	0,13	0,21	0,23	0,16	0,01	0,10	0,04
$\text{MgO}$	0,04	0,04	0,01	0,66	0,61	0,18	0,56	0,20
$\text{CaO}$	1,31	1,94	0,34	1,85	2,14	0,37	1,33	0,56
$\text{Na}_2\text{O}$	6,34	5,90	5,74	6,34	6,66	5,51	6,50	3,74
$\text{K}_2\text{O}$	5,22	4,30	4,40	5,08	5,61	6,0	2,77	4,82
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,07	0,09	0,01	0,34	0,13	0,04	0,08	0,04
П.п.п.				0,96	0,58	0,49	0,25	0,73
Сумма	100,0	97,9	98,7	100,14	100,63	100,12	99,33	100,15
n				10	16	4	6	14

Примечание: Восточно-Африканская рифтовая зона: 1 - рифт Грегори (Baker et al., 1977): 1 - трахиты; 2-3 – Эфиопский рифт (Barberi et al., 1975): 2 – трахидациты, 3 – риолиты; 4-5 – Байкальская рифтовая зона (Ащепков, 1991): 4 – трахиты, 5 – трахиты; Маньхамбовский блок (СНИГЭ 2007-2018): 6 – трахириолиты, 7 – трахидациты, 8 – риолиты

На петрохимических диаграммах Харкера [Harker A., 1904] (рисунок 3.29) установлены зависимости изменений содержаний некоторых петрогенных оксидов от концентраций  $\text{SiO}_2$ , так с увеличением оксида кремния уменьшается концентрация  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}_{\text{общ}}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ .  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Для остальных петрогенных оксидов закономерности не выявлены.

Нормативный минеральный состав по CIPW для кислых пород характеризуется следующим составом: кварц – 27,9 %, плагиоклаз – 40,7 %, ортоклаз – 26,0 %, диопсид – 1,6 %, гематит – 1,8 %, магнетит – 0,7 %, ильменит – 0,6 %, волластонит – 0,5 %.

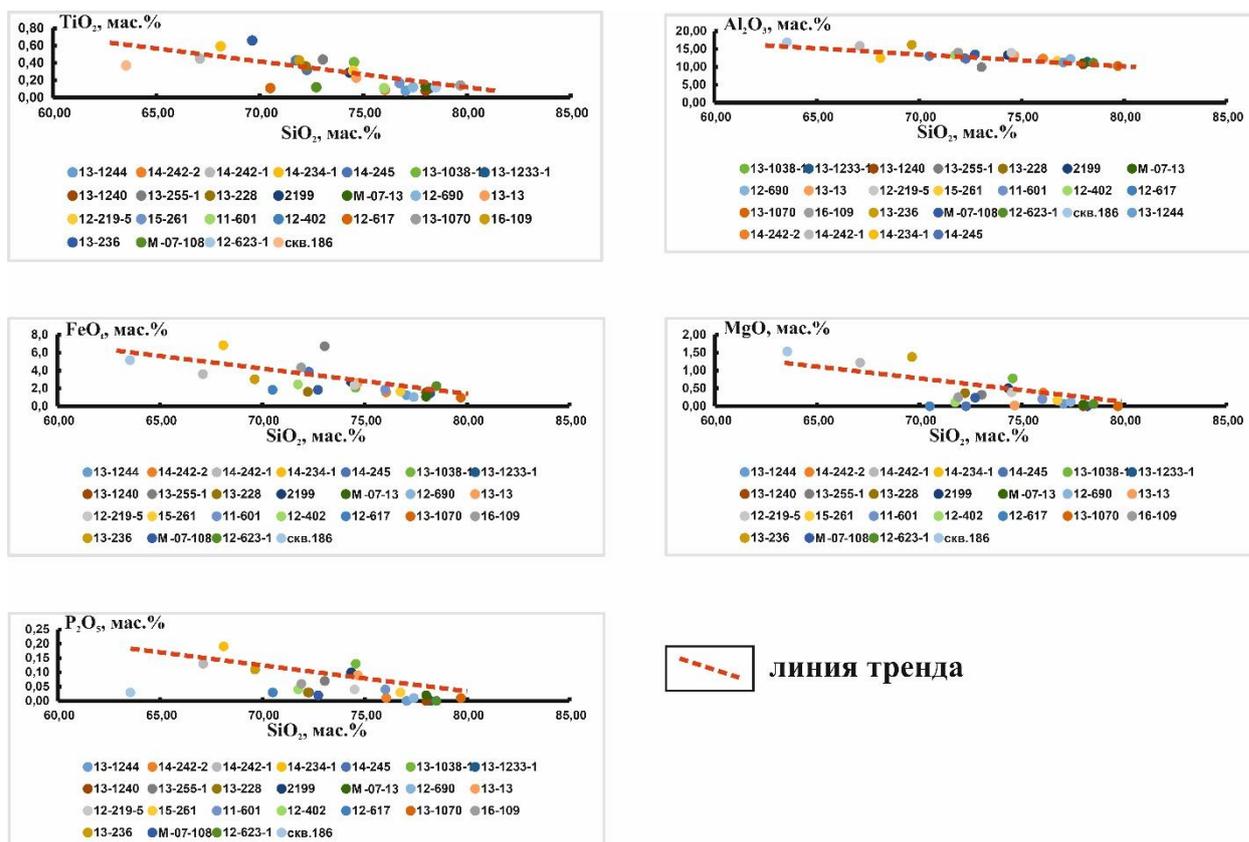


Рисунок 3.29 Вариационные диаграммы Харкера [Harker A., 1904] с фигуративными точками составов кислых пород туяхланьинского комплекса Маньхамбовского блока

### Геохимическая характеристика

Согласно классификации, В. Гольдшмидта (1924) с дополнениями [Требования..., 2021] породы туяхланьинского комплекса характеризуются халькофильной специализацией. Породы обладают весьма неоднородным и своеобразным геохимическим спектром микроэлементов, в котором есть признаки магматических образований, как областей растяжения, так и областей сжатия.

В геохимических спектрах кислых магматитов фиксируется высокая концентрация ( $K_k > 10$ ) Ag, Te, в некоторых пантеллеритах, комендитах, щелочных и ультракалиевых риолитах наблюдаются высокие содержания Au, Pd, Pt, Ir, Re, Os. Повышенное содержание имеет Nb. Дефицит отмечается для Li, Be, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, W, Hg, Te, Pb, Bi. Остальные элементы имеют окологларковое содержание либо достаточно контрастные и неоднородные концентрации (Рисунок 3.30 А) (Приложение 7).

Спектры распределения лантаноидов кислых вулканитов представлены V-образным графиком с весьма выраженным отрицательным наклоном (рисунок 3.30 Б). Это обусловлено преобладанием легких РЗЭ (La-Nd) относительно средних (Sm-Ho) и тяжелых (Er-Lu) элементов ( $La/Yb = 1,3-41,1$ ). Европейская аномалия, как правило, имеет четкий отрицательный характер ( $Eu/Eu^* = 0,05-1,0$ ). Сумма РЗЭ варьирует от 31,5 г/т до рудной

концентрации 1238,8 г/т. Такое поведение лантоноидов и характер европейской аномалии, предположительно, вызван фракционированием полевых шпатов при плавлении исходного вещества (частичным плавлением) [Мартынов Ю.А., 2010].

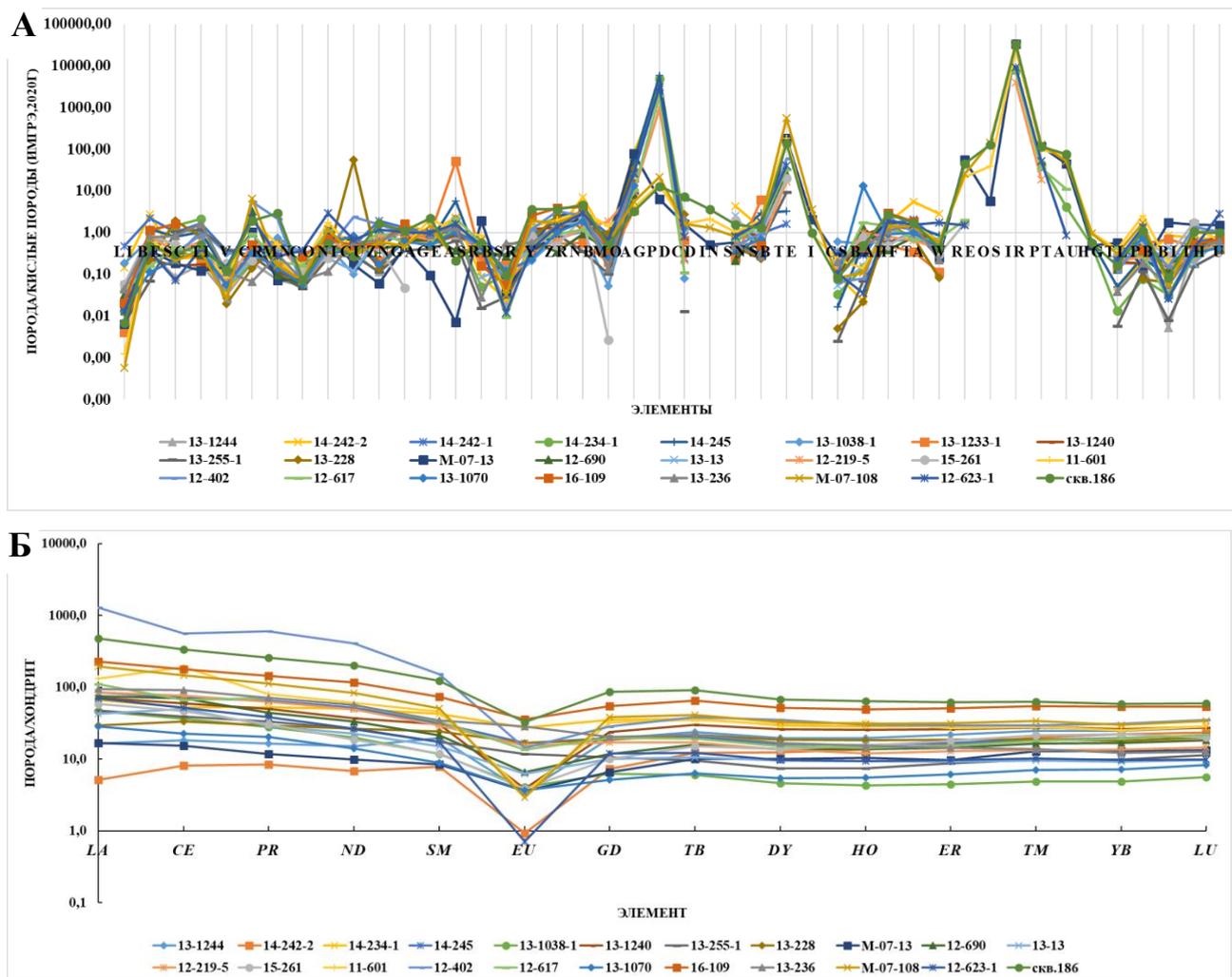


Рисунок 3.30 Кларки концентрации микроэлементов (А) и распределение РЗЭ (Б) в кислых вулканитах туяхланьинского комплекса Маньхямбовского блока

По соотношению Rb/Sr большая часть вулканитов соответствуют магматическим породам, образованным в обстановке коры переходного типа мощностью 20-30 и более км. Из общей тенденции выбиваются породы Na-типа щелочности, которые фиксируются в обстановке коры переходного типа мощностью менее 20 км.

Проведя расчет различных дискриминационных отношений содержаний малых элементов в породах туяхланьинского комплекса получены следующие результаты: Ce/Pb – 7,1; La/Yb – 9,9; Nb/U – 13,8; Nb/Yb – 11,0; Zr/Nb – 6,5; Th/Ta – 3,9; Th/Yb – 2,9; Th/U – 3,7; Ba/Rb – 8,2; TiO<sub>2</sub>/Dy – 400; Nb/Ta – 14,5; Zr/Hf – 32,0; Zr/Sm – 45,2; Y/Sc – 9,5; Zr/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,6; K<sub>2</sub>O/Sr – 1331,5; Li/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,01. Сравнивая значения дискриминационных отношений различных геодинамических обстановок [Наумов В.Б., Дорофеева В. А и др., 2019] и изучаемых пород наибольшее сходство наблюдается с континентальными внутриплитными

обстановками (таблица 3.4). Резкое отличие от различных геодинамических обстановок наблюдается для Ce/Pb, Nb/U, Zr/Nb, Th/Yb. Это связано с повышенным содержанием в породах Nb и РЗЭ. Высокое Ba/Rb отношение связано с наличием в вулканитах карбоната бария, представленным бенстонитом. Низкое отношение Li/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> связано с дефицитом лития в исследуемых породах.

Таблица 3.4 - Отношения элементов в магматических расплавах кислого состава в различных геодинамических обстановках и в породах туяхланьинского комплекса Маньхамбовского блока

Отношения элементов	Геодинамическая обстановка			Маньхамбовский блок
	Островная дуга	Активная континентальная окраина	Континентальные внутриплитные обстановки	Туяхланьинский комплекс
Ce/Pb	2,7 [+1,2/-0,8]	2,1 [+2,0/-1,0]	2,0 [+2,3/-1,1]	7,1 (24)
La/Yb	9,1 [+7,3/-4,0]	8,3 [+7,8/-4,0]	9,0 [+7,1/-4,0]	9,9 (24)
Nb/U	2,7 [+1,0/-0,7]	2,5 [+2,9/-1,3]	4,6 [+4,4/-2,2]	13,8 (24)
Nb/Yb	2,8 [+3,4/-1,5]	3,8 [+5,2/-2,2]	10,2 [+8,2/4,5]	11,0 (24)
Zr/Nb	12,8 [+14,8/-6,9]	13,3 [28,4/-9,1]	2,9 [+2,8/-1,4]	6,5 (24)
Th/Ta	17,3 [+8,1/-5,5]	10,5 [+8,6/-4,7]	6,5 [+4,9/-2,8]	3,9 (24)
Th/Yb	4,4 [+4,4/-2,2]	2,8 [5,5/-1,8]	6,0 [+5,2/-2,8]	2,9 (24)
Th/U	3,9 [+1,8/-1,2]	2,8 [+1,4/-0,9]	2,9 [+1,2/-0,8]	3,7 (24)
Ba/Rb	5,5 [+15,8/-2,8]	5,2 [+15,7/-3,9]	0,2 [+1,6/-0,2]	8,2 (24)
TiO <sub>2</sub> /Dy	400 [+580/-240]	750 [+1360/-480]	100 [+200/-100]	400 (24)
Nb/Ta	12,2 [+4,3/-3,7]	8,8 [+6,0/-3,6]	12,3 [+5,1/-3,6]	14,5 (24)
Zr/Hf	32,0 [+7,8/-6,2]	32,2 [+10,9/-8,2]	26,7 [+10,6/-7,6]	32,0 (24)
Zr/Sm	29,7 [+23,9/-13,2]	39,9 [+30,5/-17,3]	23,8 [+16,1/-9,6]	45,2 (24)
Y/Sc	3,2 [+2,2/-1,3]	2,4 [+1,5/-0,9]	5,6 [16,6/-4,2]	9,5 (24)
Zr/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,3 [+0,9/-0,2]	0,3 [+0,9/-0,2]	0,8 [+3,0/-0,7]	0,6 (24)
K <sub>2</sub> O/Sr	500 [+1000/-340]	1020 [+5800/-870]	1380 [+3420/-9850]	1331,5 (24)
Li/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08 [+0,5/-0,07]	0,05 [+0,3/-0,04]	0,3 [+0,6/-0,2]	0,01 (24)

Примечание: в [ ] доверительный интервал, в () указано количество определений

Сравнивая содержания микроэлементов пород туяхланьинского комплекса с магмой N-MORB типа [S. Sun, W. F. McDonough, 1989] установлены следующие закономерности (рисунок 3.31): вулканиты характеризуются высоким содержанием литофильных некогерентных элементов, как крупноионных (Cs, Rb, K, Ba), так и высокозарядных (Th, U, Nb, Ta, Zr, Hf, Y, легкие РЗЭ) элементов. Отмечаются максимумы Tl, K, Pr, Nd, Hf, Sb и отрицательные аномалии по Pb, Sr, P, Ti, что сближает их по форме спектра с валовым составом верхней континентальной коры. Возможно, эта близость связана с процессом контаминации расплава с коровым веществом [С.А. Сасим и др., 2012]. Крупноионные некогерентные и легкие редкоземельные элементы, равно как и U и Th значительно преобладают над тяжелыми РЗЭ. Такое поведение крупноионных литофильных элементов (LILE), Th и U, а также низкие концентрации тяжелых РЗЭ связаны с процессами

плюмового (внутриплитного) магматизма [Мартынов Ю. А., 2010]. По характеру концентрации микроэлементов породы имеют очень близкое распределение с внутриконтинентальными (континентальных рифтов) обстановками [Фролова Т.И., Бурикова И.А., 2010].

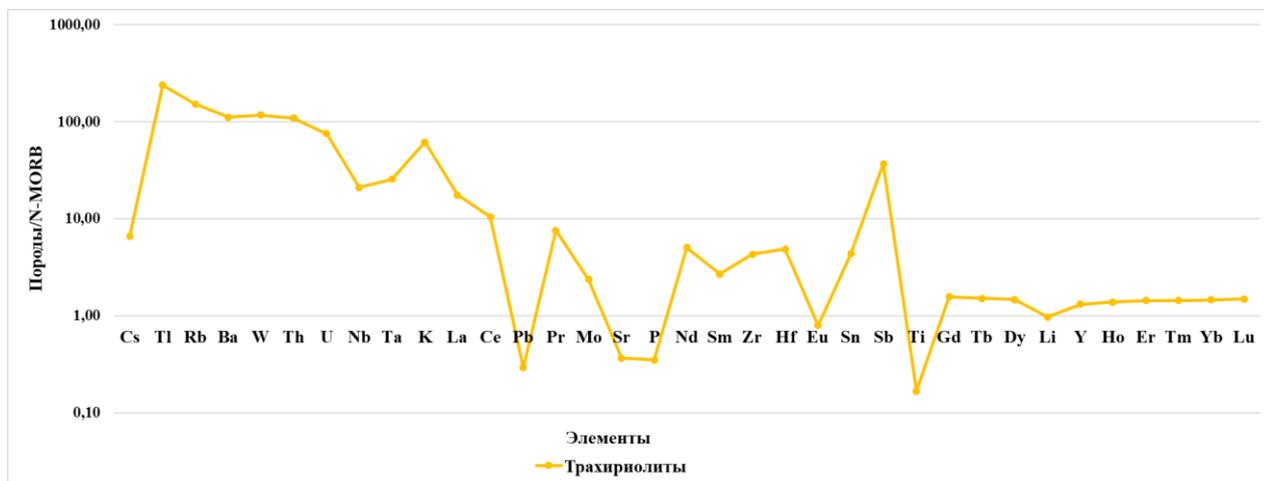
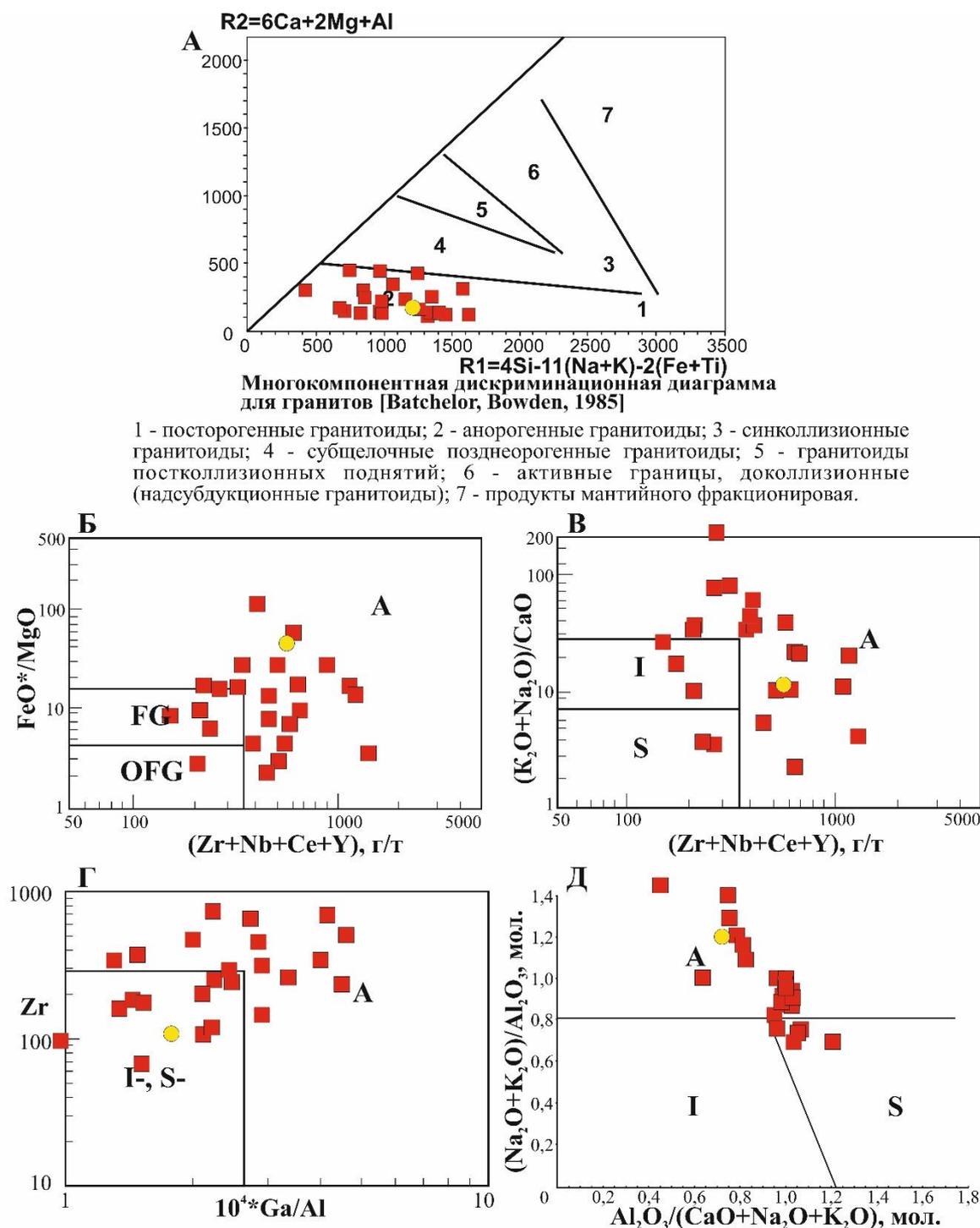


Рисунок. 3.31 Мультикомпонентная спайдер-диаграмма кислых вулканитов туяланьинского комплекса. N-MORB – средний состав нормального базальта океанических островов [по S. Sun, W. F. McDonough, 1989]

#### Геодинамика

Кислые породы туяланьинского комплекса на многокомпонентной дискриминационной диаграмме Р.А. Батчелора и П. Боудена [Batchelor, R. A. & Bowden, P., 1985] концентрируются в области анорогенных пород (рисунок 3.32 А). Анорогенная природа исследуемых пород фиксируется и на диаграммах Дж. Б. Уэлена [Whalen, J.V. and etc., 1987], Б. Чаппелома и А. Уайта [B.W. Chappell, A.J.R. White, 1974] (рисунок 3.32 Б-Д), где большая часть фигуративных точек пород попадает в поле развития продуктов «А» типа. Магматиты А-типа – это образования характерные для рифтовых зон и внутренних областей устойчивых континентальных плит, а также широко развиты в условиях постколизийной обстановки [Loiselle M.C., Wones D.R., 1979]. Повышенная щелочность, причем с резким преобладанием калия над натрием, что прослеживается в ультракалиевых риолитах туяланьинского комплекса, указывает на то, что они формировались в блоках литосферы с мощной зоной гранитоидов, то есть с мощной континентальной корой (вовремя формирование исследуемых пород на территории Маньхамбовского блока существовала достаточно мощная, 20-30 км и более континентальная кора), что неизбежно определяет их тектонической позицию как анорогенную или посторогенную.



I - (изверженные) продукты кристаллизации коровых расплавов;  
 S - (осадочные) продукты плавления метаосадочных пород;  
 A - (анорогенные, безводные, щелочные) продукты плавления нижнекоровых гранулитов или дифференциаты щелочно-базальтоидных магм;  
 FG - фракционированные граниты; OFG - нефракционированные граниты

● Микрограносиениты (поньинский комплекс) ■ Трахириолиты и риолиты (туяхланьинский комплекс)

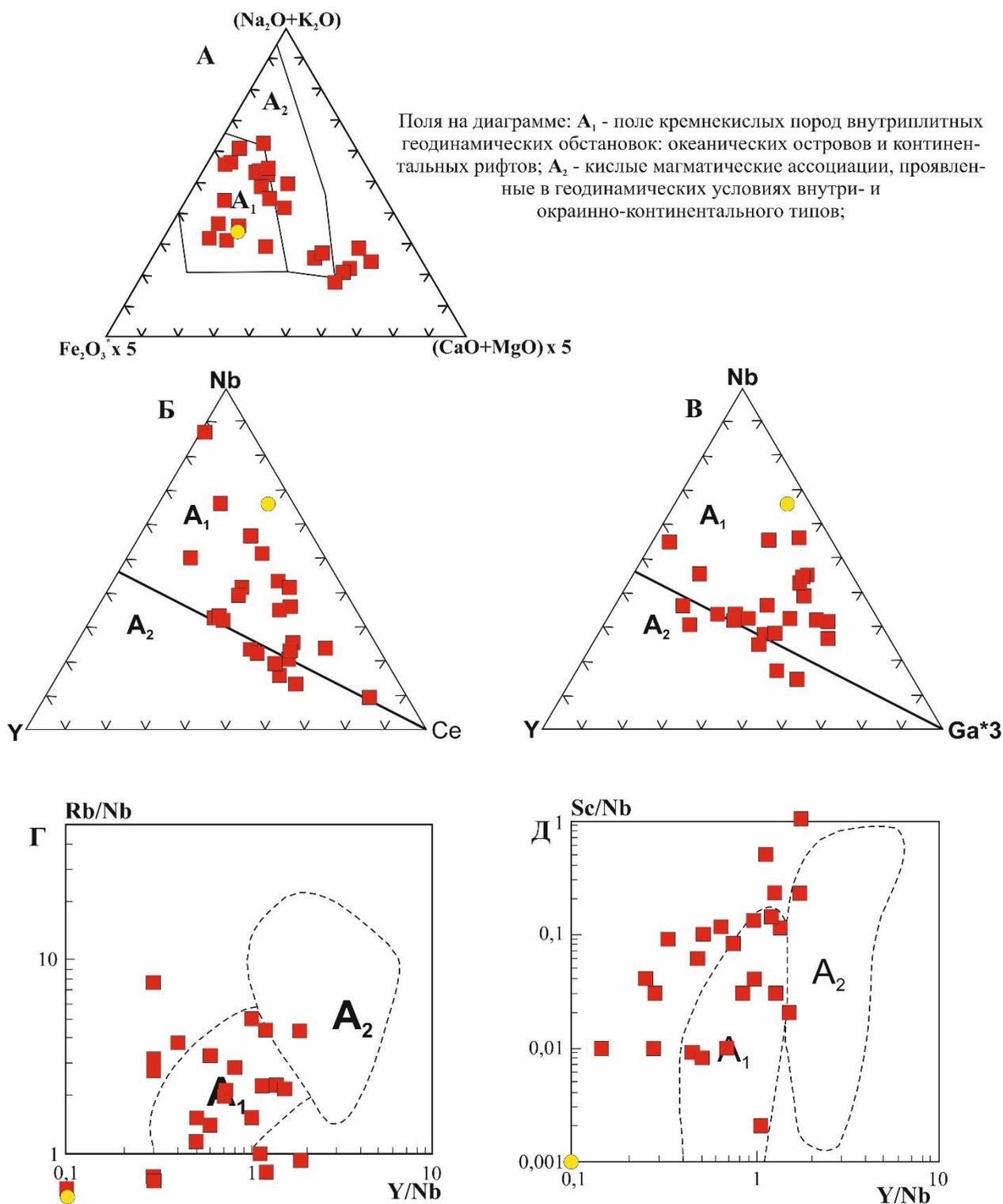
Условные обозначения: A - многокомпонентная дискриминационная диаграмма для кислых пород [Batchelor R. A. & Bowden P, 1985]; Дискриминационные диаграммы Дж. Б. Уэлена [Whalen, J.V. and etc., 1987], Б. Чэппела и А. Уайта [B.W. Chappell, A.J.R. White, 1974]: Б - FeO\*/MgO - (Zr+Nb+Ce+Y); В - (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/CaO - (Zr+Nb+Ce+Y); Г - Zr - Ga\*10<sup>4</sup>/Al; Д - (Na<sub>2</sub>O+ K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / (CaO+ Na<sub>2</sub>O+ K<sub>2</sub>O)

Рисунок. 3.32 Классификационные петрохимические диаграммы с точками составов микрограносиенитов (поньинский комплекс) и трахириолитов и риолитов (туяхланьинский комплекс) Маньхамбовского блока

На классификационных геодинамических диаграммах Г. Н. Эби [Eby G.N., 1992] (рисунок 3.33 А-Д) фигуративные точки кислых магматических образований имеют весьма широкий диапазон расположения. Однако, большая часть пород прослежены в области А<sub>1</sub>, что соответствует внутриплитным геодинамическим обстановкам и обстановки континентальных рифтов.

Такая же картина наблюдается на геодинамических диаграммах П.Д. Маниара и П.М. Пикколи [Maniar P. D., Piccoli P. M., 1989] (рисунок 3.34 А-В), где субщелочные и щелочные риолиты, трахириолиты, риодациты и трахириодациты расположены в обстановках, связанных с рифтами, или посторогенным режимом, либо фиксируются в смежных зонах. По классификационной диаграмме Дж. Пирса и др. [Pearce J. A., Harris N. B.W., Tindle A. G., 1984] (рисунок 3.34 Г-Ж) кислые разновидности пород имеют широкие вариации содержания таких химических элементов как Nb, Y, Ta, Yb, Rb. Однако, с геодинамической точки зрения магматические образования тяготеют к внутриплитному режиму, так как большинство фигуративных точек находятся в зоне внутриплитных пород или в непосредственной близости.

Магматические образования туяхланьинского комплекса на диаграмме Th/Yb – Nb/Yb [Pearce, J.A., 2008] (рисунок 3.35) обладают деплетированным составом и тяготеют к составу базальтов океанических островов (ОИВ). Отношение Nb/Yb в породах туяхланьинского комплекса варьирует от 3,5 до 30,2. Среди процессов, которые могли повлиять на образование пород фиксируется четкая тенденция обогащения внутриплитным (плюмовым) компонентом, что также подтверждается в исследованиях Душина В.А. [Душин В.А., 2017]. Th/Yb отношение позволяет оценить роль гибризма и контаминации первичных мантийных (астеносферных) магм веществом литосферы и коры (с возможным смешением разноглубинных расплавов). Отношение Th/Yb в кислых вулканитах варьирует от 1,0-2,0, а в ультракалиевых риолитах до 12,0. Рост Th/Yb отношения свидетельствует об усилении взаимодействия первичных магм с коровым веществом как нижней (НКК), так и верхней (ВКК) части.

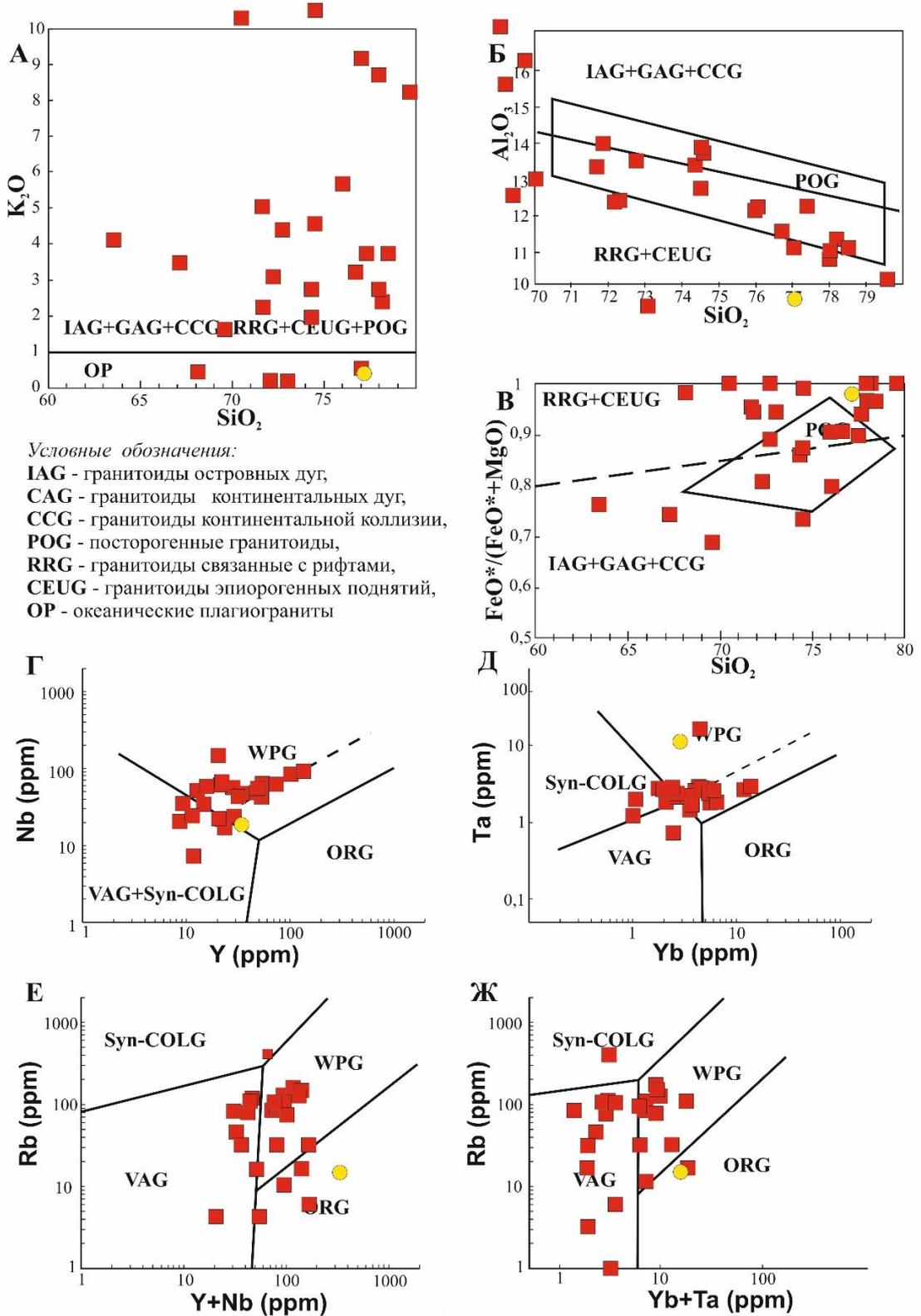


Поля на диаграмме:  $A_1$  - поле кремнекислых пород внутриплитных геодинамических обстановок: океанических островов и континентальных рифтов;  $A_2$  - кислые магматические ассоциации, проявленные в геодинамических условиях внутри- и окраинно-континентального типов;

● Микрограносиениты (поньинский комплекс) ■ Трахириолиты и риолиты (туяхланьинский комплекс)

Условные обозначения: классификационные геодинамические диаграммы Г.Н.Эби [Eby G.N., 1992]:  
 А-  $Fe_2O_3 \times 5 - (Na_2O+K_2O) - (CaO+MgO) \times 5$ ; Y-Nb-Ce; Б - Y-Nb-Ce; В - Y-Nb-Ga\*3; Г - Rb/Nb - Y/Nb;  
 Д - Sc/Nb - Y/Nb

Рисунок. 3.33 Классификационные петрохимические диаграммы с точками составов микрограносиенитов (поньинский комплекс) и трахириолитов и риолитов (туяхланьинский комплекс) Маньхамбовского блока



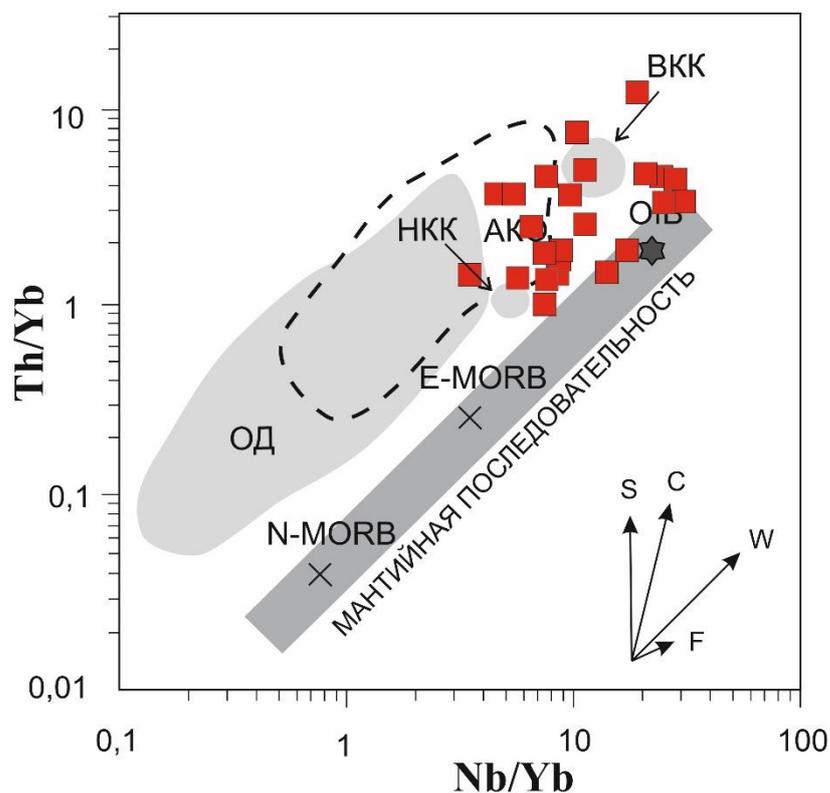
Условные обозначения:  
**IAG** - гранитоиды островных дуг,  
**CAG** - гранитоиды континентальных дуг,  
**CCG** - гранитоиды континентальной коллизии,  
**POG** - посторогенные гранитоиды,  
**RRG** - гранитоиды связанные с рифтами,  
**CEUG** - гранитоиды эпиорогенных поднятий,  
**OP** - океанические плагиограниты

● Микрограносиениты (поньинский комплекс) ■ Трахириолиты и риолиты (туяхланьинский комплекс)

Условные обозначения: **ORG** – породы океанических хребтов, **WPG** – внутриплитные породы, **VAG** – породы вулканических дуг, **Syn – COLG** – коллизионные породы

Условные обозначения: классификационные диаграммы П.Д. Маниара и П.М Пикколи [Maniara P. D., Piccoli P. M., 1989]; А –  $K_2O - SiO_2$ ; Б –  $Al_2O_3 - SiO_2$ ; В –  $FeO^*/(FeO^*+MgO) - SiO_2$ ; классификационные диаграммы Дж. Пирса и др. [Pearce J. A., Harris N. B.W., Tindle A. G., 1984]; Г – Nb-Y; Д – Ta-Yb; Е – Rb-Y+Nb; Ж – Rb-Yb+Ta

**Рисунок. 3.34 Классификационные петрохимические диаграммы с точками составов микрограносиенитов (поньинский комплекс) и трахириолитов и риолитов (туяхланьинский комплекс) Маньхамбовского блока**



■ Трахириолиты и риолиты (туяхланьинский комплекс)

Векторами отмечено возможное влияние процессов: S – обогащения субдукционным компонентом, C – коровой контаминации, W – обогащения внутриплитным (плюмовым) компонентом, F – фракционной кристаллизации. Точки средних составов нормального базальта срединно-океанических хребтов (N-MORB), обогащенных базальтов срединно-океанических хребтов (E-MORB), базальтов океанических островов (ОИВ) приведены по [S.S. Sun, 1989]; валовый состав верхней континентальной коры (ВКК), валовый состав нижней континентальной коры (НКК) по [С.Р. Тейлор, 1988]; поля составов островных дуг (ОД) и активных континентальных окраин (АКО) приведены по [M. Wilson, 1989] адаптированных по [Z. Zhao, 2009]

*Рисунок 3.35 Положение кислых туяхланьинского комплекса Маньхамбовского блока на классификационной диаграмме Th/Yb – Nb/Yb [Pearce, J.A., 2008]*

#### Выводы

По результатам различным минералого-петрографических, петрохимических и геохимических исследований кислых пород туяхланьинского комплекса можно выделить следующие их особенности:

1. Кислые вулканыты туяхланьинского комплекса обладают массивной, полосчатой и флюидальной текстурой. Общая структура пород – порфировая, редкопорфировая, иногда афировая. Содержание вкрапленников колеблется от 10-20 до 30-40 % от объема породы, которые представлены кварцем, полевым шпатом, плагиоклазом, иногда амфиболом и биотитом. Основная масса сложена тонким кварц-полевошпатовым мезостазисом. Из аксессуарных минералов присутствуют – магнетит, титанит, ильменит, рутил, гематит, монацит и циркон.

2. При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе удалось более точно установить минеральный вид и химический состав вкрапленников, где полевой шпат представлен ортоклазом, амфибол – рибекитом, слюда – аннитом и фенгитом. Присутствие рибекитов в породах указывает на то, что формирование пород происходило в процессе сжатия, то есть на завершающей стадии внутриплитного вулканизма [Фромберг Э.Д., 1993, Трутнев А.К., Душин В.А. 2019].

3. Впервые для территории Приполярного Урала установлены зерна карбоната бария – бенстониты, которые накапливаются в постмагматические этапы и способны концентрироваться в результате мобилизации растворяющихся или перекристаллизующихся калиевых полевых шпатов [Фромберг Э.Д., 1993].

4. На классификационной петрохимической TAS ( $\text{SiO}_2\text{-(Na}_2\text{O+K}_2\text{O)}$ ) диаграмме породы соответствуют субщелочным и щелочным риодацитам, риолитами, трахидацитам, трахириодацитам, трахириолитами, пантеллеритами и комендитами, которые обладают высоким содержанием кремнезема вплоть до ультракислых разновидностей ( $\text{SiO}_2$  63,5 - 79,7 мас. %), а также характеризуются широким диапазоном щелочей от нормально-щелочного до щелочного ряда ( $\text{K}_2\text{O+Na}_2\text{O} = 6,9\text{-}20,0$  мас. %), повышенным содержанием  $\text{TiO}_2$  (0,3-0,7 мас. %) и высокой железистостью ( $X_{\text{Fe}} = 0,69\text{-}1,0$ ). Большинство пород обладают повышенным содержанием глинозема ( $A/\text{CNK} = 1,0\text{-}1,2$ ), исключением являются пантеллериты, комендиты и ультракалиевые риолиты которые пресыщены щелочными компонентами. Петрохимические характеристики кислых пород указывают на то, что они принадлежат известково-щелочной серии. Однако, обособленное место занимают пантеллериты, комендиты и ультракалиевые риолиты, которые характеризуются щелочной серией, а по содержанию калия относятся к шошонитовым разновидностям пород. По типу щелочности породы характеризуются от натровой ( $\text{Na}_2\text{O/K}_2\text{O} = 12,5\text{-}45,9$ ), калий-натровой ( $\text{Na}_2\text{O/K}_2\text{O} = 1,1\text{-}3,3$ ) до ультракалиевой серии, где фиксируется резкое преобладание калия над натрием ( $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O} = 25,1\text{-}42,8$ ). Аналогичная петрохимическая характеристика наблюдается в обстановках континентальных рифтов, в частности в Африканско-Аравийском рифтовом поясе [Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997].

5. Спектры распределения РЗЭ представлены V-образным графиком с весьма выраженным отрицательным наклоном ( $\text{La/Yb} = 1,3\text{-}41,1$ ). Европейская аномалия, как правило, имеет четкий отрицательный характер ( $\text{Eu/Eu}^* = 0,05\text{-}1,0$ ). Сумма РЗЭ варьирует от 31,5 г/т до рудной концентрации 1238,8 г/т.

6. В вулканитах фиксируется высокая концентрация ( $\text{Kk} > 10$ ) Ag, Te, а в пантеллеритах, комендитах и ультракалиевых риолитах наблюдается высокие концентрации Au, Pd, Pt, Ir, Re, Os. Повышенное содержание имеет Nb.

7. Сравнивая средний химический состав [Фролова Т.И., Бурикова И.А., 1997] и дискриминационные отношения [Наумов В.Б, Дорофеева В. А и др., 2019] различных геодинамических обстановок и изучаемых пород наибольшее сходство наблюдается с континентальными внутриплитными обстановками. Резкое отличие от различных геодинамических обстановок наблюдается для  $Ce/Pb$ ,  $Nb/U$ ,  $Zr/Nb$ ,  $Th/Yb$ . Это связано с повышенным содержанием в породах Nb и РЗЭ. Высокое  $Ba/Rb$  отношение связано с наличием в вулканитах карбоната бария, представленным бенстонитом. Низкое отношение  $Li/P_2O_5$  связано с дефицитом лития в исследуемых породах.

8. Кислые вулканиты характеризуются высоким содержанием литофильных некогерентных элементов, как крупноионных (Cs, Rb, K, Ba), так и высокозарядных (Th, U, Nb, Ta, Zr, Hf, Y, легкие РЗЭ) элементов. Отмечаются максимумы Tl, K, Pr, Nd, Hf, Sb и отрицательные аномалии по Pb, Sr, P, Ti. Породы обладают высокими соотношениями  $La/Yb$  (9,9),  $Nb/Yb$  (11,0),  $Th/U$  (3,7). Крупноионные некогерентные и легкие редкоземельные элементы, равно как и U и Th значительно преобладают над тяжелыми РЗЭ. Такое поведение крупноионных литофильных элементов (LILE), Th и U, а также низкие концентрации тяжелых РЗЭ связаны с процессами плюмового (внутриплитного) магматизма [Мартынов Ю. А., 2010].

9. На различных геодинамических диаграммах установлена внутри-(окрайно)-плитная природа формирования пород, а среди процессов, которые могли повлиять на образование фиксируется четкая тенденция обогащения внутриплитным (плюмовым) компонентом.

10. Рудоносность пород характеризуется благородно-редкоземельно-редкометалльно-уран-ториевой специализацией. Это обусловлено связью с ними проявлений, пунктов минерализаций и аномалии урана, тория, редких и редкоземельных металлов.

Из выше перечисленных выводов следует, что по своим структурно-текстурным особенностям, минеральному составу, химическому составу полевых шпатов, амфиболов и слюд, петрохимическим и геохимическим характеристикам породы туяхлянтинского комплекса близки и комагматичны с внутриплитными граносиенитами и гранитами Лонготюганского и осоевского (Р – Т) комплексов Полярного Урала.

Таким образом, проведя различные виды исследований можно сделать вывод о том, что породы поньинского и туяхлянтинского комплексов характеризуются повышенной щелочностью K-Na и K типа, повышенной титанистостью, железистостью, высоким

содержанием редких и редкоземельных элементов, составы которых свойственны продуктам внутриплитного рифтогенного магматизма.

Проявление такого внутри-(окрайно)-плитного магматизма, скорее всего, обусловлена процессами пермско-триасового возраста, протекавших в пределах Западно-Сибирской плиты, имевших плюмовую природу (Сибирский суперплюм) и реализованных в интенсивной, в том числе блоковой, перестройке земной коры в области сочленения Урала и Западно-Сибирской платформы (Волков С.Н., 1960; Душин В.А., 1999, 2016).

## ГЛАВА 4. ЭНДОГЕННАЯ РУДОНОСНОСТЬ ПЕРМСКО-ТРИАСОВОГО ЭТАПА МАНЬХАМБОВСКОГО БЛОКА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

### 4.1 Металлогенические эпохи Маньхамбовского блока

Уральский складчатый пояс является весьма актуальным полигоном для разработки и внедрения передовых металлогенических концепций, выступая инвестиционно привлекательной территорией для горно-геологической отрасли страны [Душин В.А., Трутнев А.К. и др., 2021]. В пределах развития Маньхамбовского блока (Приполярный Урал) выявлено более 50 рудопроявлений и около 200 точек минерализации черных, цветных, благородных, редких, редкоземельных и радиоактивных металлов [Морозов А.Ф. и др., 2010, Морозов А.Ф. и др., 2013, Душин В.А. и др., 2018, Душин В.А. и др., 2018].

Изучением геологии и металлогении Маньхамбовской структуры в разные годы занимались многочисленные исследователи, начиная с А.Н. Алешкова (1937) и Н.А. Сирина (1941). Среди них следует отметить М.Б. Фишмана, Б.А. Голдина, Е.П. Калинина, С.С. Щербина (1963-1970), В.Н. Малашевского (1970), В.С. Митюшеву (1971), Г.И. Севастьянова (1974). Этими же вопросами при геолого-съёмочных и тематических работах занимались Л.Т. Белякова (1968-1979), В.А. Душин (1984-1987, 2006-2016), А.В. Калиновский (1989-1990) и многие другие исследователи [Душин В.А., Трутнев А.К. и др., 2021]. Металлогения Маньхамбовского блока связана с развитием широкого спектра геологических процессов, обусловивших формирование большого разнообразия полезных ископаемых (рисунок 4.1), проявившихся в пределах четырех металлогенических эпох: дорифейской, рифейско-раннекембрийской, среднекембрийско-карбоновой и палеоген-четвертичной

*Дорифейская металлогеническая эпоха* охватывает структурно-вещественные комплексы данного возрастного уровня, представленные метаалевро-глинисто-песчаной, metabазальтовой и возможно, мигматит-гранитовой формациями [Душин В.А., 1997, Душин В.А., 2007]. Металлогения этой эпохи в настоящее время изучена еще слабо и характеризуется проявлением метаморфогенного оруденения, главным образом, неметаллических полезных ископаемых (графит, мусковит, кианит, андалузит), а также железа, титана и, возможно, марганца.

*Рифейско-раннекембрийская металлогеническая эпоха* от нижележащих образований отделяется крупным перерывом в осадконакоплении, фиксируемым многоэтапными дислокациями как рифея, так и фанерозоя. Анализ геологической информации по рифею-венду севера Урала в сопоставлении её с данными по фундаменту северо-востока Русской платформы и Западно-Сибирской плиты свидетельствует о том, что

осадконакопление и магматизм этого периода носили черты субплатформенного *авлакоген-рифтогенного* ( $RF_{1-3}$ ) и *коллизионного* ( $RF_3-\epsilon_1$ ) типов.

МЕТАЛЛОГЕНИЯ		ВОЗРАСТ	МЕТАЛЛОГЕНОГРАММА	НАЗВАНИЯ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ
ЭПОХА	ЭТАП			
МЕЗОЗОКЛАЙНО-ЗОЙСКАЯ	ВНУТРИ-ПЛИТНЫЙ	P-Q		U-Моховое, Au-Каталамбинское
		T-K		TR(U)- Турупья, Ватлинское
ПАЛЕОЗОЙСКАЯ	РИФТОГЕННО-КОЛЛИЗИОННЫЙ	P		Au-Чудное
		C		
		D		
	ДЕПРЕССИОННО-РИФТОГЕННЫЙ	S		Pb-Zn-Кожимское Cu-Косьюньское U-Народное TR- Торговское, Малопатокское, Щугорское, Кулемшорское Au-Самшитовое, Альбовское, Нестеровское Алмаз-Хартеское, Сертыньинское
		O		
		$\epsilon_3$		
РИФЕЙСКО-КЕМБРИЙСКАЯ	ЭМЕРСИВНЫЙ	$\epsilon_2$		TR-Заоблачное, Сводовое U(Ag)-Ясное, U(Mo)-Редка I, II
		$\epsilon_1$		TR(U)-Поньзское, Няртсюю, Верхнеталминское Au-Сосновое, Тэлаиз, Кедровое, Радейта Mn-Надеждинское
	КОЛЛИЗИОННЫЙ	$V_2$		Mn-Вэраюское W-Mo(Vi)-Холодное, Лапчавожское, Лимпопо
		$V_1$		Au-Синильга, Пологое Pb-Zn-Жильное, Каровое
				Pb-Zn-Речное I W-Чомьенское
				Pb-Zn-Речное II, Талтминское
	ДЕПРЕССИОННО-РИФТОГЕННЫЙ	$RF_3$		Au-Караванное, Патоквожское Th(U)TR-Турман, Южное, Щербинское др.
		$RF_2$		U(TR)-Прощальное, Патокское Au(Ag,Pb)-Лебединское, Южное, Ятья
				Fe-Атертумп
		$RF_1$		Fe(TR)-МАН-9
ДОРИФЕЙСКАЯ	ПРОТОПЛАТ-ФОРМЕННЫЙ	$PR_1$		Пункты и точки минерализации

Рисунок 4.1 Эволюция оруденения Маньхамбовского блока (Составил Душин В.А., Трутнев А.К.)

Металлогения рифейского авлакоген-рифтогенного этапа обусловлена, главным образом, рудными концентрациями железа, радиоактивных и редких металлов. Так в истоках р.Ман-Няйс выявлено мелкое месторождение формации железистых кварцитов (МАН-9) [Душин В.А. и др., 2018, Душин В.А., Трутнев А.К. и др., 2021]. Магнетитовые руды и вмещающие их породы характеризуются наличием примесей цветных, редких и благородных металлов [Файнштейн Г.Г., 2009]. В тектонизированной конгломерато-песчаниковой пачке основания хобеинской свиты позднего рифея в восточном экзоконтакте Маньхамбовского массива расположена группа комплексных полигенно-полихронных уран-торий-редкометалльных, изначально палеороссыпных объектов (Неизвестный, Северный, Турман, Укью и др.) принадлежащих, по-видимому, к типу «несогласия» [Щербин С.С., 1968, Верховцев В. А., Душин В. А., 2000, Душин В.А. и др., 2017]. Хобеинская фаллаховая формация содержит небольшие проявления медистых песчаников и стратиформные полиметаллические золотосодержащие объекты [Душин В.А., Трутнев А.К. и др., 2021].

С коллизионным венд-кембрийским саблегорско-лаптопайским терригенно-вулканогенным этапом развития территории, сопровождаемым комагматичным габбро-диорит-монцитновым и гранит-лейкогранитовым магматизмом связаны многочисленные проявления железа, урана, тория, цветных и редких металлов. Скарново – железорудная формация представлена мелкими объектами в ранге проявлений и точек минерализации. Наиболее крупными из них является проявление Поньизское, где установлены коренные выходы и элювиальные развалы скарново-магнетитового оруденения. С коллизионными процессами связано проявление редкометалльного (Турупьинское, Валгинское, Поньинское) и золотого (за пределами блока) оруденения. В восточной части Маньхамбовского блока выявлены два схожих по обстановке полиметаллических проявления – Талтминское и Речное II, где рудоносные зоны березитизированы и нередко накладываются на породы саблегорского и манараго-сивьягинского комплексов [Душин В.А. и др., 2018]. Завершают коллизионные процессы объекты уран-молибденовой–березитовой с серебром формации, к которым принадлежат такие рудопроявления как Редка I, II, контролируемые Кулемшорско-Маньхамбовской шовной зоной (рисунок 1.1) [Душин В.А. и др., 2010, Душин В.А. и др., 2018]. Как правило комплексное уран-молибденовое оруденение сопровождается редкометалльно-редкоземельными ассоциациями, реализованными в рудопроявлениях, таких как Няртсюю I, II и Верхнетолтминское [Щербин С.С., 1968, Душин В.А., Трутнев А.К. и др., 2021].

Среднекембрийско-ордовикская металлогеническая эпоха отвечает времени зарождения и развития к востоку от Палеоконтинентального сектора Уральского

палеоокеана, к западу от которого формировалась пассивная (рифтогенная) континентальная окраина с развитием шельфовых, склоновых осадочных формаций, широко представленных в обрамлении, а местами, внутри Маньхамбовского блока в виде узких прогибов рифтогенной природы. В структурном плане уралид преобладают субмеридиональные и северо-восточные направления, осложненные надвиговыми дислокациями палеозоя-мезозоя. От нижележащих докембрийских отложений они (уралиды) повсеместно отделены перерывом в осадконакоплении и мощными толщами (2-30 м) полимиктовых конгломератов, содержащих продукты размыва подстилающих пород. Интрузивный магматизм палеозоя проявлен как в рифейско-вендском фундаменте Маньхамбовского блока (хартеский кимберлитовый (Є<sub>2-3</sub>), малопатокский долеритовый (Є<sub>3</sub>), пожемский трахириолитовый (Є<sub>3</sub>-О), сальнерский габбро-гранитный (Є<sub>3</sub>-О) комплексы, так и палеозойской Бельско-Елецкой шельфовой зоне.

Металлогения среднего-позднего кембрия связана с внедрением проблематичных кимберлитов лампрофиров и пикритов [Лукьянова Л. И., Бельский А. В., 1987] продуктивных на проявление алмазов и отчасти, возможно, платиноидов в ассоциации с полями даек долерит-пикритов. Металлогения кембрийско-раннеордовикской раннерифтовой стадии (рифтогенная активизация) остается еще слабо изученной. В настоящее время с ней связаны рудопроявления в основном редких металлов и отчасти пункты минерализации цветных и благородных металлов. Минерализация, как правило, приурочена к гранитоидам сальнерского габбро-гранитного (Є-О) комплекса, которые контролируются Кулемшорско-Маньхамбовской шовной зоной в узлах ее песечения с дизъюнктивами диагональных северо-западных направлений. Оруденение локализовано во внутренних зонах метасоматитов альбитовой, грейзеновой и лиственит-березитовой формации. Металлогения ранне-среднеордовикской позднерифтовой стадии связана с накоплением терригенных отложений литоральной, неритовой и отчасти батинальной зон, которые сопровождалась образованием стратиформной медной (Косьюньское, Теснинное), полиметаллической (Кожимское) минерализацией, характеризуемых бедным геохимическим спектром (медь, свинец, серебро, золото, цинк) и зачастую низким содержанием полезным компонентом в рудах. В пределах рассматриваемой территории это пункты минерализации.

Палеоген-четвертичная металлогения эпоха обязана осадконакоплению и формированию минерализации «поверхностного» (U, TR) и россыпного (Au, Pt) типов. Интересными являются урановые проявления нетрадиционного типа в современных торфяниках и илах достаточно широко представленных в Маньхамбовском блоке и относимых по классификации МАГАТЭ к «поверхностному» геолого-промышленному

типу, подтипу – в торфяниках и рыхлых отложениях. К наиболее крупным из них относятся проявления и пункты минерализации Малдизское, Перчук I, II, Моховое I, II, выявленные в разные годы тюменскими, воркутинскими геологами и сотрудниками СГИ-УГГУ [Душин В.А. и др., 2017].

В целом металлогеническую специализацию Маньхамбовского блока определяют уран, торий, железо, редкие и цветные металлы к крупнейшим объектам которых относятся месторождения Турман (U, Th, TR, Au, Pt), МАН-9 (Fe, TR), Турупьинское (Ta, Nb, TR, U, Th, Bi), Речное II (Pb-Zn) и др.

#### **4.2 Эндогенная рудоносность пермско-триасового этапа Маньхамбовского блока**

В пределах Маньхамбовского блока в результате ТМА пермско-триасового периода произошло проявление специфического субщелочного и щелочного внутриплитного магматизма, с которым связана своеобразная минерализация на важные и дефицитные металлы, такие как редкие и радиоактивные металлы и редкоземельные элементы. Кроме того, во многих объектах уран-ториевых и редких металлов (Турман, Народное, Турупьинское) рифейско-раннекембрийской эпохи отчетливо фиксируется позднепалеозойско-раннемезозойский этап рудогенеза, сопровождаемый усложнением их геохимического и минералогического спектров, что привело к увеличению рудной массы.

На Урале позднепалеозойско-раннемезозойская минерация долгое время рассматривалась только как экзогенная [Сигов А.П., 1969], однако в последнее время много исследований и предположений доказывают о существовании некоторых типов гидротермальной минерализации в позднепалеозойско-раннемезозойское время. Следовательно, можно обосновано выделить позднепалеозойско-раннемезозойский минерогенический этап с преимущественным развитием постмагматических рудных формаций, генетически или парагенетически связанных с соответствующими магматическими формациями. Связь гидротермальных рудопроявлений с позднепалеозойско-мезозойскими магматическими образованиями устанавливается на следующих данных:

- На Полярном и Приполярном Урале гидротермальная минерализация металлических (Au, TR, REE) типов полезных ископаемых имеет пермь-триасовый и юрский возраст [Апельцин Ф.Р. и др., 1967, Литошко Д.Н., 1988, Силаев В.И., 1989, Золоев К.К. и др., 2004, Душин В.А. и др., 2009, Морозов А.Ф. и др., 2010, 2013], что свидетельствует об одновременном или постмагматическом образовании с магматическими комплексами;

- Гидротермальная минерализация и продукты позднепалеозойско-раннемезозойского магматизма приурочены к единым геологическим структурам, сопряженных с развитием блоковой тектоники, наложенной на палеозойские и более древние геологические структуры, связанных с активизации древних структур (Кожимский, Северо-Маньхамбовский и Няйско-Щугорский разломы) и появлением новых (Туяхланьинский, Тильтильминский, Хомеский, Попьельский, Прищугорский и Поньизский разломы) дизъюнктивов северо-западного и субширотного простирания. Кроме того, в процесс тектоно-магматической активизации пермско-триасового периода были вовлечены крупнейшие тектонические зоны такие как Маньхамбовско-Кулемшорская, Собско-Нундерминская (последняя реализована в Присалатимском шве и Главном Уральском надвиге), где выявлены продукты субщелочного и щелочного магматизма и проявления гидротермальной минерализации;

- Магматические образования имеют преимущественно субвулканическую и гипабиссальную природу, также как и гидротермальные проявления средне-и малоглубинные по условиям формирования;

- Магматические породы не метаморфизованы, редко в них прослеживаются такие минералы как стильпомелан и пумпеллиит. Метасоматиты гидротермальных процессов также не подвергались метаморфическим преобразованиям и разрушаются в результате только экзогенных процессов;

- На многих рудопроявлениях и пунктах минерализации прослеживается зональное размещение гидротермальных месторождений по отношению к магматическим породам, например, на рудопроявлении Большая Турупья (TR, U) зафиксировано четкое зональное строение щелочных метасоматитов вокруг малого тела субщелочных риолитов.

- Установлено геохимическое родство магматических пород и гидротермальной минерализаций. Так магматические образования и щелочные метасоматиты характеризуются высокими концентрациями Ta, Nb, PЗЭ и U.

Таким образом, в пределах Маньхамбовского блока нами установлена редкоземельно-редкометалльная урансодержащая минерализация пермско-триасового периода, связанная с внутри(окраино)плитной рифтогенной тектоно-магматической активизации.

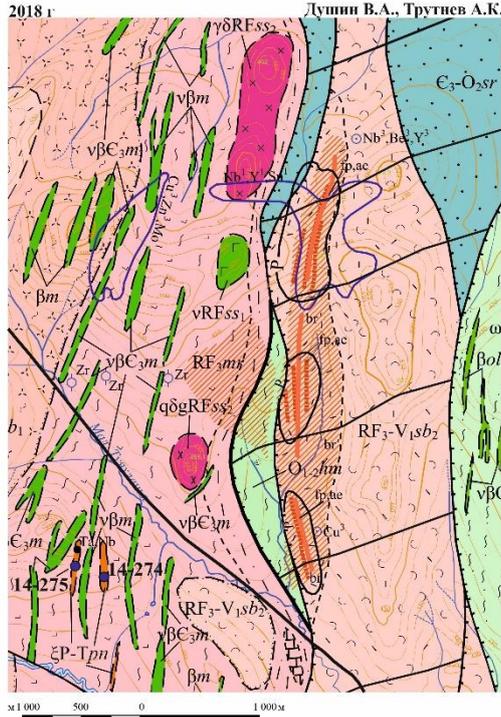
Эталонным объектом описываемого оруденения является своеобразное *Турупьинское (Большая Турупья)* рудопроявление комплексной редкоземельно-редкометалльной урансодержащей минерализации, главным образом определившие перспективность пермско-триасового периода Маньхамбовского блока. Рудопроявление располагается в междуречье рек Большая Турупья и Малая Туяхланья. Оно выявлено в 1955

г. Полярноуральской (Центрально-Уральской) партией Шабровской экспедиции по результатам наземной заверки аэроаномалии и сопровождались радиометрической съемкой 1: 10 000 масштаба. Его изучением в разные годы занимались И.Д. Соболев (1963), Э.Ф. Негурица (1967-1970), С.Г. Караченцев (1967), А.В. Калиновский (1986-1990), Г.И. Кузьмин (1991), Л.И. Болтнева (1992), О.В. Удоратина (2005-2006). В период с 2000-2018 гг. при проведении различных тематических и геологосъемочных работ (ГДП-200/2 лист Р-40-VI) рудопроявление активно изучалось диссертантом и коллективом СНИГЭ (УГГУ).

Рудопроявление Большая Турупья расположено в зоне влияния Нундерминско-Салатимской шовной зоны среди сланцево-вулканогенных пород саблегорской, мороинской и хобеинской свит верхнего рифея-венда [Душин В.А. и др., 2012]. Оруденение контролируется малыми субвулканическими и малыми телами трахириолитов и микрограносиенитов туяхланьинского и поньинского комплексов и приурочено к узлу пересечения северо-восточных оперяющих структур с северо-западными нарушениями Неройско-Патокского разлома. Рудоносная зона приурочена к надвигу, разделяющему мороинскую ( $RF_{3mr}$ ) и саблегорскую ( $RF_3-V_{1sb}$ ) свиты, вдоль которого образовались узкие тектонические пластины палеозойских пород, представленных хомасьинской ( $O_{1-2hm}$ ) свитой (рисунок 4.2) [Душин В.А., 2007, 2012]. Для последних отложений характерно развитие узких субмеридиональных складок с крутыми ( $50-70^\circ$ ) восточными падениями крыльев. Вмещающие породы интенсивно дислоцированы, несут следы послойного сдвига и широкого развития микроплочатости.

Сама рудоносная полоса шириной около 650 м простирается в меридиональном направлении более чем на 6 км и состоит из трех аномалий размерами соответственно  $1500 \times 330$ ,  $800 \times 500$ ,  $800 \times 150$  м. На поверхности интенсивность общей радиоактивности в них колеблется от 50 до 70 мкР/ч, в грунтовой воде – 50–60 мкР/ч, в почвенном воздухе – 200–300 эман. В самой северной аномалии вскрыто поверхностными выработками три близ расположенных субсогласных тела протяженностью от 1100 до 1750 м при мощности 22–36 м и крутом восточном ( $70-140^\circ$ ) падении ( $50-80^\circ$ ). Среднее содержание в рудах (%):  $Ta_2O_5$  – 0,007 – 0,015;  $Nb_2O_5$  – 0,07–0,09; Th – 0,001; BeO – 0,006–0,079; Zr – 0,2–0,3. Средняя аномалия также содержит три рудных тела с близкими параметрами: протяженность 600–1000 м, мощность 20–36 м, содержание (%):  $Ta_2O_5$  – 0,011 – 0,014;  $Nb_2O_5$  – 0,009–0,1; U – 0,005;  $TR_{La}$  – 0,06; BeO – 0,01; Zr – 0,12. Самая южная третья аномалия содержит одно рудное тело протяженностью 1500 м при средней мощности 41 м с крутым ( $70-80^\circ$ ) восточном ( $80-100^\circ$ ) падении и содержании (%):  $Ta_2O_5$  – 0,013;  $Nb_2O_5$  – 0,12; Th – 0,012; BeO – 0,04; Zr – 0,14 [Душин В.А., 2007].

**ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ТУРУПЬИНСКОГО УЧАСТКА  
масштаб 1:50000**



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

- |  |                    |   |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
|--|--------------------|---|---|---|--|---|---|---|-------|---|------------------------|-------|---|------------------------|---|---|-----------------------|---|---|----------------|---|---|-----------------------|--|----|------------|--|----|--------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| <p><b>O<sub>1,2</sub>hm</b> Хомасьинская свита. Парасланцы хлорит-альбит-кварцевые, углеродисто-хлорит-серпичит-кварцевые, углеродисто-кремнистые, аповулканогенные эпидиот-альбит-хлоритовые, с прослоями графитисто-кварцевых сланцев (1000-1500 м)</p> <p><b>C<sub>3</sub>-O<sub>2</sub>sr</b> Саранханерская свита. Песчаники полимиктовые, кварцитопесчаники, кварциты гравелиты, металееролиты, алевросланцы, в том числе углеродистые, реже альбит-хлорит-кварц-серпичитовые (до 2500 м)</p> <p><b>RF<sub>3</sub>-V<sub>1</sub>sb<sub>2</sub></b> <b>RF<sub>3</sub>sb</b> Саблегорская свита. <i>Верхняя подсвита.</i> Метариолиты порфировые и редкорпорфировые, их кластолавы, кристаллокластические туфы и кварц-альбит-хлорит-серпичитовых сланцев (500-1000 м)<br/><i>Нижняя подсвита.</i> Базальты, андезитбазальты, их туфы, туффиты, туфоалееролиты, туфонесчаники, прослои туфоконгломератов (до 1000 м)</p> <p><b>RF<sub>3</sub>mr</b> Мороинская свита. Сланцы филлитовидные и алевролитовые серпичит-хлорит-альбит-кварцевые зеленовато-серые, тёмно-серые, лизы слюдистых мраморизовавших и доломитизировавших известняков, маломощные прослои кварцитов и кварцитопесчаников, углеродисто-кремнистых сланцев, пласты эффузивов основного состава и их туфов (1500 - 2000 м)</p> <p><b>εP-Tpn</b> Петрографический состав пород<br/> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 10px;"> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>X</td><td>X</td></tr> </table> Гранодиориты (1); диоритогнейсы (2)</p> <p><b>Γ</b> Габбро</p> <p><b>L</b> <b>Y</b> <b>C</b> Базальты (1), нерасчленённые вулканогенные породы (2) и их туфы (3)</p> <p><b>L</b> Аповулканогенные сланцы</p> <p><b>L</b> Серпичит-хлорит-кварцевые сланцы</p> <p><b>L</b> Филлитовидные сланцы</p> <p><b>L</b> Кварцитопесчаники</p> <p><b>L</b> Гравелиты</p> <p><b>L</b> Метасоматиты пеполлопроявленные</p> <p><b>br'</b> - березитизированные породы</p> <p><b>fp, ae</b> фельдшпатиты двуполюсовчатые, эйситы</p> <p><b>RF</b> Рудоносные зоны проявления Большая Турупья</p> <p><b>Ta, Nb</b> Пункты минерализации тантала, ниобия</p> | 1                  | 2   | X | X | <p><b>εP-Tpn</b> Поньинский комплекс<br/>Сиептиты, граносиептиты (γξ)</p> <p><b>vBO...ol</b> Орагтьоганско-лемвильский комплекс<br/>Габбродолериты, дайки долеритов (β), никродолеритов (ωβ)</p> <p><b>βC<sub>3</sub>m</b> Малошатокский комплекс<br/>Долериты, габбродолериты (vβ).</p> <p><b>qδgRF<sub>3</sub>ss<sub>2</sub></b> <b>vRF<sub>3</sub>ss<sub>2</sub></b> Сысьинский комплекс<br/>Вторая фаза: диоритогнейсы.<br/>Первая фаза: габбродолериты</p> <p><b>Ш</b> Шовная зона</p> <p><b>Геологические границы</b><br/>(а - достоверные, б - предполагаемые)<br/> <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>—</td><td>а</td><td>согласного залегания и интрузивные контакты</td></tr> <tr><td>- - -</td><td>б</td><td>несогласного залегания</td></tr> <tr><td>.....</td><td>б</td><td>Литофациальные границы</td></tr> </table> <b>Разрывные нарушения</b><br/>(а - достоверные, б - предполагаемые)<br/> <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>—</td><td>а</td><td>Разлом второстепенный</td></tr> <tr><td>—</td><td>а</td><td>Надвиг главный</td></tr> <tr><td>—</td><td>а</td><td>Надвиг второстепенный</td></tr> </table> <b>Элементы залегания сланцеватости:</b><br/> <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr><td></td><td>60</td><td>наклонного</td></tr> <tr><td></td><td>70</td><td>опрокинутого</td></tr> </table> <p><b>Nb<sup>1</sup></b> Наземные гаммааномалии</p> <p><b>Nb<sup>1</sup></b> Литохимические ореолы в рыхлых отложениях<br/>Точечные и невыражающиеся в масштабе карты комплексные и монолитохимические аномалии:</p> <p><b>Be</b> Литохимическая (единичная) проба в рыхлых отложениях</p> <p><b>Cu<sup>3</sup></b> Литохимическая (единичная) проба в коренных породах<br/>Концентрация элементов:<br/> <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr><td>Nb<sup>1</sup></td><td>- от 2 до 4 фонов</td></tr> <tr><td>Cu<sup>3</sup></td><td>- от 5 до 10 фонов</td></tr> </table> <p><b>14-274</b> Точка наблюдения</p> </p></p> | — | а | согласного залегания и интрузивные контакты | - - - | б | несогласного залегания | ..... | б | Литофациальные границы | — | а | Разлом второстепенный | — | а | Надвиг главный | — | а | Надвиг второстепенный |  | 60 | наклонного |  | 70 | опрокинутого | Nb <sup>1</sup> | - от 2 до 4 фонов | Cu <sup>3</sup> | - от 5 до 10 фонов |
| 1  | 2                  |   |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
| X  | X                  |   |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
| —  | а                  | согласного залегания и интрузивные контакты |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
| - - -  | б                  | несогласного залегания                      |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
| .....  | б                  | Литофациальные границы                      |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
| —  | а                  | Разлом второстепенный                       |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
| —  | а                  | Надвиг главный                              |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
| —  | а                  | Надвиг второстепенный                       |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
|  | 60                 | наклонного                                  |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
|  | 70                 | опрокинутого                                |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
| Nb <sup>1</sup>  | - от 2 до 4 фонов  |   |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |
| Cu <sup>3</sup>  | - от 5 до 10 фонов |   |   |   |  |   |   |   |       |   |                        |       |   |                        |   |   |                       |   |   |                |   |   |                       |  |    |            |  |    |              |                 |                   |                 |                    |

Рисунок 4.2 Геологическая карта и условные обозначения редкометалльного рудопроявления Большая Турупья масштаба 1: 50 000 [Душин В.А., Трутнев А.К. 2018]

Таблица 4.1 - Основные параметры зон и тел проявления Б. Турупья [Негурица Э.Г., Севостьянов Г.И. и др., 1970]

Название участка, рудной зоны, тела	Размеры: длина x ширина (м); S-площадь (км <sup>2</sup> )	Азимут простирания/ угол падения; град	Среднее содержание основных компонентов; %	Среднее содержание попутных компонентов; %
Аномалия № 1	1500x380, S – 0,5			
Рудное тело 1	1100x22	130-140/50-60	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,067, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,007	Th – 0,007, BeO – 0,006
Рудное тело 2	1750x36	100-120/50-80	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,09, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,011	Zr – 0,3, Hf – 0,01, BeO – 0,079
Рудное тело 3	1300x28	70-80/60-80	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,09, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,015	Zr – 0,2
Аномалия № 2	800x500, S – 0,4			
Западная рудная зона	600x20	110-120/60-80	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,009, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,012	U- 0,005, ΣTR – 0,06, BeO – 0,01
Центральная. Рудная зона	1000x36	230/60-80	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,1, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,014	Zr – 0,12
Восточная рудная зона	850x21	100-120/60-80	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,08, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,011	
Аномалия №3	800x150, S – 0,1			
Рудная зона	1500x41	80-100/70-80	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,12, Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,013	Th – 0,012, Zr – 0,14, BeO – 0,04

Рудные тела локализируются в ядрах антиклинальных складок высоких порядков и представлены интенсивно измененными породами, которые образовались по вмещающим их слюдяно-полевошпат-кварцевым сланцам. Основные параметры радиометрических аномалий и вскрытых рудоносных зон (тел) Турупьянского проявления указаны в таблице 4.1.

В ходе проведения полевых работ установлены различия составов метасоматитов и изменения уровня их естественной радиоактивности (от 11 до 210 мкР/ч), для пород Турупьянского рудопроявления предварительно была выделена следующая горизонтальная зональность по степени их измененности:

1. *Внешняя зона*, сложенная сланцами хлорит-кварц-полевошпатового и мусковит-хлорит-кварц-полевошпатового состава. В этой зоне не наблюдается развитие процессов карбонатизации и других значительных изменений минерального состава. Уровень естественной радиоактивности этих пород составляет 11-30 мкР/ч.

2. *Промежуточная зона*, сложенная сланцами преимущественно хлорит-слюдистого состава со слоями и прожилками альбита, кварца, местами карбоната. Здесь отмечается наличие редкой рудной вкрапленности. Уровень естественной радиоактивности находится в диапазоне 25-77 мкР/ч.

3. *Внутренняя зона*, характеризующаяся значительным развитием процессов альбитизации и, местами, карбонатизации и гематитизации. Здесь наблюдается

интенсивная рудная вкрапленность, уровень естественной радиоактивности этой зоны составляет 115-210 мкР/ч.

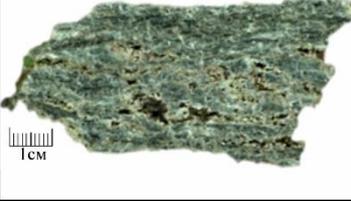
При детальном минералого-петрографическом и петрохимическом исследовании установлен состав и разновидности метасоматитов Турпьянского рудопроявления, представленные породами эйситовой формации, которые обладают следующей зональностью, охарактеризованной в таблице 4.2.

Исходными породами метасоматитов являются зеленовато-серые хлорит-кварц-плагиоклазовые сланцы, обладающие мелкозернистой, порфирированной структурой, сланцевой, местами плейчатой текстурой, в шлифах наблюдается лепидогранобластовая микроструктура. Порфирированные вкрапленники размером 0,2–0,6 мм представлены преимущественно олигоклазом, реже кварцем. Вокруг вкрапленников олигоклаза (№12-14) отмечаются каймы кварца. На долю полевых шпатов, в частности олигоклаза, здесь приходится около 45-50 %, кварца - 20-30 %, остальное 20-35 % – хлорит и мусковит (серицит), редко встречаются зерна микроклина и биотита. Хлорит-кварц-плагиоклазовые сланцы образованы по вулканитам кислого состава с естественной радиоактивностью на уровне 11-30 мкР/час. Прямое свидетельство кислой вулканогенной природы субстрата сланцев является наличие в сланцевом матриксном участках с реликтовой микрофельзитовой или аплитовой структурой и химический состав отдельных проб.

На первом этапе метасоматического процесса происходит замещение олигоклаза альбитом, роговой обманки – эпидотом и биотита – фенгитом, образуя зеленые и темно-зеленые кварц-плагиоклаз-фенгитовые сланцы внешней зоны. Макроскопически породы обладают тонко- и мелкозернистой структурой, и сланцевой текстурой. Микроскопически структура лепидобластовая, лепидогранобластовая в прожилках, а текстура - сланцеватая, плейчатая. Основная масса пород сложена фенгитом (30-75%) и серицитом (30-40%). Вкрапленники, линзы и прослои представлены кварцем (до 15 %), полевыми шпатами (до 10 %), иногда карбонатами (до 10%), в случае наложения процессов карбонатизации. Радиоактивность изменяется от 11 до 30 мкР/час.

В дальнейшем в результате привноса калия фенгит переходит в серицит, в результате чего формируются кварц-серицитовые сланцы промежуточной зоны. Главной отличительной особенностью пород этой зоны является увеличение серицитовой составляющей.

Таблица 4.2 - Метасоматическая колонка эйситовой формации

№ зоны	№ пробы	Уровень ест. рад-ти, мкР/ч	Название породы	Образец	Минеральный состав		Метасоматические изменения
					Главные	Второстепенные	
0	14-623-11	11	Хлорит-кварц-плагиоклазовые сланцы		Хлорит, кварц, олигоклаз № 12-14	Биотит, роговая обманка	Олигоклаз → альбит, роговая обманка → эпидот, биотит → фенгит
1	14-623	46	кварц-плагиоклаз-фенгитовые сланцы		Кварц, альбит № 4-6, хлорит, фенгит	Биотит, эпидот, роговая обманка	Фенгит → серицит, привнос калия
2	14-623-2	77	кварц-серицитовые сланцы		Серицит, кварц, альбит № 2-4	Роговая обманка, микроклин	Роговая обманка → хлорит, микроклин → альбит
3	14-623-3	115	Серицит-кварц-альбитовые сланцы		Альбит № 2-4, кварц, серицит, хлорит	Рудный минерал, микроклин	
4	14-623-9	206	Карбонат-альбит-кварцевые сланцы		Кварц, альбит, кальцит, серицит, микроклин		Кварц → альбит + серицит, альбит → микроклин, Привнос Zr, Ta, Nb, PЗЭ, Pb, Zn, U, Th карбонатизация, гематитизация

Таким образом, основная масса пород сложена серицитом (60-75%), кварцем (5-10 %) и полевым шпатом (до 5-7 %). Сланцы обладают мелкозернистой структурой и сланцеватой текстурой, микроскопически структура лепидобластовая, лепидогранобластовая в прожилках, а текстура - сланцеватая, местами пльчатая. Естественная радиоактивность доходит до 46 мкР/час. Последующие развитие метасоматоза приводит к преобразованию роговой обманки в хлорит и микроклина – в альбит и возникновению зеленых серицит – кварц-альбитовых сланцев переходной зоны. Для пород характерна тонко-мелкозернистая структура и сланцеватая текстура, в шлифах отмечается гранолепидобластовая структура основной ткани с порфиоровыми вкрапленниками, а для сланцеватой текстуры характерно наличие микропльчатости. Минеральный состав представлен серицитом на 40-60 %, кварцем (до 20 %), альбитом (5-

15 %), карбонатом (5-10 %). Кроме того, встречаются единичные зерна микроклина, роговой обманки и хлорита. Радиоактивность пород достигает уровня 77 мкр/час.

Внутренняя зона метасоматической колонки представлена сланцами карбонат-альбит-кварцевого состава с чередованием светлых и зеленых полос с розоватыми и фиолетовыми оттенками. Макроскопически текстура пород полосчатая. Структура пород, как правило, редкопорфировая, тонкозернистая. Микроскопически для этих пород характерна бластопорфировая структура с микролепидогранобластовой структурой основной ткани и сланцеватая с элементами микроплойчатой текстура, особенно хорошо заметная в слюдястых слоях. Преимущественно данные породы сложены мелкозернистым альбитом. Микропойкилитовая основная масса, в которой размещаются пойкилитовые вроски альбита, состоит из зерен кварца неправильной формы, покрытых чешуйками серицита. Изредка наблюдаются расположенные согласно сланцеватости линзовидные выделения, сложенные мелкозернистым кварцем и карбонатом. Мелкие пластинчатые зерна гематита образуют цепочки по сланцеватости. По минеральному составу этих пород резко доминирует альбит (70%), кварц (9%), присутствует также микроклин (7%), хлорит (4%) и слюды (в сумме 10%). В породах отмечено повышенное количество новообразованного микроклина. При этом серицит нацело замещает фенгит и частично кварц и альбит, который, в свою очередь, переходит в новообразованный микроклин. Этот процесс сопровождается карбонатизацией. Наряду с этим происходит привнос циркония, тантала, ниобия, редкоземельных элементов, свинца, цинка, урана и тория. Радиоактивность варьирует от 115-206 мкр/час.

По результатам химического анализа метасоматитов из разных зон произведен расчет баланса вещества породообразующих элементов при процессе метасоматического изменения пород. Внешняя зона метасоматитов характеризуется значительным привносом Na с развитием процессов альбитизации. Также повышаются содержание алюминия, фосфора и марганца, однако их содержание увеличивается незначительно. При этом активно выносятся магний, титан, двухвалентное железо, калий, кремний и кальций (таблица 4.3, рисунок 4.3). Минеральные преобразования характеризуются закупориванием трещин и пор.

Промежуточная зона метасоматической колонки отличается широким распространением гидрослюдизации и серицитизации со значительным привносом K, Al, Si и в меньшей степени – Mg и Ca. При этом отмечается значительный вынос Na в количестве 47,8 атомов в элементарном объеме, что соответствует 55,7 %. Это может свидетельствовать о существенно щелочных условиях формирования этой зоны

метасоматической колонки. Также выносятся  $\text{Fe}^{3+}$ , Mn и P. Метасоматоз проходит с незначительным увеличением объема пород (таблица 4.4, рисунок 4.4).

Внутренняя зона метасоматитов характеризуется наиболее интенсивным развитием процессов альбитизации и карбонатизации (собственно эйситы), с внушительным привносом Mn, Na,  $\text{Fe}^{3+}$ , Ti и в меньшей степени Mg и P. При этом активно выносятся K,  $\text{Fe}^{2+}$  и незначительно Al (таблица 4.5, рисунок 4.5). Вынос кремнезема и привнос трехвалентного железа свидетельствует о формировании метасоматитов в щелочных условиях и окислительной обстановки. Метасоматоз проходит с уменьшением объема, что благоприятно для рудоотложения, так как увеличивается пористость породы, таким образом эйситы характеризуются самыми высокими значениями естественной радиоактивности (до 206 мкр/час) и промышленными содержаниями урана, тория, редкометалльных и редкоземельных и элементов. Динамика привноса-выноса вещества по всей метасоматической колонки эйситовой формации представлено на рисунке 4.6.

С целью выделения, описания и установления различных особенностей всех рудных минералов метасоматитов Турупьинского рудопроявления использованы минераграфический, минералогический методы и электронный микроспектральный энергодисперсионный анализ. Исследованием подвергались породы внешней, промежуточной и внутренней зоны. Рудные минералы в метасоматических породах имеют тонко-, мелкозернистую структуру и вкрапленную, иногда ленточную и слоистую текстуру.

Таблица 4.3 - Внешняя зона метасоматитов эйситовой формации

Расчет баланса вещества при метасоматозе														
Зона 0-1														
	Химические		Анализы		Объемный вес, dv		Элементы	Коэффициент Ro	Содержание атомов в элементарном объеме 10 000 Å (Ni)				Привнос-вынос	
	анализы		приведенные к 100 %		Хлорит-кварц-плагиоклазовый сланец	Кварц-плагиоклаз-хлорит-серицитовый сланец			Хлорит-кварц-плагиоклазовый сланец		Кварц-плагиоклаз-хлорит-серицитовый сланец		В атомах на объем	В относ. %
	Хлорит-кварц-плагиоклазовый сланец	Кварц-плагиоклаз-хлорит-серицитовый сланец	Хлорит-кварц-плагиоклазовый сланец	Кварц-плагиоклаз-хлорит-серицитовый сланец					Катионы	Анионы	Катионы	Анионы		
SiO <sub>2</sub>	77,02	67,30	76,01	66,78	2,27	2,49	Si	1,002	172,88	345,76	166,61	333,22	-6,27	-3,63
TiO <sub>2</sub>	0,416	0,097	0,41	0,10	2,27	2,49	Ti	0,754	0,70	1,41	0,18	0,36	-0,52	-74,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,14	17,23	11,00	17,10	2,27	2,49	Al	1,182	59,01	88,52	100,64	150,95	41,62	70,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,11	3,27	3,07	3,24	2,27	2,49	Fe <sup>3+</sup>	0,754	10,50	15,75	12,18	18,28	1,69	16,05
FeO	1,2	0,7	1,18	0,69	2,27	2,49	Fe <sup>2+</sup>	0,838	2,25	2,25	1,45	1,45	-0,80	-35,66
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,087	0,087	0,09	0,09	2,27	2,49	P	0,849	0,33	0,83	0,36	0,91	0,03	9,41
MnO	0,169	0,171	0,17	0,17	2,27	2,49	Mn	0,849	0,32	0,32	0,36	0,36	0,04	11,60
CaO	0,22	0,20	0,22	0,20	2,27	2,49	Ca	1,074	0,54	0,54	0,53	0,53	-0,01	-1,75
MgO	2,24	0,49	2,21	0,49	2,27	2,49	Mg	1,494	7,49	7,49	1,81	1,81	-5,68	-75,82
Na <sub>2</sub> O	2,00	8,93	1,97	8,86	2,27	2,49	Na	1,944	17,43	8,71	85,80	42,90	68,37	392,29
K <sub>2</sub> O	1,33	0,91	1,31	0,90	2,27	2,49	K	1,279	7,60	3,80	5,72	2,86	-1,88	-24,79
H <sub>2</sub> O(ппп)	2,4	1,4	2,37	1,39	2,27	2,49	H	6,688	35,96	35,96	46,27	23,13	10,31	28,68
Сумма	<b>101,34</b>	<b>100,78</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>					<b>315,02</b>	<b>511,33</b>	<b>421,90</b>	<b>576,76</b>		
													+Σ	122,06
													-Σ	-15,17
													Σ	<b>106,89</b>

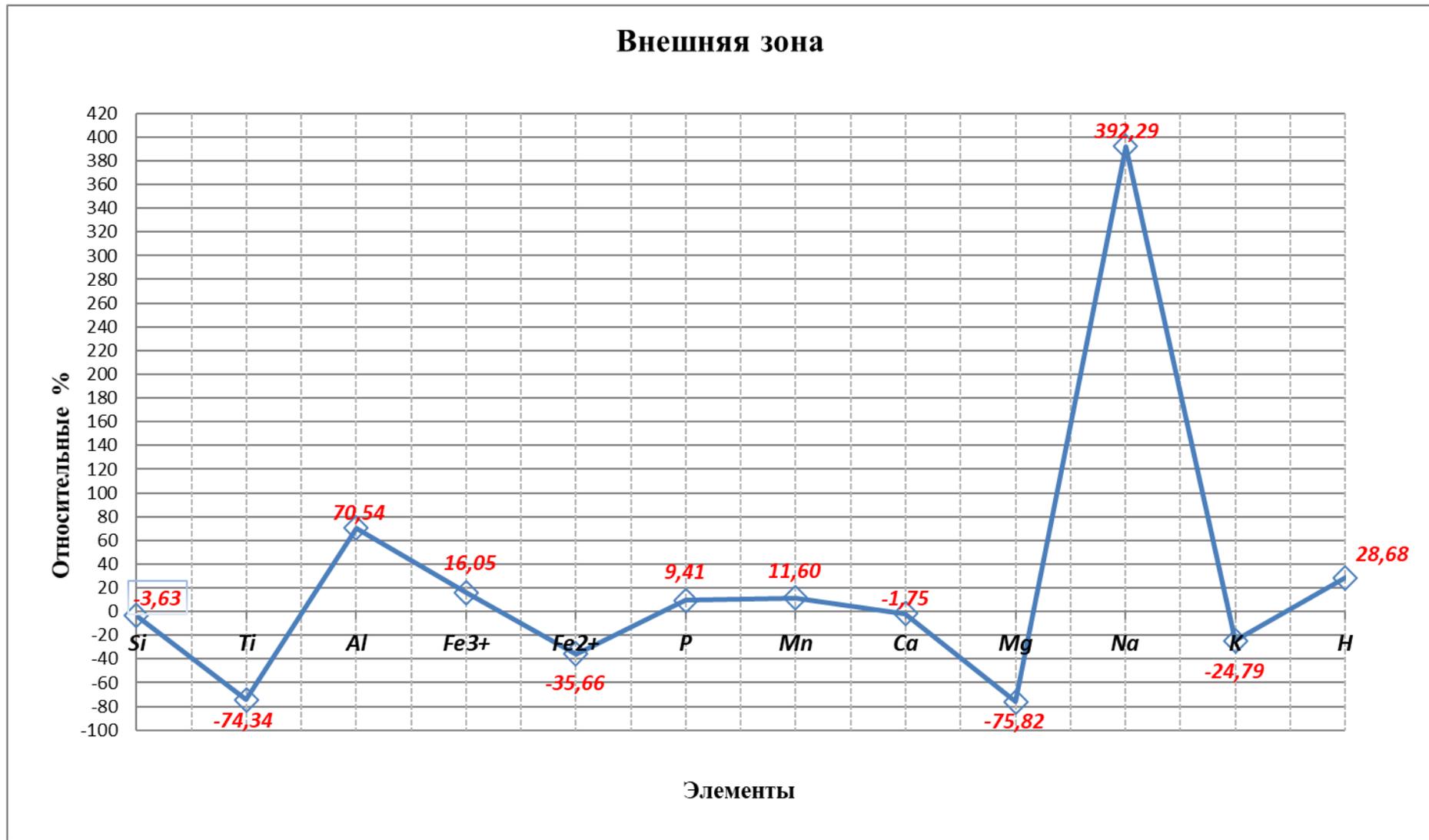


Рисунок 4.3 График привноса-выноса вещества в относительных процентах внешней зоны метасоматитов эйситовой формации

Таблица 4.4 - Промежуточная зона метасоматитов эйситовой формации

Расчет баланса вещества при метасоматозе														
Зона 1-3														
	Химические анализы		Анализы приведенные к 100 %		Объемный вес, dv		Элементы	Коэффициент Ro	Содержание атомов в элементарном объеме 10 000 Å (Ni)				Привнос-вынос	
	Кварц-плагиоклаз-хлорит-серицитовый сланец	Серицит-кварц-альбитовый сланец	Кварц-плагиоклаз-хлорит-серицитовый сланец	Серицит-кварц-альбитовый сланец	Кварц-плагиоклаз-хлорит-серицитовый сланец	Серицит-кварц-альбитовый сланец			Кварц-плагиоклаз-хлорит-серицитовый сланец		Серицит-кварц-альбитовый сланец		В атомах на объем	В относ. %
									Катионы	Анионы	Катионы	Анионы		
SiO <sub>2</sub>	67,30	67,40	66,78	67,37	2,49	2,7	Si	1,002	166,61	333,22	182,27	364,54	15,66	9,40
TiO <sub>2</sub>	0,097	0,080	0,10	0,08	2,49	2,7	Ti	0,754	0,18	0,36	0,16	0,33	-0,02	-9,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,23	18,97	17,10	18,96	2,49	2,7	Al	1,182	100,64	150,95	121,03	181,55	20,40	20,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,27	1,83	3,24	1,83	2,49	2,7	Fe <sup>3+</sup>	0,754	12,18	18,28	7,45	11,17	-4,74	-38,87
FeO	0,7	0,7	0,69	0,70	2,49	2,7	Fe <sup>2+</sup>	0,838	1,45	1,45	1,58	1,58	0,13	9,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,087	0,040	0,09	0,04	2,49	2,7	P	0,849	0,36	0,91	0,18	0,46	-0,18	-49,49
MnO	0,171	0,030	0,17	0,03	2,49	2,7	Mn	0,849	0,36	0,36	0,07	0,07	-0,29	-80,84
CaO	0,20	0,25	0,20	0,25	2,49	2,7	Ca	1,074	0,53	0,53	0,72	0,72	0,19	36,68
MgO	0,49	0,75	0,49	0,75	2,49	2,7	Mg	1,494	1,81	1,81	3,02	3,02	1,21	66,99
Na <sub>2</sub> O	8,93	3,62	8,86	3,62	2,49	2,7	Na	1,944	85,80	42,90	37,99	18,99	-47,81	-55,72
K <sub>2</sub> O	0,91	4,37	0,90	4,37	2,49	2,7	K	1,279	5,72	2,86	30,17	15,08	24,45	427,4
H <sub>2</sub> O(ппп)	1,4	2,0	1,39	2,00	2,49	2,7	H	6,688	46,27	23,13	72,20	36,10	25,93	56,05
Сумма	<b>100,78</b>	<b>100,04</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>					<b>421,90</b>	<b>576,76</b>	<b>456,86</b>	<b>633,63</b>		
												+Σ	87,98	
												-Σ	-53,03	
												Σ	<b>34,95</b>	



Рисунок 4.4 График привноса-выноса вещества в относительных процентах промежуточной зоны метасоматитов эйситовой формации

Таблица 4.5 - Внутренняя зона метасоматитов эйситовой формации

Расчет баланса вещества при метасоматозе														
Зона 3-4														
	Химические анализы		Анализы приведенные к 100 %		Объемный вес, dv		Элементы	Коэффициент Ro	Содержание атомов в элементарном объеме 10 <sup>000</sup> Å (Ni)				Привнос-вынос	
	Серицит-кварц-альбитовый сланец	Карбонат-кварц-альбитовый сланец	Серицит-кварц-альбитовый сланец	Карбонат-кварц-альбитовый сланец	Серицит-кварц-альбитовый сланец	Карбонат-кварц-альбитовый сланец			Серицит-кварц-альбитовый сланец		Карбонат-кварц-альбитовый сланец		В атомах на объём	В относ. %
									Катионы	Анионы	Катионы	Анионы		
SiO <sub>2</sub>	67,40	60,70	67,37	60,30	2,7	2,3	Si	1,002	182,27	364,54	138,97	277,94	-43,30	-23,76
TiO <sub>2</sub>	0,080	0,140	0,08	0,14	2,7	2,3	Ti	0,754	0,16	0,33	0,24	0,48	0,08	48,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,97	21,91	18,96	21,77	2,7	2,3	Al	1,182	121,03	181,55	118,35	177,52	-2,69	-2,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,83	3,51	1,83	3,49	2,7	2,3	Fe <sup>3+</sup>	0,754	7,45	11,17	12,09	18,14	4,65	62,38
FeO	0,7	0,5	0,70	0,50	2,7	2,3	Fe <sup>2+</sup>	0,838	1,58	1,58	0,96	0,96	-0,63	-39,53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,040	0,060	0,04	0,06	2,7	2,3	P	0,849	0,18	0,46	0,23	0,58	0,05	26,99
MnO	0,030	0,220	0,03	0,22	2,7	2,3	Mn	0,849	0,07	0,07	0,43	0,43	0,36	520,84
CaO	0,25	0,62	0,25	0,62	2,7	2,3	Ca	1,074	0,72	0,72	1,52	1,52	0,80	109,96
MgO	0,75	1,10	0,75	1,09	2,7	2,3	Mg	1,494	3,02	3,02	3,76	3,76	0,73	24,17
Na <sub>2</sub> O	3,62	6,71	3,62	6,67	2,7	2,3	Na	1,944	37,99	18,99	59,61	29,81	21,62	56,93
K <sub>2</sub> O	4,37	2,99	4,37	2,97	2,7	2,3	K	1,279	30,17	15,08	17,48	8,74	-12,69	-42,07
H <sub>2</sub> O (ппп)	2,0	2,2	2,00	2,19	2,7	2,3	H	6,688	72,20	36,10	67,24	33,62	-4,96	-6,87
Сумма	<b>100,04</b>	<b>100,66</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>					<b>456,86</b>	<b>633,63</b>	<b>420,87</b>	<b>553,49</b>		
												+Σ	28,28	
												-Σ	-64,27	
												Σ	<b>-35,98</b>	

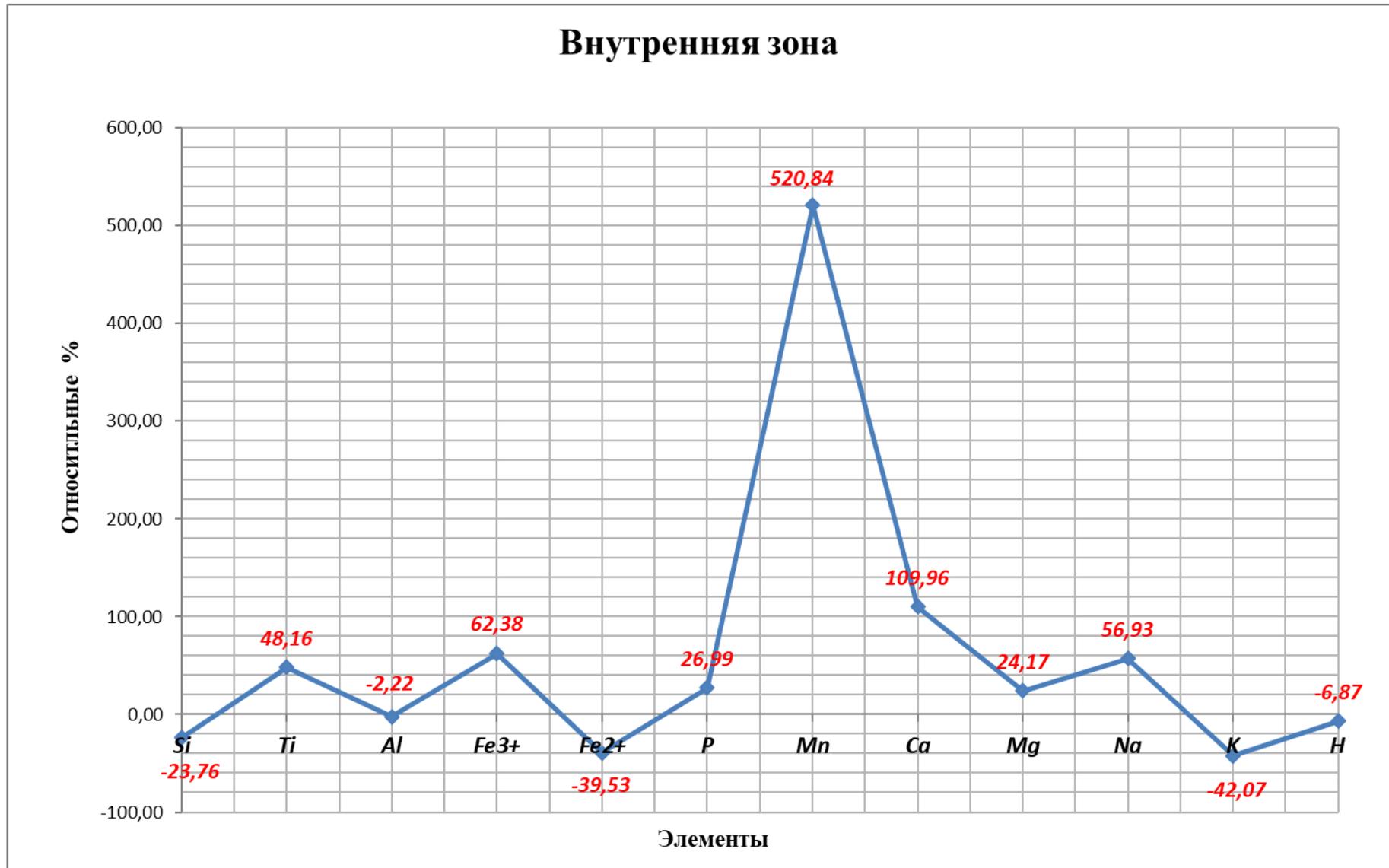


Рисунок 4.5 График привноса-выноса вещества в относительных процентах внешней зоны метасоматитов эйситовой формации

### Содержание атомов вещества в элементарном объеме 10 000 Å<sup>3</sup>

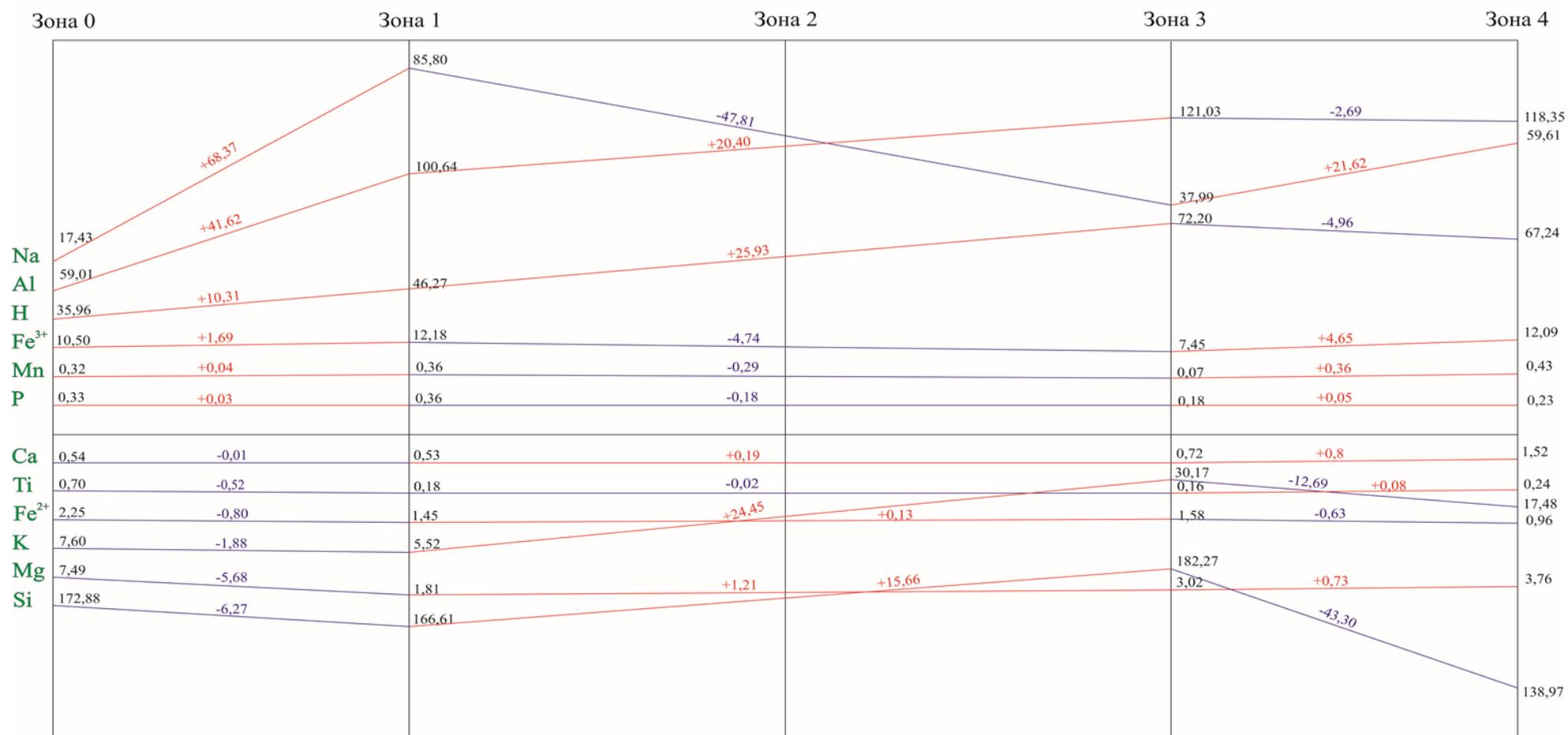
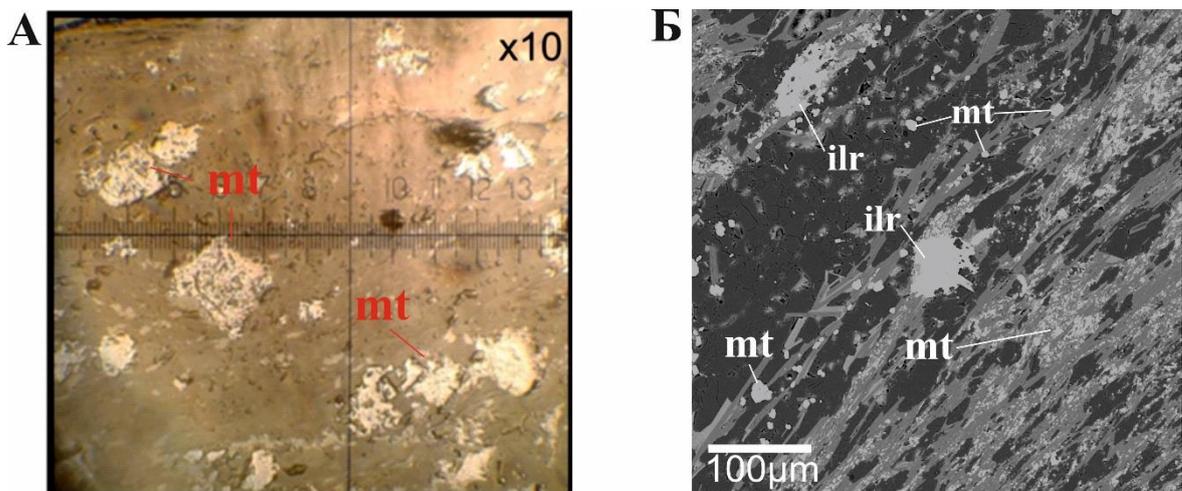


Рисунок 4.6 График привноса-выноса вещества в элементарном объеме по всей метасоматической колонки эйситовой формации

*Магнетит* ( $FeO \times Fe_2O_3$ ) – основной минерал, которым представлена рудная вкрапленность, который слагает мелкие цепочки зерен по направлению сланцеватости (рисунок 4.7 Б) и наблюдается в качестве включения в раздробленных зернах пирита, имеющего более высокую отражательную способность. Зерна размером до 0,2-0,3 мм, имеют изометричную форму и пористое строение (рисунок 4.7 А). Цвет серый, коричневато-серый, изотропный. В породах внутренней зоны встречается часто (до 15%), имеются прослойки ~2мм с интенсивной вкрапленностью магнетита. Иногда зерна распространяются в пределах трещин минерала-носителя (пирита). Форма зерен самая разная: от каплевидного до игольчатого и неправильного типа. Часто магнетит замещается гетитом, образуя агрегаты крапчатого строения. Содержание  $FeO_{общ}$  варьирует от 89,2 до 100 %.

*Пирит* ( $FeS_2$ ) представлен зернами неправильной формы, размером 0,08-0,4 мм, сильно разрушенные. Цвет пирита светлый, бледно-желтый. Имеет относительно высокий рельеф в сравнении с окружающими минералами. Главной отличительной особенностью является высокий показатель отражения ~50 %. Форма выделений овальная, вытянутая согласно сланцеватости породы. По краям зерен наблюдается замещение лимонитом.



**Условные обозначения минералов:** *mt* - магнетит, *ilr* - ильменорутил

Рисунок 4.7 А - микрофотография участка анилифа с эродированными зернами магнетита (анилиф 14-623-9) на оптическом микроскопе с выключенным анализатором с увеличением  $\times 10$ ; Б – микрофотография участка анилифа с «цепочечными» вкрапленниками магнетита и «рванными» зернами ильменорутила (анилиф 14-623-6) в отраженных электронах с увеличением 100 мкм

*Гематит* ( $Fe_2O_3$ ) представлен мелкой вкрапленностью по всей промежуточной и внутренней зоне. Зерна имеют вытянутую (до игольчатой) форму. Цвет минерала белый, ярко-белый, голубоватый, имеет показатель отражения ~20 %. Размер зерен 0,005-0,02 мм,

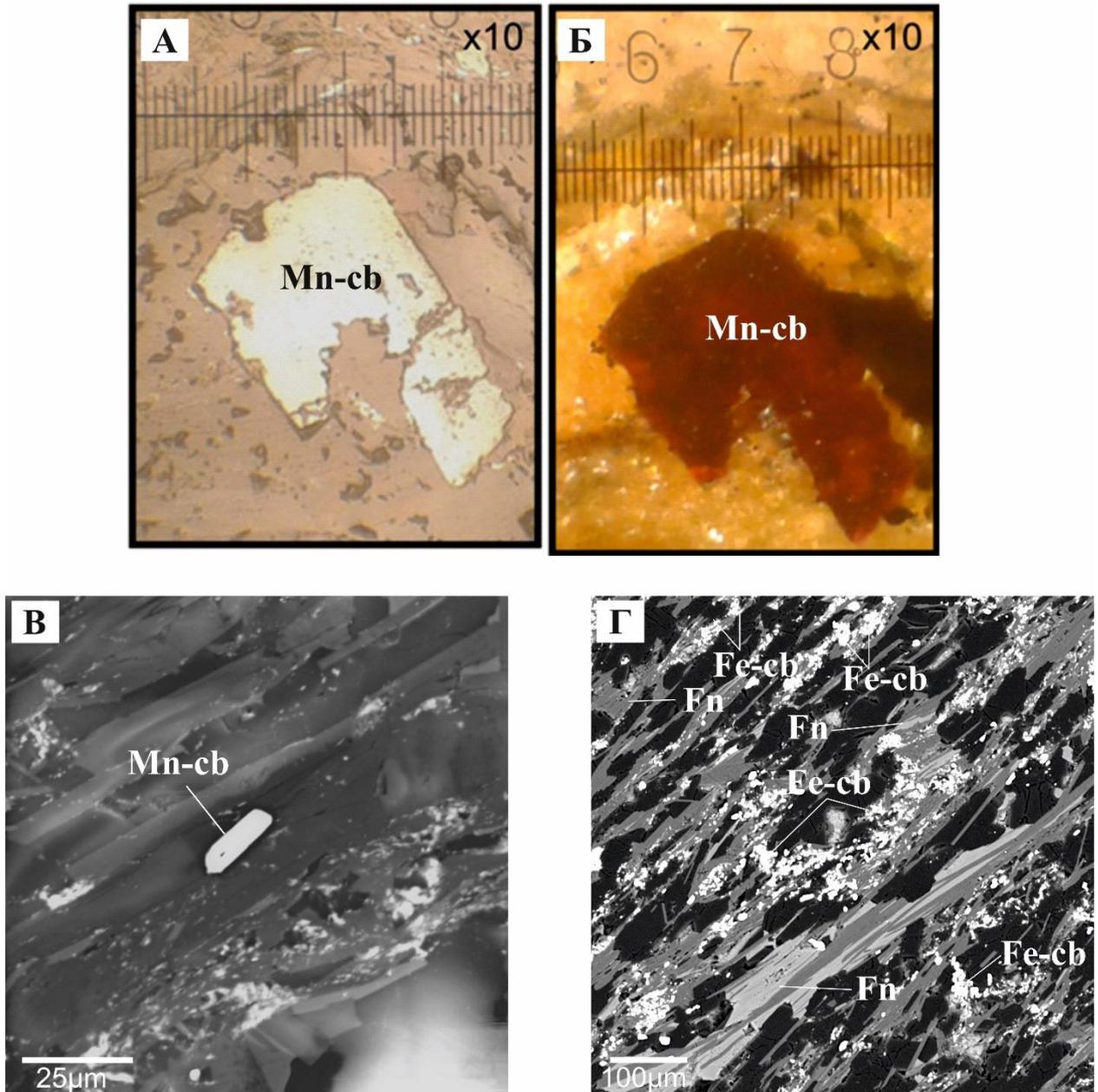
но иногда встречаются зерна большего размера до 0,02-0,15 мм. С сильной анизотропией в скрещенных николях.

*Галенит (PbS)* - минерал чисто белого цвета. Имеет достаточно высокий показатель отражения ~40 %, изотропен, рельеф минерала относительно низкий. Представлен мелкой вкрапленностью с размером зерен до 0,005 мм. Содержание PbO варьирует от 50,4 до 58,8 %.

*Флюорит (CaF<sub>2</sub>)* - редкие зерна размером до 0,6 мм изометричной и неправильной формы, с отчетливой спайностью. Бесцветный. Высокий рельеф, ассоциирует с мусковитом.

*Колумбит ((Fe,Mn)(Nb,Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)*, в породах, представлен зернами, размером до 0,2 мм, изометричной или слабо вытянутой формы. Иногда просматривается форма зерен, характерная для таблитчатых кристаллов. большей частью зерна практически непрозрачны, но встречаются зерна, просвечивающие темнокрасным в скрещенных николях, что характерно для разновидностей колумбита с высоким содержанием Mn и Ta. В параллельных николях минерал серовато-белого цвета со слабым коричневатым оттенком. Обладает довольно низкой отражательной способностью 16 %. Пористый, сильно эродирован, анизотропен и в скрещенных николях, угасание прямое. Относительный рельеф высокий (рисунок 4.8 А, Б). При помощи сканирующей электронной микроскопии удалось установить две разновидности тантал-ниобиевых минералов, представленных манганоколумбитом и ферроколумбитом в соотношении 1: 5. Mn-содержащие колумбиты содержат Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> от 63,9 до 75,9 %, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3,1 до 5,2 %, MnO от 8 до 12 %, FeO от 6,3 до 8,6 %, TiO<sub>2</sub> от 1,3 до 1,8 %. Тогда как в ферроколумбите содержание Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> составляет 39,3-74,2 %, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 1,2-3,1 %, FeO - 9,7-16,4 %, MnO - 1,8-6,7%, TiO<sub>2</sub> - 0,8-35,4%. Манганоколумбиты представлены единичными крупными зернами таблитчатой формы (рисунок 4.8 В), тогда как Fe-содержащие колумбиты имеют неправильную, пятнистую форму, образующие частые мелкие вкрапленности в породах, вплоть до образования рудных «цепочек» (рисунок 4.8 Г). Колумбиты, как правило, представлены в виде включений в калиевой слюде, представленной фенгитом.

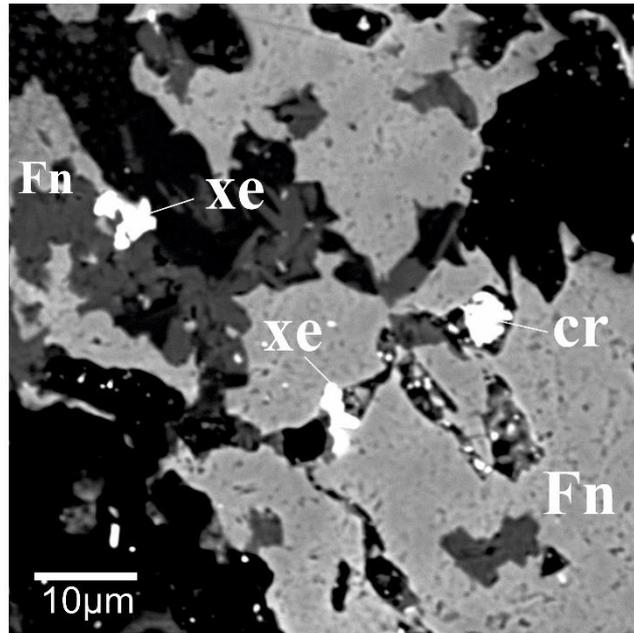
*Y-ксенотим (YPO<sub>4</sub>)* удалось диагностировать только при помощи сканирующей электронной микроскопии. Минерал представлен неправильной «пятнистой», причудливой вытянутой формы размером 0,01-0,02 мм, часто имеет окатанные грани (рисунок 4.9). Как правило является включением в слюде. Содержание Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> варьирует от 43,3 до 46,9 % и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> от 34,4 до 37,7 % с примесью UO<sub>2</sub> до 7,9 %, Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 4,3 % и Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 3,0 %.



*Условные обозначения минералов: Fn - фенгит, Mn-cb - манганоколумбит, Fe-cb - ферроколумбит*

*Рисунок 4.8 Микрофотография участка анилифа с таблитчатым зерном манганоколумбита (анилиф 14-623-9) на оптическом микроскопе с выключенным (А) и включенным (Б) анализатором с увеличением  $\times 10$ ; В – микрофотография участка анилифа с таблитчатым зерном манганоколумбита (анилиф 14-623-9) в отраженных электронах с увеличением 25 мкм; Г - микрофотография участка анилифа с «цепочками» зерен ферроколумбита (анилиф 14-623-6) в отраженных электронах с увеличением 100 мкм*

По результатам электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA с приставкой X-Max Oxford (Лаборатория НИИЛ ВСПиР, УГГУ) впервые установлены урановые минералы, представленные браннеритом и бетафитом [Трутнев А.К., 2024].



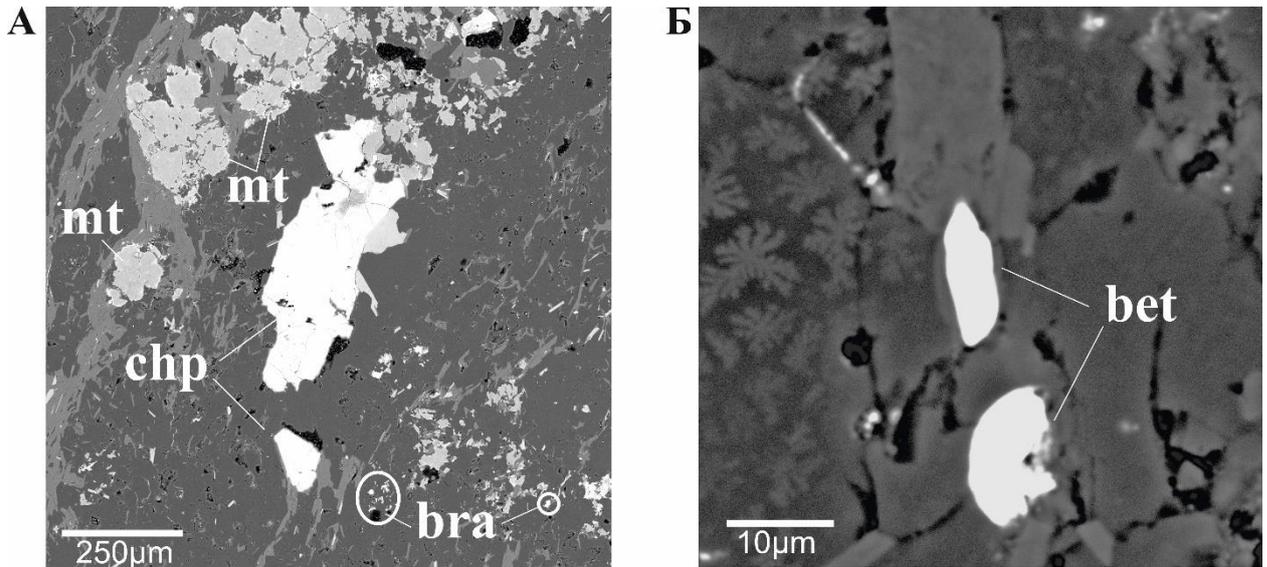
**Условные обозначения минералов:** *Fn* - фенгит, *cr* - хромит, *xe* - ксенотим

Рисунок 4.9 Микрофотография участка анилифа с чешуйками фенгита с включениями зерен ксенотима и хромита (анилиф 14-623-6) в отраженных электронах с увеличением 10 мкм

Браннерит  $((U, Ca, Th, Y)(TiFe)_2O_6)$  образует скопления зерен неправильной, изометричной, пятнистой и «рванной» формы размером до 0,01 мм, иногда встречаются единичные знаки размером 0,02-0,04 мм (рисунок 4.10 А). Содержание  $UO_2$  варьирует от 9,7 до 22,9 %,  $CaO$  составляет 8,3-14,6 %,  $TiO_2$  30,0-32,4 %  $FeO$  4,1-4,9 %, иногда прослеживается примесь  $ZrO$  до 4,7 % и  $PbO$  до 9,8 %.

Более распространённым среди урановых минералов является *бетафит*  $((CaU)_2(Ti, Nb, Ta)_2O_6(OH))$ , который представлен зернами таблитчатой и изометричной формы размером 0,01-0,005 мм, иногда минералы округлые с рванными краями (рисунок 4.10 Б). Содержание  $UO_2$  составляет 17,1-38,8 %,  $Y_2O_3$  – 8,0-14,9 %,  $Nb_2O_5$  – 12,4-23,7 %,  $TiO_2$  – 17,6-30,4 %. В некоторых зернах фиксируется примесь  $CuO$  до 7,8 %.

Медная минерализация представлена халькозином ( $Cu_2S$ ), с содержанием  $CuO$  58,3-90,3 % и примесью  $Ag_2O$  1,7-5,2 %, и халькопиритом ( $CuFeS_2$ ), где оксид меди составляет от 30,6 до 37,1 %,  $FeO$  25,6-30,4 %, а  $SO_3$  – 32,8-43,8 %. Также в метасоматитах диагностированы титанит, ильменорутил, сфалерит, хромит, циркон, пирротин, вульфенит. Кроме перечисленных рудных минералов другими исследователями были установлены бастнезит, алланит, пирохлор, эксенит, ферсмит, чевкинит [Душин В.А. и др., 2018, Трутнев А.К., 2024]. Кроме того, диагностирован бериллий, концентрация которого достигает 0,079 %. Минералогически он представлен гентгельвином, фенакитом и эвклазом [Калиновский А.В., 1990, Удоратина О.В., 2000].



*Условные обозначения минералов: mt - магнетит, chp - халькопирит, bra - браннерит  
bet - бетафит*

*Рисунок 4.10 А - микрофотография участка анилифа со скоплением мелких зерен браннерита (анилиф 13-230) в отраженных электронах с увеличением 250 мкм; Б - микрофотография участка анилифа с таблитчатым и округлым зернами бетафита (анилиф 13-230) в отраженных электронах с увеличением 10 мкм*

Таким образом по результатам исследований установлено, что среди рудных минералов наибольшее распространение имеют магнетит (25 %), колумбиты (15 %) и гематит (12 %), немного реже встречаются ильменорутит (10 %), циркон (10 %), апатит (6 %). Урановые минералы составляют 7 % от общего объема рудных минералов, халькопирит – 4 %, содержание халькозина, пирита и флюорита в метасоматитах составляет около 3 %.

Следовательно, по результатам собственных исследований и анализа материалов других исследователей главными рудными минералами проявления Большая Турупья являются: колумбит, бастнезит, алланит, пирохлор, эвксенит, фермсмит, чевкинит, браннерит, бетафит и ксенотим. Второстепенные минералы: гентгельвин, фенакит, эвклаз, апатит, флюорит, гематит, магнетит, халькозин, халькопирит, пирит, сфалерит, рутил, ильменит, галенит, молибденит, касситерит, самородная медь.

Для всех зон метасоматитов характерна рудная концентрация ( $K_k > 100$ ) Pd. Для промежуточной, переходной и внутренней зоны отмечается высокая концентрация ( $K_k > 10$ ) Nb, Ag, Sn, Hf, Ta, Ir, Pt. Для промежуточной и переходной зоны зафиксированы высокие содержания Cd, тогда как для переходной и внутренней зоны характерно высокое содержание Be, Zn, Zr, Te и Th. В промежуточной зоне отмечены высокие концентрации Au и Pb. На уровне геохимической специализации ( $K_k > 3$ ) с промежуточной до внутренней зоны отмечены следующие элементы: Ga, Bi, As, Y и U (рисунок 4.11). В дефиците ( $K_k < 0,7$ ) отмечены – Li, Sc, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Sr. Таким образом, с возрастанием интенсивности

метасоматических процессов наблюдается повышение содержания Be, Zn, Zr, Nb, Ag, Pd, Sn, Te, Hf, Ta, Ir, Pt и Th. Однако Au и Pb имеют высокую концентрацию только в промежуточной зоне.

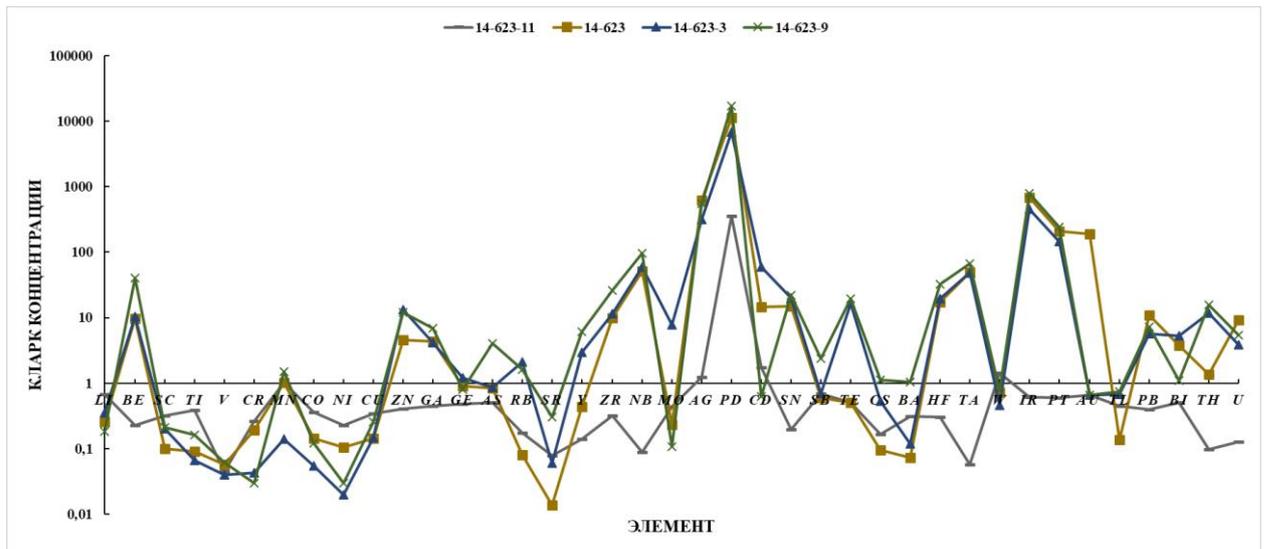


Рисунок 4.11 Кларки концентрации микроэлементов в метасоматитах рудопроявления Большая Турупья

Спектр распределения лантаноидов от промежуточной до внутренней зоны метасоматитов имеет V-образную форму с положительным трендом ( $La/Yb = 0,28-0,57$ ) и четкой отрицательной европиевой аномалией ( $Eu/Eu^* = 0,1-0,27$ ) (рисунок 4.12), тогда как для внешней зоны характерно равномерное распределение легких и тяжелых РЗЭ с небольшим преобладанием первых ( $La/Yb = 1,2$ ) и четкой положительной европиевой аномалий ( $Eu/Eu^* = 2,1$ ). Предположительно, такое поведение лантаноидов от промежуточной до внутренней зоны связано с интенсивностью плавления исходного вещества, представленным другой формации (кварц-альбит-микроклиновых метасоматитами), обогащенной полевыми шпатами. В свою очередь внешняя зона не принимает участие в фракционировании полевых шпатов, что отражено на графике. С ростом интенсивности метасоматического процесса возрастает и содержание РЗЭ от 42,8 до 658,5 г/т [Трутнев А.К., 2024].

Для установления связи между микроэлементами, содержащимися в породах (метасоматитах) Турупьинского проявления, по данным спектрального полуколичественного анализа в программе «STATISTICA» была построена корреляционная матрица (таблица 4.6), в которой через коэффициент корреляции выражена связь между микроэлементами. Значение коэффициента корреляции ( $r$ ) меняется в пределах от +1 до -1,  $r = 0$ , или близкий к нулевому значению отражает отсутствие линейной связи между элементами;  $r > 0$  отражает прямую зависимость между элементами;

$r < 0$  - обратную. Если  $|r| = 1$ , то между элементами с данным показателем устанавливается линейная функциональная зависимость [Хасанова Г.Г., 2022]. В полученной корреляционной матрице отчетливо выделяется группа элементов, состоящая из Zr, Y, Yb, Be, Pb тесно связанных, между собой, о чем свидетельствует значимый коэффициент корреляции ( $r$ ), близкий к 1. Связь между этими элементами прямая, такая же картина наблюдается и для Nb с Sn (рисунок 4.13). Для определения равномерности распределения элементов и положением их в пространстве в изучаемых метасоматических породах важное значение имеет коэффициент вариации ( $V$ ) (Все статистические параметры для метасоматитов Турупьинского рудопроявления приведены в таблице 4.7).

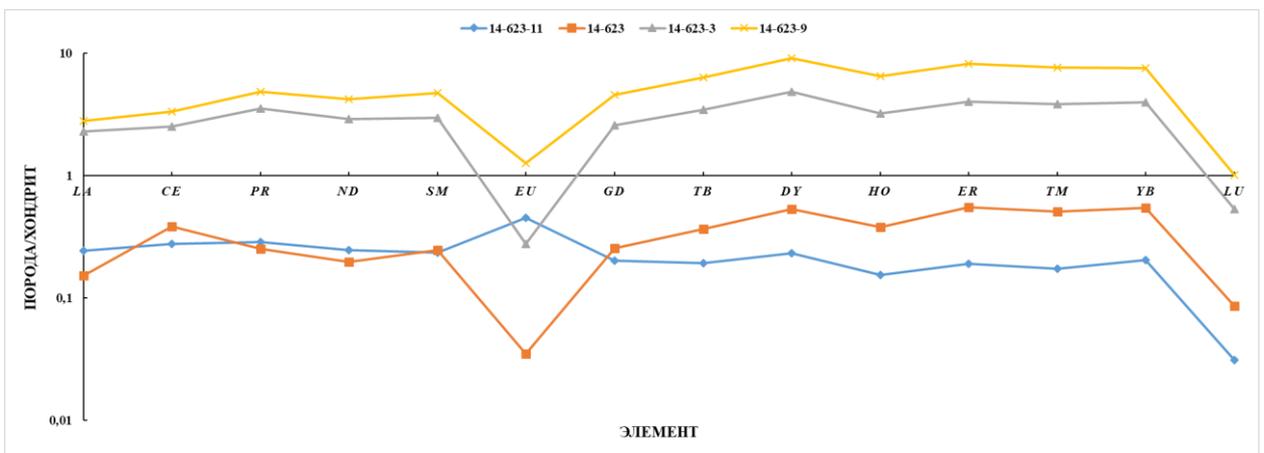


Рисунок 4.12 Распределение P3Э в метасоматитах рудопроявления Большая Турупья, нормализованного к хондриту C1 (Boyn-ton, 1984)

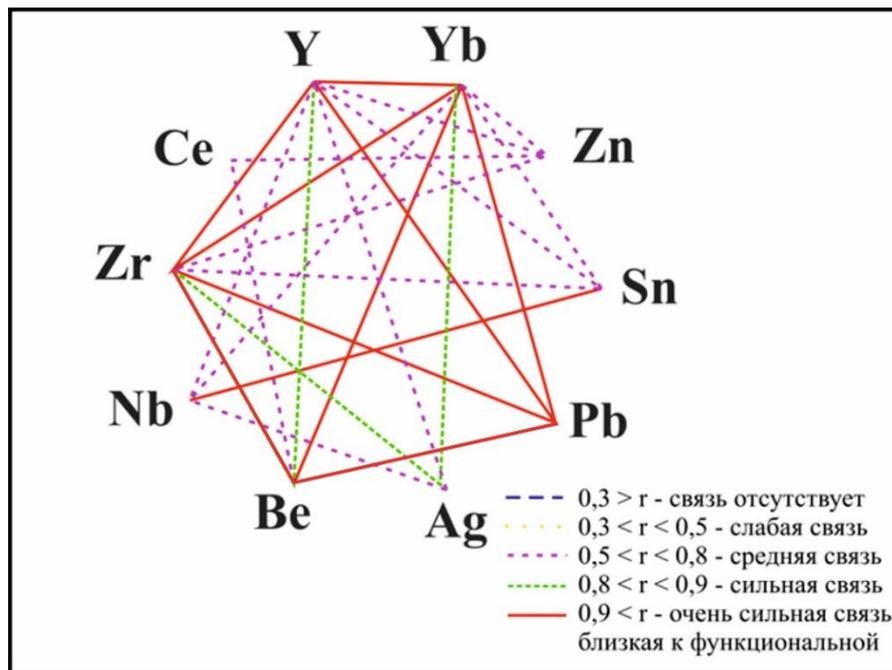


Рисунок 4.13 Корреляционная зависимость микроэлементов в метасоматитах Турупьинского рудопроявления по данным полуколичественного спектрального анализа

Таблица 4.6 - Корреляционная матрица микроэлементов по данным полуколичественного спектрального анализа (N=11)

	Cu	Zn	Pb	Sn	Ag	Mo	Be	Cr	Ni	Co	Sr	Ba	Ti	V	Mn	Sc	P	Ge	Bi	Nb	Zr	Ce	Y	Yb
Cu	1,00	0,46	0,60	0,19	0,83	0,21	0,69	-0,31	-0,17	-0,31	-0,06	0,18	-0,30	-0,23	0,39	-0,24	-0,11	-0,16	0,00	0,27	0,55	0,38	0,54	0,55
Zn	0,46	1,00	0,63	0,43	0,56	-0,24	0,59	-0,25	0,06	-0,20	-0,04	-0,03	-0,28	-0,09	0,10	-0,26	-0,21	0,36	-0,20	0,50	0,74	0,66	0,65	0,62
Pb	0,60	0,63	1,00	0,64	0,74	0,14	0,90	-0,09	-0,32	-0,39	0,12	0,34	-0,35	-0,38	0,32	-0,08	-0,40	0,29	0,17	0,53	0,94	0,58	0,97	0,96
Sn	0,19	0,43	0,64	1,00	0,53	0,24	0,52	-0,31	-0,57	-0,69	-0,32	0,08	-0,73	-0,77	-0,31	-0,66	-0,49	-0,04	0,60	0,94	0,68	0,36	0,74	0,70
Ag	0,83	0,56	0,74	0,53	1,00	0,08	0,83	-0,28	-0,40	-0,51	-0,14	0,16	-0,46	-0,47	0,19	-0,30	-0,36	-0,11	0,33	0,60	0,81	0,58	0,79	0,80
Mo	0,21	-0,24	0,14	0,24	0,08	1,00	0,00	0,19	-0,19	-0,52	-0,48	-0,24	-0,54	-0,37	-0,01	-0,29	-0,45	-0,58	0,39	0,17	-0,09	-0,22	0,03	0,00
Be	0,69	0,59	0,90	0,52	0,83	0,00	1,00	-0,22	-0,27	-0,20	0,29	0,54	-0,22	-0,30	0,37	-0,10	-0,17	0,26	0,16	0,46	0,90	0,69	0,90	0,93
Cr	-0,31	-0,25	-0,09	-0,31	-0,28	0,19	-0,22	1,00	-0,07	0,04	-0,15	-0,15	0,12	-0,01	0,08	0,49	-0,25	0,00	-0,29	-0,28	-0,14	0,03	-0,17	-0,20
Ni	-0,17	0,06	-0,32	-0,57	-0,40	-0,19	-0,27	-0,07	1,00	0,38	0,32	-0,29	0,29	0,71	-0,03	0,37	0,15	0,10	-0,45	-0,59	-0,33	-0,17	-0,42	-0,36
Co	-0,31	-0,20	-0,39	-0,69	-0,51	-0,52	-0,20	0,04	0,38	1,00	0,75	0,43	0,93	0,78	0,44	0,56	0,82	0,56	-0,53	-0,76	-0,40	-0,13	-0,44	-0,38
Sr	-0,06	-0,04	0,12	-0,32	-0,14	-0,48	0,29	-0,15	0,32	0,75	1,00	0,61	0,67	0,50	0,37	0,49	0,66	0,73	-0,22	-0,52	0,05	-0,03	0,06	0,14
Ba	0,18	-0,03	0,34	0,08	0,16	-0,24	0,54	-0,15	-0,29	0,43	0,61	1,00	0,42	0,04	0,53	0,17	0,39	0,34	-0,16	0,00	0,33	0,43	0,36	0,39
Ti	-0,30	-0,28	-0,35	-0,73	-0,46	-0,54	-0,22	0,12	0,29	0,93	0,67	0,42	1,00	0,82	0,58	0,75	0,65	0,50	-0,55	-0,77	-0,36	-0,10	-0,39	-0,34
V	-0,23	-0,09	-0,38	-0,77	-0,47	-0,37	-0,30	-0,01	0,71	0,78	0,50	0,04	0,82	1,00	0,51	0,70	0,42	0,31	-0,57	-0,79	-0,41	-0,12	-0,47	-0,40
Mn	0,39	0,10	0,32	-0,31	0,19	-0,01	0,37	0,08	-0,03	0,44	0,37	0,53	0,58	0,51	1,00	0,57	0,16	0,24	-0,39	-0,34	0,21	0,34	0,22	0,26
Sc	-0,24	-0,26	-0,08	-0,66	-0,30	-0,29	-0,10	0,49	0,37	0,56	0,49	0,17	0,75	0,70	0,57	1,00	0,09	0,34	-0,45	-0,72	-0,15	0,00	-0,17	-0,12
P	-0,11	-0,21	-0,40	-0,49	-0,36	-0,45	-0,17	-0,25	0,15	0,82	0,66	0,39	0,65	0,42	0,16	0,09	1,00	0,48	-0,30	-0,55	-0,42	-0,35	-0,43	-0,39
Ge	-0,16	0,36	0,29	-0,04	-0,11	-0,58	0,26	0,00	0,10	0,56	0,73	0,34	0,50	0,31	0,24	0,34	0,48	1,00	-0,28	-0,22	0,28	0,08	0,26	0,28
Bi	0,00	-0,20	0,17	0,60	0,33	0,39	0,16	-0,29	-0,45	-0,53	-0,22	-0,16	-0,55	-0,57	-0,39	-0,45	-0,30	-0,28	1,00	0,48	0,14	-0,23	0,26	0,27
Nb	0,27	0,50	0,53	0,94	0,60	0,17	0,46	-0,28	-0,59	-0,76	-0,52	0,00	-0,77	-0,79	-0,34	-0,72	-0,55	-0,22	0,48	1,00	0,66	0,50	0,67	0,61
Zr	0,55	0,74	0,94	0,68	0,81	-0,09	0,90	-0,14	-0,33	-0,40	0,05	0,33	-0,36	-0,41	0,21	-0,15	-0,42	0,28	0,14	0,66	1,00	0,76	0,98	0,97
Ce	0,38	0,66	0,58	0,36	0,58	-0,22	0,69	0,03	-0,17	-0,13	-0,03	0,43	-0,10	-0,12	0,34	0,00	-0,35	0,08	-0,23	0,50	0,76	1,00	0,66	0,66
Y	0,54	0,65	0,97	0,74	0,79	0,03	0,90	-0,17	-0,42	-0,44	0,06	0,36	-0,39	-0,47	0,22	-0,17	-0,43	0,26	0,26	0,67	0,98	0,66	1,00	0,99
Yb	0,55	0,62	0,96	0,70	0,80	0,00	0,93	-0,20	-0,36	-0,38	0,14	0,39	-0,34	-0,40	0,26	-0,12	-0,39	0,28	0,27	0,61	0,97	0,66	0,99	1,00

Pb, Be, Cr, P, Nb, Zr, Ce, Yb характеризуются весьма неравномерным распределением, так как их коэффициент вариации  $>100$ . Для Ag, Co, Sc, Mo, Ge, Bi установлено крайне неравномерное распределение ( $V > 150$ ). Это указывает на то, что данные элементы в метасоматитах рассеяны неравномерно, а представляют участки с очень различным содержанием. Так наиболее высокие содержания Pb, Be, Nb, Zr, Ce, Yb, Ag и Ge зафиксированы во внутренней зоне, а Cr, P, Mo во внешней зоне. Для Co, Sc и Bi характерна повышенная концентрация в промежуточной зоне. Остальные элементы имеют равномерное распределение по всей метасоматической зоне. Полученные результаты расчета коэффициента хорошо коррелируются с данными минераграфических и минералогических исследований, где во внутренней зоне установлены высокие содержания колумбита, галенита, циркона, монацита, золото и минералов бериллия, а во внешней зоне наблюдается высокая концентрация хромита, апатита и единичные знаки молибденита.

*Таблица 4.7 - Статистические параметры для элементов метасоматических пород по данным полуколичественного спектрального анализа*

Элементы	Объем выборки	Среднее содержание элемента в г/т	Дисперсия	Стандарт	Коэф. Вариации	Кларк элемента в ЗК	КК
<b>Cu</b>	12	13,00	167	12,9	99	43	0,30
<b>Zn</b>	12	247,27	14042	118,4	47	136	1,81
<b>Pb</b>	12	57,36	5826	76,3	133	14	4,09
<b>Sn</b>	12	9,09	63	7,9	87	2,3	3,95
<b>Ag</b>	12	0,005	0	0,018	331	1,2	0,004
<b>Mo</b>	12	1,90	19	4,3	230	1	1,90
<b>Be</b>	12	13,28	282	16,7	126	2,5	5,31
<b>Cr</b>	12	4,45	31	5,6	125	162	0,02
<b>Ni</b>	12	7,90	26	5,1	65	70	0,11
<b>Co</b>	12	25,09	3401	58,3	232	24	1,04
<b>Sr</b>	12	268,18	25136	158,5	59	285	0,94
<b>Ba</b>	12	495,45	33227	182,2	36	670	0,73
<b>Ti</b>	12	3436,81	7541111	2746,1	79	3600	0,95
<b>V</b>	12	68,18	2096	45,7	67	150	0,45
<b>Mn</b>	12	1041,18	404785	636,2	61	930	1,12
<b>Sc</b>	12	62,36	31823	178,3	286	18	3,46
<b>P</b>	12	1872,74	5112107	2260,9	120	790	2,37
<b>Ge</b>	12	0,95	3	1,8	190	1,4	0,68
<b>Bi</b>	12	0,27	0	0,6	222	0,1	2,72
<b>Nb</b>	12	324,18	124100	352,2	108	36	9,00
<b>Zr</b>	12	542,72	462542	680,1	125	210	2,58
<b>Ce</b>	12	195,45	51227	226,3	115	0,638	306,40
<b>Y</b>	12	37,09	1174	34,2	92	31	1,19
<b>Yb</b>	12	3,39	12	3,4	102	0,165	20,53

Кроме того, статистические параметры (таблица 4.8) и корреляционная матрица (таблица 4.9) для некоторых элементов, представляющих промышленный интерес в изучении метасоматитов Турупьинского рудопроявления, были рассчитаны не только по данным полуколичественного спектрального анализа, но и по результатам количественного спектрального анализа ICP-MS. Проанализированы пробы преимущественно из внутренней зоны метасоматической колонки.

Таблица 4.8 - Статистические параметры для основных рудных компонентов внутренней зоны Турупьинского рудопроявления

	Объём выборки	Среднее содержание элементов	Дисперсия	Стандарт	Коэффициент вариации	Кларки элементов в ЗК	КК
TR+Y	5	686,23	0,153	0,391	57	2,6	263,9
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5	127,25	0,001	0,034	26	8	15,9
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5	1421,68	0,203	0,450	32	38	37,4
U	5	79,06	0,007	0,081	103	4	19,8
Th	5	16,98	0,000	0,012	72	12	1,4
Sn	5	20,36	0,000	0,019	94	2,3	8,9
Be	5	50,71	0,003	0,058	114	2,5	20,3
Ag	5	128,35	0,024	0,155	121	0,08	1604,4
Zn	5	248,80	0,148	0,384	154	136	1,8
Pb	5	46,95	0,003	0,052	111	14	3,4
Zr	5	702,69	0,856	0,925	132	210	3,3

Таблица 4.9 - Корреляционная матрица для некоторых компонентов метасоматитов внутренней зоны по данным количественного спектрального анализа (N=5)

	TR+Y	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	U	Th	Sn	Be	Ag	Zn	Pb	Zr
TR+Y		-0,21	0,22	0,13	-0,34	-0,77	0,33	0,38	-0,51	-0,99	-0,84
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,21		0,91	0,80	0,04	0,24	0,73	0,64	0,04	0,10	0,06
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,91		0,84	-0,09	-0,11	0,88	0,81	-0,20	-0,32	-0,31
U	0,13	0,80	0,84		-0,05	0,29	0,72	0,63	0,28	-0,19	0,04
Th	-0,34	0,04	-0,09	-0,05		0,17	0,30	0,37	-0,14	0,41	0,09
Sn	-0,77	0,24	-0,11	0,29	0,17		-0,26	-0,35	0,91	0,78	0,96
Be	0,33	0,73	0,88	0,72	0,30	-0,26		0,99	-0,42	-0,38	-0,49
Ag	0,38	0,64	0,81	0,63	0,37	-0,35	0,99		-0,51	-0,42	-0,57
Zn	-0,51	0,04	-0,20	0,28	-0,14	0,91	-0,42	-0,51		0,53	0,89
Pb	-0,99	0,10	-0,32	-0,19	0,41	0,78	-0,38	-0,42	0,53		0,86
Zr	-0,84	0,06	-0,31	0,04	0,09	0,96	-0,49	-0,57	0,89	0,86	

Из полученных данных следует, что между U, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> имеется прямая линейная зависимость, характеризующая тесную генетическую связь этих компонентов во внутренней зоне метасоматических пород. Также очень тесная, почти функциональная, связь наблюдается между Ag и Be (r=0,99), Sn, Zn и Zr что характеризует одинаковые условия формирования элементов в результате метасоматизма. Отмечается тесная

корреляционная, почти функциональная, связь между  $\Sigma TR$  и Pb, но выражается она через обратную зависимость, то есть при увеличении содержания одного компонента в породах, содержание другого неминуемо уменьшается, что является характерным для метасоматических процессов.

Небольшой коэффициент вариации  $Ta_2O_5$  и  $Nb_2O_5$  говорит о том, что компоненты в пределах внутренней зоны распределены равномерно, а U имеет весьма неравномерное распределение. Исходя из этого можно заключить, что, хотя Ta, Nb и U имеют сильную связь по коэффициенту корреляции, однако условия формирования для них, возможно, были различные. Из чего следует, что эйситовая формация связана только с U специализацией, тогда как вопрос Ta и Nb минерализации остается открытым.

*Условия локализации редкометалльно-редкоземельного урансодержащего оруденения*

*Турупьинского рудопроявления*

По результатам геологических, минералого-петрографических и петрохимических исследований, а также анализа материалов предшественников, которые в разные годы занимались изучением Турупьинского рудопроявления, метасоматиты, широко развитые в пределах одноименного рудного поля, отнесены к эйситовой формации.

О наличии эйситовой формации указывают следующие факты: метасоматиты образуются на этапе пермско-триасовой тектоно-магматической активизации; они контролируются разломами северо-западной и субмеридиональной ориентировки; наблюдается широкое развитие процессов альбитизации, карбонатизации и хлоритизации в измененных породах; рудные минералы метасоматитов находятся в виде мелкой пылевидной рассеянной вкрапленности и микропрожилков в хлорите и сериците; характерный признак эйситизации – появление красной, буровато-красной окраски пород, обусловленной образованием тонкодисперсного гематита, а в промежуточных зонах – яблочно-зеленой их окраски, связанной с образованием гидрослюда, что характерно для пород с недостаточным содержанием в породах кремнезема; в промежуточных зонах фиксируется активное развитие процессов апатитизации и, местами, флюоритизации; аномально высокие концентрации газово-жидких включений, представленных  $CO_2$ , CO,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ; окисление  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ ; привнос Na и вынос K, Si и незначительного количества Mg. Все это указывает на формирование пород в условиях эйситовой формации с характерной урановой минерализации [Трутнев А.К., 2024].

Эйситовая формация наложена на образования более высокотемпературного метасоматизма, об этом свидетельствуют следующие признаки: наличие тантало-ниобатов, для формирования которых характерны более высокие температуры, нежели для эйситов; диагностированы цирконы бипирамидально-тетрагональной и бипирамидальной

длиннопризматической формы, свойственные цирконам, кристаллизующимся из щелочных сред при температурах 500-550 °С [Архангельская В.В., 1989] в ассоциации с альбитом, цирконы такого габитуса преобладают в породах внутренней зоны; наличие во всех зонах реликтов микроклина, который замещается альбитом; широкое развитие К-слюды (фенгита) и образование вторичного альбита; приуроченность вкрапленностей колумбита к фенгит-серицитовым и кварц-альбитовым полоскам в породах, а также нередко колумбит развивается по матрице стеклоподобного циркона [Удуратина О.В., 2006]; в промежуточной и внутренней зоне установлен характерный привнос атомов К, Mg, Ca, Al, Mn и Na; при определении корреляционной зависимости установлена значимая связь между элементами - Zr, Y, Yb, Be, Pb, такая геохимическая специализация характерна для кварц-альбит-микроклиновой формации [Архангельская В.В., 1989]; структурное положение пород кварц-альбит-микроклиновой формации определяется их локализацией в зонах крупных региональных разломов. Таким образом, установлено, что в пределах рудопроявления Большая Турупья изначально сформировались метасоматиты кварц-альбит-микроклиновой формации с редкометалльной и редкоземельной минерализацией, на которую наложился образования эйситивой формации с U специализацией.

Определение условий формирования метасоматитов и оруденения затруднено тем, что в пределах Турупьинского рудопроявления и за многие километры от него развиваются процессы пропилитизации, имеющие региональный характер.

Само редкометалльное рудопроявление располагается в восточной краевой части Ляпинского антиклинория, являющегося платформенным выступом в Центрально-Уральском поднятии, и относится к Турупьинскому рудному узлу Турупьинско-Маньхамбовской металлогенической зоны. Исследуемый район располагается между Центрально-Уральским поднятием и Тагило-Магнитгорским прогибом, отвечающей в геофизических полях смене отрицательных магнитных и гравитационных полей на положительные и соответствует фронтальной части Главного Уральского надвига. Центрально-Уральское поднятие сложено метаморфизованными рифейско-вендскими эффузивно-осадочными породами доуралид. В Тагило-Магнитгорский прогибе развиты терригенно-карбонатные отложения хомасьинской ( $O_{1-2} hm$ ) и польинской ( $O_{2-3} pl$ ) свит. Непосредственно в районе рудопроявления они прорваны телами габбро-долеритов и гранитоидов, несколько восточнее находятся гипербазиты маркирующие Главный Уральский надвиг. Кроме того, есть основания предполагать, что рудное поле приурочено к Турупьинской кольцевой структуре [Калиновский А.В., Суханов Н.В., 1985].

Первоначально была образована пропилитовая формация. Процесс пропилитизации имеет региональный характер, в силу довольно масштабного распространения в пределах

Турупьинского рудного поля в породах саблегорской (RF<sub>3</sub>sb), хомасьинской (O<sub>1-2</sub>hm) и польинской (O<sub>2-3</sub>pl) свит, сложенных зелеными и углеродисто-кремнистыми сланцами, кварцитами, кварцитопесчанниками и туффитами (рисунок 4.14). Региональная пропилитизация вулканогенно-осадочных толщ генетически связано с циклом их формирования.

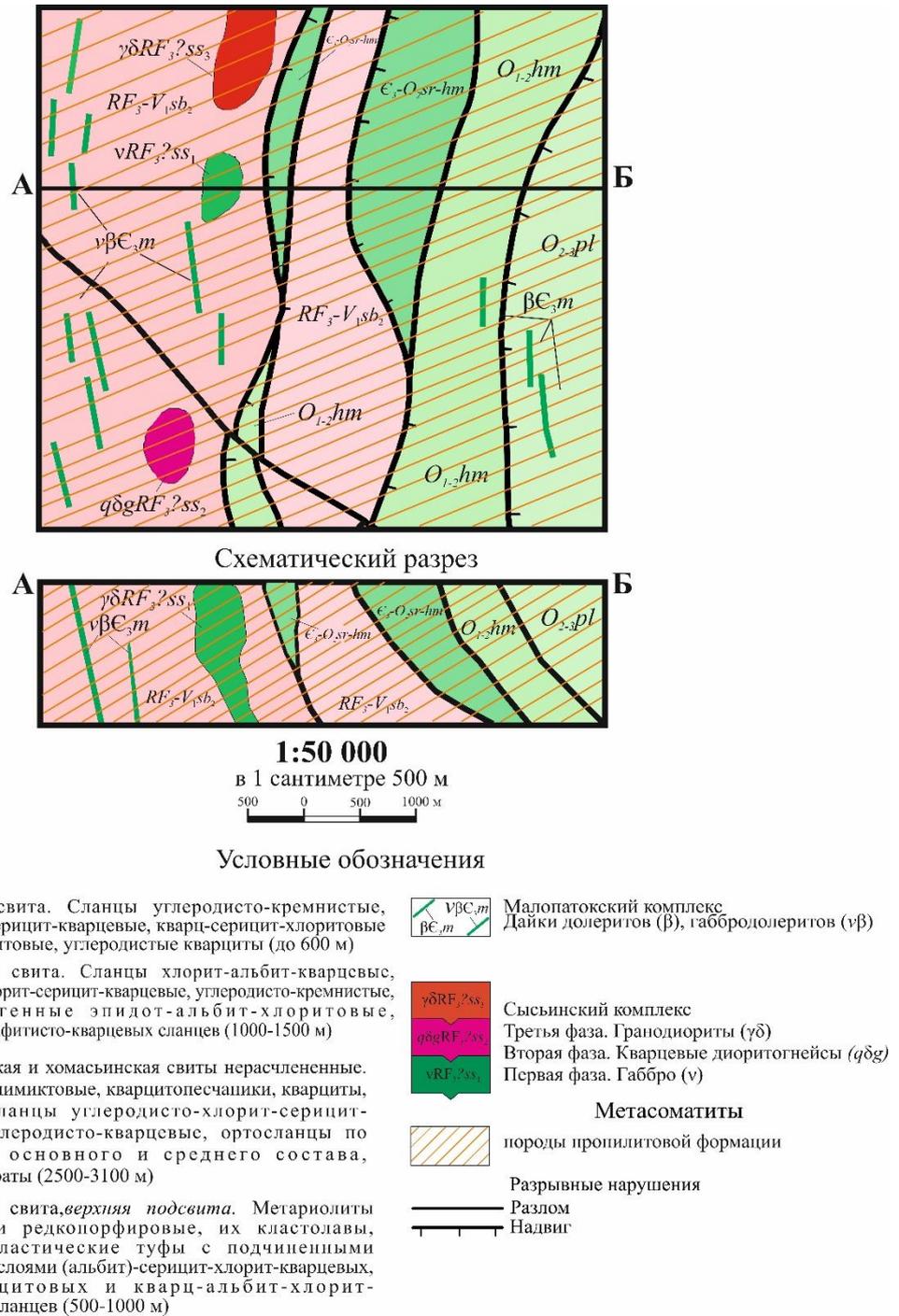


Рисунок 4.14 Схематичная карта и разрез масштаба 1: 50 000 распространения пород пропилитовой формации в пределах Турупьинского рудного поля

Вслед за извержением лав и туфов среднего и кислого состава, распространенных в пределах Турупинского рудного поля, следовала некая деформация или складчатость пород вулканогенно-осадочной толщи, с внедрением в неё интрузивных тел, преимущественно в виде малых интрузии. После чего восходящие послемагматические растворы вызвали пропилитизацию вмещающей толщи и самих малых интрузий. Пропилиты не приурочены к отдельным интрузиям и не могут рассматриваться, как изменение внешнего контактового ореола. Они приурочены к полям проявления магматической деятельности, но не к отдельным конкретным массивам [Омельяненко И.Б., 1978]. Таким образом, пропилитизация в её типичном выражении представляет собой региональный процесс зеленокаменного изменения преимущественно средних и основных пород, что мы наблюдали во внешней зоне, представленной метавулканитами среднего состава.

Позднее, более локально, в начальный этап тектоно-магматической активизации вместе с флюидальными риолитами и сопровождающими их гидротермальными растворами была проявлена кварц-альбит-микроклиновая формация (рисунок 4.15).

Структурное положение кварц-альбит-микроклиновых метасоматитов рудопроявления Большая Турупья определяется их локализацией в зоне субмеридионального регионального разлома кристаллического фундамента. Для метасоматитов не наблюдается видимой связи с какими-либо магматическими телами, но процесс их формирования обусловлен действием агрессивных гидротермальных растворов, связанных с постмагматической деятельностью. Исследуемые рудоносные метасоматиты формируются значительно позже периода заложения зон глубинных разломов, но метасоматическое преобразование пород и рудоотложение редких металлов происходят синхронно. Как показало детальное изучение, рудные концентрации Nb, Ta, РЗЭ, Zr, Y, Yb, Be, Pb в метасоматитах распределены неравномерно, максимальное количество рудных минералов приурочено к участкам наиболее высокой проницаемости, проявленной во внутренней зоне метасоматической колонки. Можно утверждать, что основная масса рудных минералов выделяется в процессе метасоматического преобразования пород только на определенных временных интервалах этого процесса. В тех участках, где в это время происходило наиболее интенсивное минералообразование, в силу тектонических причин, концентрируются и наиболее богатые руды. Однако резко повышенные по сравнению с фоновыми содержания рудных минералов и концентрации химических элементов наблюдаются в пределах всей зоны метасоматитов [Омельяненко И.Б., 1978]. Последней из выделенных, под действием низкотемпературных гидротермальных процессов, возникших в результате тектоно-магматической активизации, образовалась эйситовая

метасоматическая формация. Наложение эйситовой формации на предполагаемую кварц-альбит-микроклиновую привело к значительному изменению последней. Образование пород эйситовой формации на рудопроявлении Большая Турупья сопровождало образование уранового оруденения, вследствие нейтрализации кислых гидротермальных растворов (рисунок 4.16). Метасоматиты четко контролируются зонами разломов. Связь с каким-либо магматизмом проявлена неотчетливо, предположительно, эйситы парагенетически связаны с гранитоидными интрузивами, находящимися на глубине.

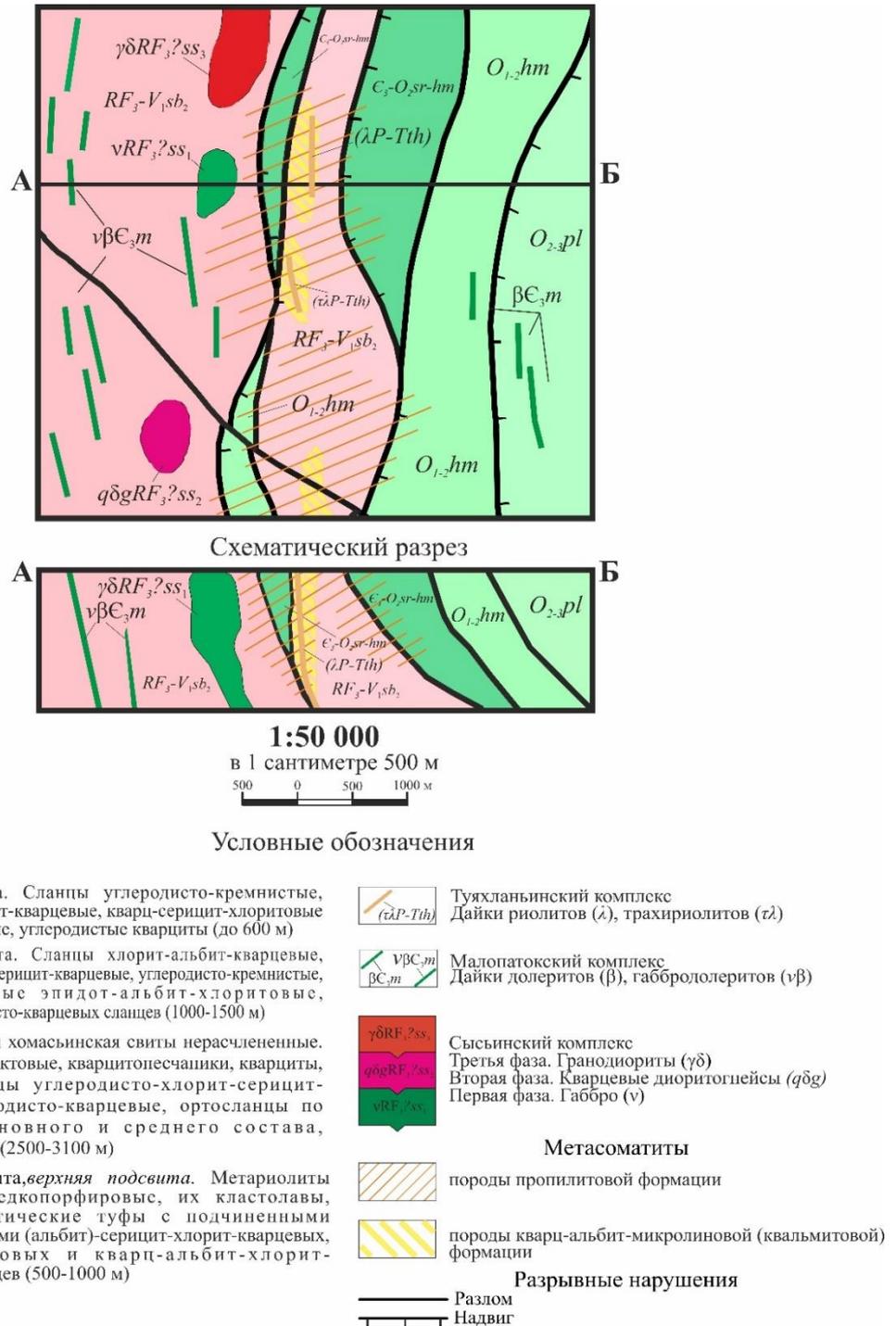
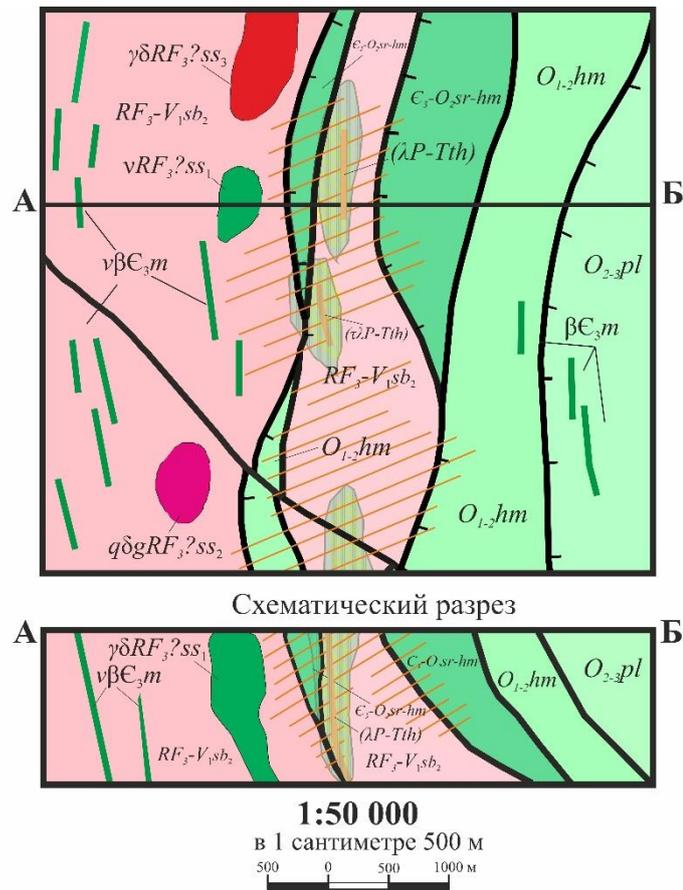


Рисунок 4.15 Схематичная карта и разрез масштаба 1: 50 000 распространения пород кварц-альбит-микроклиновой формации в пределах Турупьинского рудного поля



#### Условные обозначения

<p><math>O_{2-pl}</math> Польнинская свита. Сланцы углеродисто-кремнистые, углеродисто-серицит-кварцевые, кварц-серицит-хлоритовые и кварц-серицитовые, углеродистые кварциты (до 600 м)</p> <p><math>O_{1-hm}</math> Хомасьинская свита. Сланцы хлорит-альбит-кварцевые, углеродисто-хлорит-серицит-кварцевые, углеродисто-кремнистые, аповулканогенные эпидот-альбит-хлоритовые, с прослоями графитисто-кварцевых сланцев (1000-1500 м)</p> <p><math>E_3-O_{sr-hm}</math> Саранхашёрская и хомасьинская свиты нерасчленённые. Песчаники полимиктовые, кварцитопесчаники, кварциты, гравелиты, сланцы углеродисто-хлорит-серицит-кварцевые, углеродисто-кварцевые, ортосланцы по эффузивам основного и среднего состава, метаконгломераты (2500-3100 м)</p> <p><math>RF_3-V_1sb_2</math> Саблегорская свита, <i>верхняя подсвита</i>. Метариолиты порфировые и редкопорфировые, их кластолавы, кристалло-кластические туфы с подчиненными пачками и прослоями (альбит)-серицит-хлорит-кварцевых, кварц-серицитовых и кварц-альбит-хлорит-серицитовых сланцев (500-1000 м)</p>	<p><math>(\lambda P-Tth)</math> Туухланьинский комплекс Дайки риолитов (<math>\lambda</math>), трахириолитов (<math>\tau\lambda</math>)</p> <p><math>v\beta E_3m</math> Малопаatokский комплекс Дайки долеритов (<math>\beta</math>), габбродолеритов (<math>v\beta</math>)</p> <p><math>\gamma\delta RF_3/ss_3</math> Сысьинский комплекс Третья фаза. Гранодиориты (<math>\gamma\delta</math>) Вторая фаза. Кварцевые диоритогеиы (<math>q\delta g</math>) Первая фаза. Габбро (<math>v</math>)</p> <p style="text-align: center;"><b>Метасоматиты</b></p> <p> породы пропилитовой формации</p> <p> породы кварц-альбит-микролиновой (квальмитовой) формации</p> <p> породы эйситовой формации</p> <p style="text-align: center;"><b>Разрывные нарушения</b></p> <p> Разлом</p> <p> Надвиг</p>
--	--

*Рисунок 4.16 Схематичная карта и разрез масштаба 1: 50 000 распространения пород эйситовой формации в пределах Турупинского рудного поля*

Таким образом, по результатам исследования автором разработана геолого-генетическая модель условий локализации оруденения Турупинского рудопроявления, которая обусловлена длительным и многоэтапным формированием и полиформационным характером гидротермальной деятельности: с проявлением региональной пропилитизации,

позднее, более локально, в процессе тектоно-магматической активизации вместе с флюидальными риолитами и сопровождающими их постмагматическими гидротермальными растворами была образована кварц-альбит-микроклиновая формация с редкометалльно-редкоземельным оруденением, а затем под действием низкотемпературных гидротермальных процессов, возникших в поздний этап тектоно-магматической активизации, на кварц-альбит-микроклиновую формацию наложилось образование эйситовой формаций с урановой минерализацией.

*Пермско-триасовые пункты минерализации редкоземельно-редкометалльного оруденения Маньхамбовского блока*

В пределах Маньхамбовского блока установлен ряд пунктов минерализации близких к комплексному редкоземельно-редкометалльному урансодержащему рудопроявлению Большая Турупья, но менее изученные и более мелкие по масштабу. Оруденения на исследуемых пунктах, главным образом, связаны с дайками и малыми телами щелочных граносиенитов, трахириолитов и ультракалиевых риолитов, которые интродуцируют рифейско-вендское основание и сопровождаются метасоматитами кварц-альбит-микроклиновой формаций. Это районы истоков рек Ватла, Талтма, Толья, Ятья и притоков рек Понья и Хунтынья.

В отличие от рудопроявления Большая Турупья в исследуемых объектах вокруг щелочных магматических дайек и малых тел четко проявлена кварц-альбит-микроклиновая формация, с которой связано редкометалльно-редкоземельная минерализация. Этот факт также является косвенным признаком того, что на Турупьинском рудопроявлении изначально были метасоматиты кварц-альбит-микроклиновой формаций, на которую наложилось образование эйситовой формаций. Сами же метасоматиты кварц-альбит-микроклиновой формации – это породы серовато-розового цвета редкопорфировой, тонкозернистой структуры и массивной текстурой. Микроскопически для них характерно бластопорфировая структура с микролепидогранобластовой структурой основной ткани. По минеральному составу резко преобладает ортоклаз (65-70 %), альбит (10-15 %), кварц (10 %), рибекит (7-10 %), биотит и мусковит до 5 %.

Основными рудными минералами на исследуемых пунктах являются тантало-ниобаты, ксенотим, эвксенит, поликраз, пироклор, монацит, алланит, ферсмит, чевкинит, халькопирит и флюорит [Душин В.А и др., 2018, Душин В.А., Трутнев А.К., 2021]. Содержание ценных и важных рудных элементов на разных объектах продемонстрированы в таблице 4.10. Так содержание Nb варьирует от 0,001-0,05 %, Ta – 0,003 %, Ce – 0,01-0,02 %, Y – 0,006-0,05 %, Zr-0,1 %, Sn – 0,002 %, Ba – 0,9 %,  $\Sigma$ REE – 0,005-0,03 %, Au – 0,05-8 г/т.

Таблица 4.10 - Характеристика рудных объектов в связи с малыми телами граносиенитов, трахириолитов и ультракалиевых риолитов

Название объекта	Рудовмещающие породы, комплекс, метасоматиты	Содержание рудных элементов (%)	Основные минералы руд
Хунтынья	Трахириолиты, квальмиты; туяхланьинский	Nb-0,05; Ce-0,02; Y-0,006; Zr-0,1; Ba-0,9; Au-0,16-0,33г/т	Ксенотим, тантало-ниобаты, эвксенит, поликраз, гематит, циркон, пироклор, монацит, халькопирит
Яныманья	Ультракалиевые риолиты, квальмиты; туяхланьинский	Nb-0,05; Ce-0,02; Y-0,006;	Тантало-ниобаты, ксенотим, эвксенит, гематит, циркон, пироклор, монацит
Истоки Бол. Турупья	Грносиениты, риолиты, (квальмиты); поньинский	Nb-0,001; Ce-0,01; Sn-0,002; Pb-0,01; Au-8г/т	Пироклор, циркон, ферсмит, чевкинит
Ватлинское	Риолиты, квальмиты; туяхланьинский	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -0,01; Y-0,024; Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,003	Тантало-ниобаты, флюорит
Поньинское I	Лейкограниты, альбититы, березиты	Y-0,05; Zr-0,08; Ce-0,01; Au-0,05 г/т	Ксенотим, алланит, циркон, флюорит, сфен, анатаз, турмалин

При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе установлен химический состав некоторых редкометалльных и редкоземельных минералов, что позволило дать им более точную диагностику. Так тантало-ниобаты, главным образом, представлены короткостолбчатыми кристаллами, размером 0,04-0,06×0,06-0,08 мм, ферроколумбита ((Fe,Mn)(Nb,Ta)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), где содержание Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> составляет 37,2-66,4 %, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 12,4-16,3 %, FeO – 11,0-14,0 %, MnO – 6,1-7,8 %. Y-ксенотим (YPO<sub>4</sub>) обладает следующим химическим составом: Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 47,1 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 32,5 %. В качестве примесей отмечаются редкоземельные, такие как Dy<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4,2 %), Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,3 %), Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,0 %), Ho<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,9 %), Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2,9 %), и благороднометалльные (Ag<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,6 %) элементы.

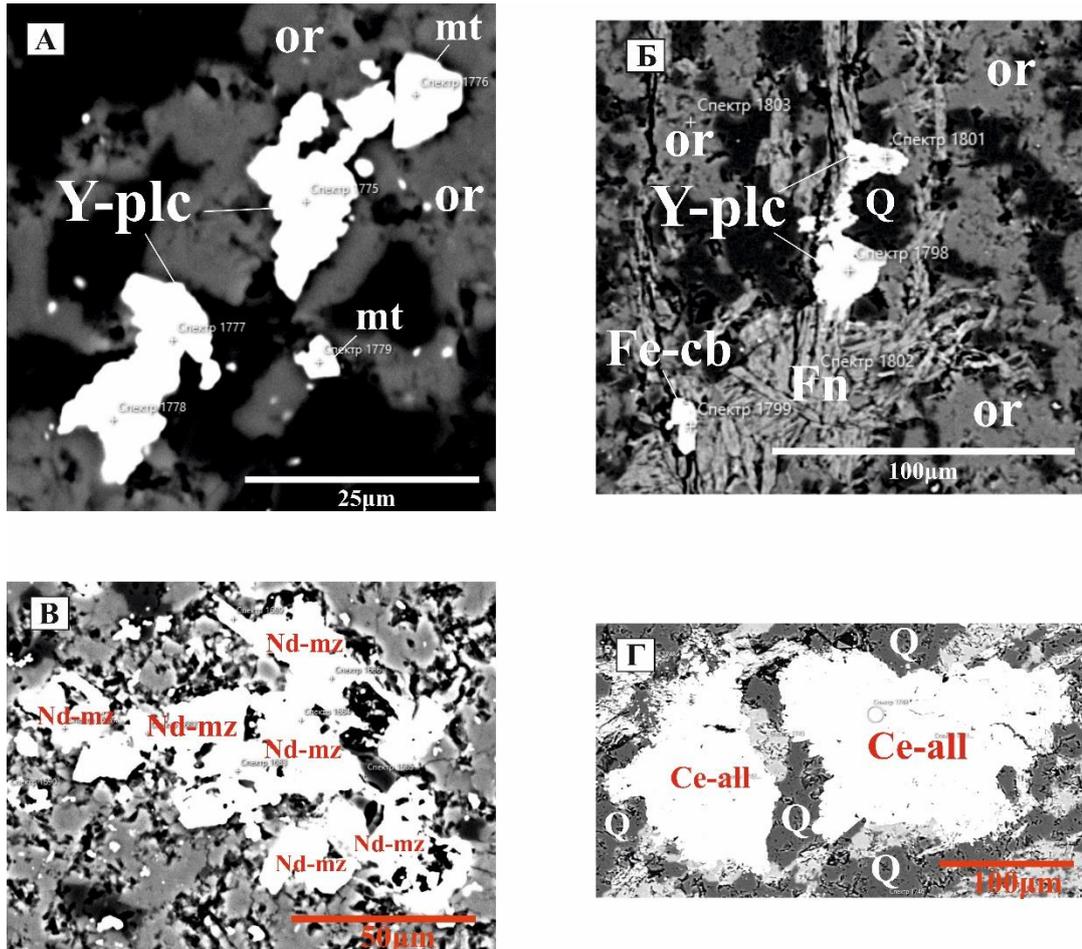
Среди редкоземельных минералов наиболее распространенным является Y-поликраз (Y(Ti,Nb)<sub>2</sub>(O,OH)<sub>6</sub>). Зерна обладают вытянутой неправильной округлой формой размерами 0,01-0,03×0,02-0,04 мм (рисунок 4.17 А, Б). Минералы прослеживаются в виде включения в зернах ортоклаза, чешуйках фенгита и в прожилках кварца. Для Y-поликразов характерен

следующий химический состав:  $Y_2O_3$  – 16,7-26,3 %,  $CaO$  – 0,2-1,0 %,  $Ce_2O_3$  – 1,0-2,6 %,  $Nd_2O_3$  – 1,4-4,2 %,  $Sm_2O_3$  – 1,1-2,1 %,  $Gd_2O_3$  – 2,1-4,8 %,  $Dy_2O_3$  – 3,4-6,0 %,  $Ho_2O_3$  – 0,9-1,3 %,  $Er_2O_3$  – 1,9-2,9 %,  $Yb_2O_3$  – 1,2-2,8 %,  $UO_2$  – 0,7-1,2 %,  $ThO_2$  – 1,7-3,1 %,  $TiO_2$  – 31,6-51,6 %,  $Nb_2O_5$  – 3,0-23,9 %,  $Ta_2O_5$  – 1,2-1,8 %. Среди примесей прослеживается  $Ag_2O_3$  с концентрацией от 0,4 до 1,8 %. По составу редких земель минералы характеризуются иттриевым максимум с  $Ce_1 : Y_1 = 1 : (2,4-6,6)$ , подразделение редких земель на группы проведено по методу Л.С. Бородина [Бородин Л.С., 1960]. По соотношению РЗЭ прослеживается преобладание тяжелых элементов ( $HREE/LREE = 1,2-4,6$ ).

При помощи электронного микроспектрального энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе впервые удалось установить две разновидности монацитов, представленных *La-монацитом* ( $La(PO_4)$ ) и *Nd-монацитом* ( $Nd(PO_4)$ ) в соотношении 1:4. Зерна *La-монацита* имеют неправильную округлую форму размером 0,04-0,07×0,08-0,13 мм. Минералы прослеживаются в виде включений в зернах ортоклаза. Химический состав следующий:  $La_2O_3$  – 19,9 %,  $Ce_2O_3$  – 7,6 %,  $Pr_2O_3$  – 4,8 %,  $Nd_2O_3$  – 17,8 %,  $Sm_2O_3$  – 3,5 %,  $Gd_2O_3$  – 3,1 %,  $Dy_2O_3$  – 2,2 %,  $Y_2O_3$  – 3,5 %,  $P_2O_5$  – 32,4 %. Минералы характеризуются цериевым максимум ( $Ce_1 : Y_1 = 9,9 : 1$ , по методу Л.С. Бородина [Бородин Л.С., 1960]). Среди РЗЭ наблюдается значительное преобладание легких элементов ( $LREE/HREE = 10,1-30,7$ ).

*Nd-монацит* представлен, как правило сростками зерен таблитчатой формы, местами с «рванными» краями размером 0,01-0,02×0,03-0,05 мм (рисунок 4.17 В). Наблюдается в виде включений в зернах ортоклаза, чешуйках фенгита и прожилках кварца. Минерал содержит следующие химические элементы:  $La_2O_3$  – 18,5-23,2 %,  $Ce_2O_3$  – 1,6-10,4 %,  $Pr_2O_3$  – 4,0-5,3 %,  $Nd_2O_3$  – 20,5-27,4 %,  $Sm_2O_3$  – 3,2-3,9 %,  $Gd_2O_3$  – 1,8-2,4 %,  $Dy_2O_3$  – 0,0-1,7 %,  $Y_2O_3$  – 3,0-4,4 %,  $P_2O_5$  – 31,3-35,3 %. Среди примесей также отмечается присутствие  $CaO$  (1,3-2,9 %) и  $PbO$  (1,3-1,8 %).

*Ce-алланит* представлен зернами неправильной вытянутой формы с «рванными» краями размером 0,3-0,6×0,7-0,8 мм (рисунок 4.17 Г). Минерал встречается в виде включений в прожилках кварца. *Ce-алланиты* характеризуются содержанием  $CaO$  от 13,8 до 14,9 %,  $Ce_2O_3$  – 9,6-10,4 %,  $La_2O_3$  – 3,5-4,4 %,  $Pr_2O_3$  – 0,1-1,0 %,  $Nd_2O_3$  – 2,2-3,1 %,  $SiO_2$  – 32,8-35,7 %,  $Al_2O_3$  – 17,5-20,5 %,  $FeO$  – 12,3-13,9 %. В некоторых зернах отмечается примесь  $Sc_2O_3$  не превышающей концентрации 0,3 %.



*Условные обозначения:* or - ортоклаз, Fn - фенгит, Q - кварц, Plh - флогопит, Y-plc - у-поликраз, mt - магнетит, Fe-cb - ферроколумбит, Nd-mz - Nd-монацит, Ce-all - се-алланит

Рисунок 4.17 А - микрофотография участка ильита с зернами неправильной формы Y-поликраза (ильит 13-1240-1) в отраженных электронах с увеличением 25 мкм; Б - микрофотография участка ильита с зернами неправильной формы Y-поликраза (ильит 13-1244-1) в отраженных электронах с увеличением 100 мкм; В - микрофотография участка ильита со сростками Nd-монацитов таблитчатой формы (ильит 12-617-1) в отраженных электронах с увеличением 50 мкм; Г - микрофотография участка ильита с зернами неправильной формы Ce-алланита (ильит 13-1240-1) в отраженных электронах с увеличением 100 мкм;

### 4.3 Закономерности размещения редкоземельно-редкометалльной урансодержащей формации щелочных метасоматитов Маньхамбовского блока

Рудопроявления и пункты минерализации редкоземельно-редкометалльной урансодержащей минерализации в щелочных метасоматитах расположена в пределах Уральского минерагенического пояса Центрально-Уральской минерагенической мегазоны Ляпинской минерагенической зоны (q, Au, W, R/ RF<sub>3</sub>-O, C<sub>3</sub>-P). В геолого-структурном плане они расположены в пределах Нундерминско-Салатимской активизированной шовной зоне. Редкоземельно-редкометалльное оруденение контролируется зонами разломов

северо-западного и субширотного простирания на границах тектонических блоков поперечных поднятий, возникших в позднепалеозойско-раннемезозойскую ТМА. Рудогенерирующая роль принадлежит внутриплитным малым интрузиям и дайкам субщелочных микрограносиенитов, а также субвулканическим телам щелочных риолитов, трахириолитов и ультракалиевых риолитов. Рудовмещающие породы представлены метасоматическими образованиями кварц-альбит-микроклиновой и эйситовой формаций.

Таким образом, по результатам исследования выделены поисковые критерии и признаки редкоземельно-редкометалльного урансодержащего типа оруденения, связанного с продуктами пермско-триасовой ТМА.

Тектонический критерий: редкоземельно-редкометалльная урансодержащая минерализация контролируется зонами разломов северо-западного и субширотного простирания на границах тектонических блоков поперечных поднятий.

Магматический критерий: проявление минерализации парагенетически связано с малыми интрузиями и дайками субщелочных микрограносиенитов, а также с субвулканическими телами риолитов, трахириолитов и ультракалиевых риолитов.

Петрологический критерий: магматические образования, выполняющие рудогенерирующую роль, принадлежат к щелочным сериям пород, где сумма  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  варьирует от 7,29 до 11,4 %. По типу щелочности породы относятся от калий-натровых ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,02-3,3$ ) до ультракалиевых разновидностей ( $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 20,0-42,0$ ). На различных геодинамических диаграммах магматиты соответствуют обстановкам континентальных рифтовых зон и внутренних устойчивых континентальных областей.

Среди поисковых признаков выделяются следующие:

- Проявления и пункты минерализации Ta, Nb, РЗЭ, в том числе выходы калишпатизированных, альбитизированных магматитов с проявлением редкоземельно-редкометалльной минерализации, сфалерита, галенита, касситерита, пирита, алланита и торита. Участки повышенной радиоактивности в магматических образованиях.

- Минералогический признак: шлиховые ореолы и потоки колумбита, монацита, ксенотима, алланита, циркона, касситерита, шеелита и золота. Так практически все водотоки, протекающие в непосредственной близости с дайками и малыми телами микрограносиенитов, трахириолитов и ультракалиевых риолитов пермско-триасового возраста, заражены колумбитом, ксенотимом, алланитом, часто в ассоциации с шеелитом и золотом. Циркон-монацит-касситеритовый шлик установлен по правому притоку р. Большая Турупья, монацитовый и золото-цирконовый по р. Туяхланья. Циркон-золото-шеелитовые шлиховые потоки зафиксированы по левому притоку р. Большая Турупья и по р. Малая Туяхланья.

- Геофизический признак: контрастные U-Th-K, радиоактивные и магнитные аномалии. Так на рудопроявлении Большая Турупья четко отбиваются минерализованные зоны редкоземельно-редкометалльного урансодержащего оруденения, которые имеют высокие значения на аэроспектрозональном U-Th-K снимке, карте магнитного поля и карте гамма-поля (рисунок 4.18 А, Б).

- Геохимический признак: комплексные литогеохимические аномалии Nb, Y, Be, Zr, Sn, Zn, Pb. На примере более изученного объекта и эталонного объекта Большая Турупья построена геолого-геохимическая модель, которая представлена на рисунке 4.18 В. На геолого-геохимической модели четко отражается тенденция накопления и аномальных значений перечисленных выше химических элементов, а также пики аэроспектрозональных U-Th-K аномалии и самые высокие значения радиоактивности во внутренней зоне метасоматических образований.

- Метасоматический признак: редкоземельно-редкометалльные урансодержащие оруденение приурочено к развитию метасоматических образований кварц-альбит-микроклиновой и эйситовой формаций.

По геологическому строению, структурно-тектоническому положению, закономерностям размещения и условиям локализации редкоземельно-редкометалльного оруденения исследуемые рудопроявление и пункты минерализации имеют близкое сходство с месторождениями Тайкеуского редкометалльного рудного узла, расположенного на Полярном Урале. В Тайкеуском узле сосредоточены промышленные месторождения и проявления, относящиеся к формации редкоземельно-редкометалльных апогранитовых альбититов, представленные Тайкеуским, Усть-Мраморным и Лонготюганским месторождениями с тантал-ниобий-редкоземельным оруденением альбититового типа [Душин В.А., 2009, 2022], где среди поисковых критериев и признаков выделяются: *тектонический* – оруденение контролируется разломами северо-западного направления; *магматический* – минерализация парагенетически связана с граносиенитами пермско-триасового возраста; проявление *Ta, Nb, PЗЭ минерализации, комплексные литогеохимические аномалии Nb-U-Th-Zr-Pb-Sn*; *метасоматические образования* – кварц-альбит-микроклиновая формация является рудовмещающей для редкоземельно-редкометалльного оруденения месторождений Тайкеуского узла. Суммарные запасы и прогнозные ресурсы редких металлов узла (тыс. т):  $Ta_2O_5$  – 44,5,  $Nb_2O_5$  – 364,2,  $TR_2O_3$  – 276,4, Sn – 77,2, BeO – 42 [Золоев К.К., 2004].

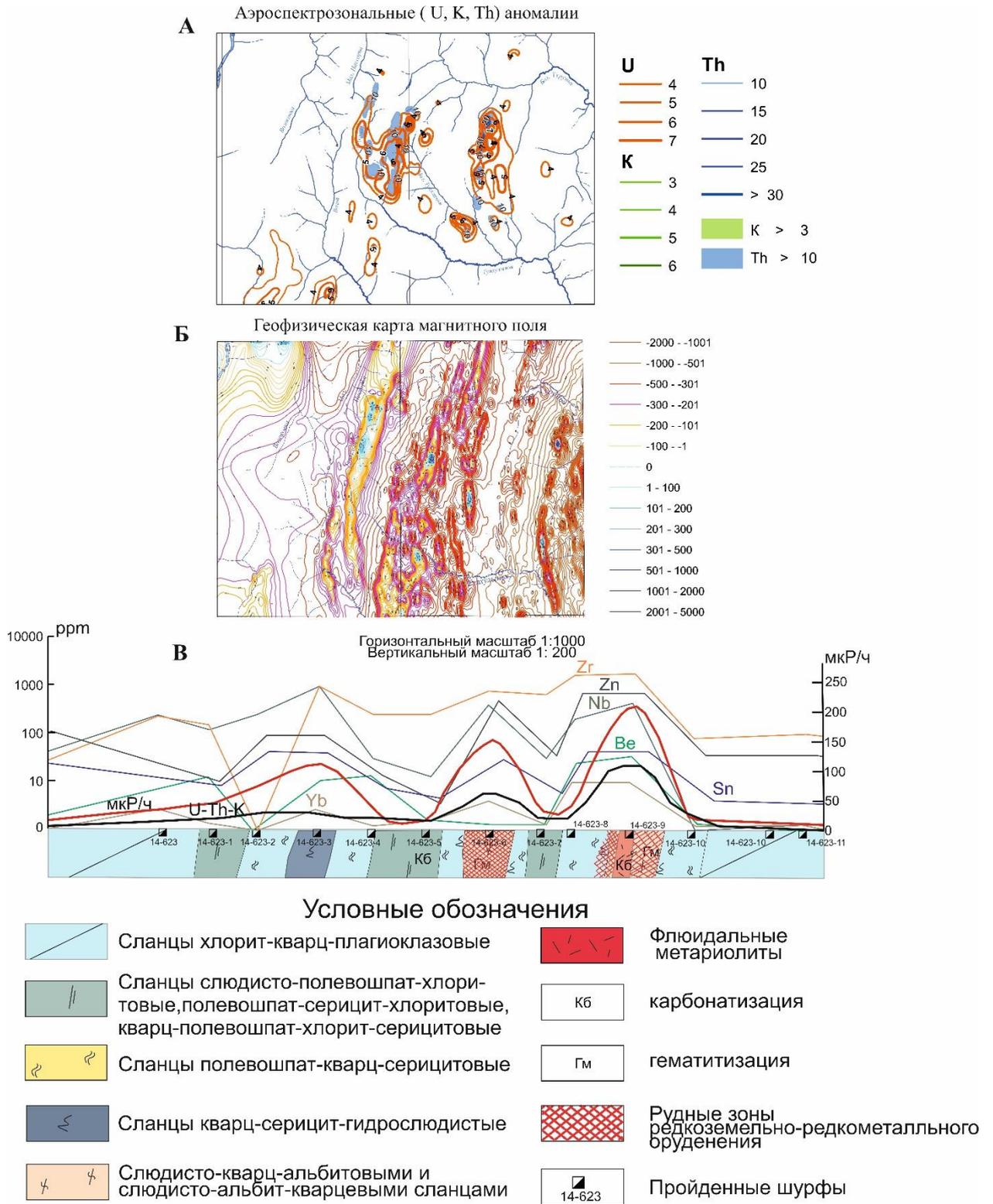


Рисунок 4.18 А – аэроспектрозональная (U-Th-K) карта масштаба 1:100 000 в районе рудопроявления Большая Турунья; Б – карта магнитного поля масштаба 1: 100 000 в районе рудопроявления Большая Турунья; В – геолого-геохимическая модель рудопроявления Большая турунья

## Прогнозно-поисковый комплекс редкоземельно-редкометалльной урансодержащей в щелочных метасоматитов рудно-метасоматической формации

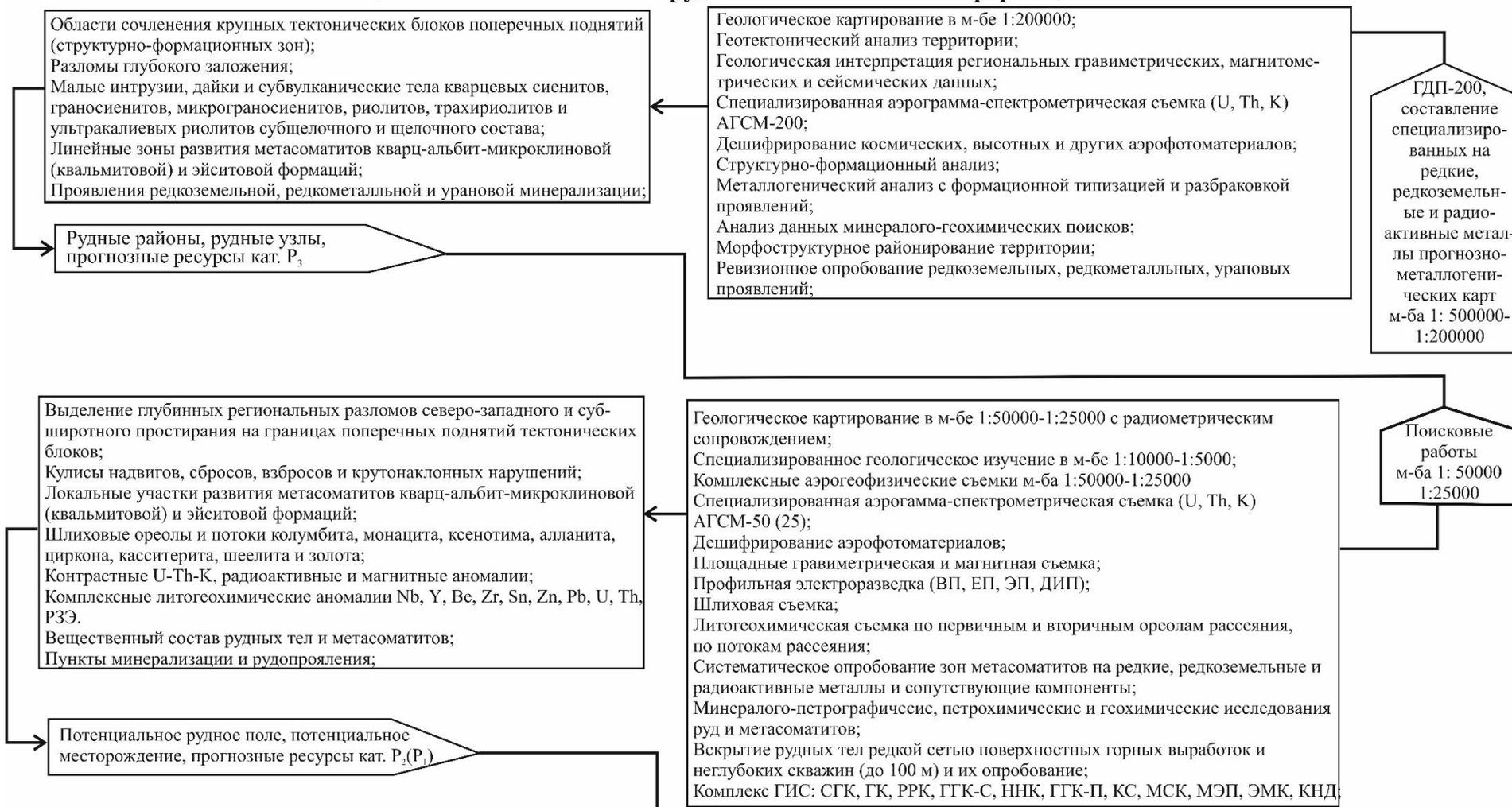


Рисунок 4.19 Прогнозно-поисковый комплекс редкоземельно-редкометалльной урансодержащей апогранитовой и щелочных метасоматитов рудно-метасоматической формации

По результатам исследования разработан прогнозно-поисковый комплекс на редкоземельно-редкометалльный урансодержащий тип минерализации, который определяет общую последовательность работ по выделению и оконтуриванию перспективных площадей определенных металлогенических рангов, эквивалентных геологическим объектам. Основными методами поисков являются поисково-съёмочные маршруты, специализированная аэрогамма-спектрометрическая U-Th-K и магнитная съёмка, литогеохимические работы и шлиховое опробование (рисунок 4.19).

#### *Выводы*

По результатам проведенных исследований позднепалеозойско-раннемезозойской эндогенной рудоносностью Маньхамбовского блока можно сделать следующие выводы:

1. Эндогенная рудоносность пермско-триасового этапа формирования Маньхамбовского блока обусловлена TR-P3Э (U) оруденением в связи с внутри(окраино)плитной рифтогенной тектоно-магматической активизацией.

2. Эталонным объектом редкоземельно-редкометалльного урансодержащего оруденения является своеобразное Турупьинское (Большая Турупья) рудопроявление, где рудная минерализация контролируется малыми телами и субвулканическими дайками микрограносиенитов, риолитов и трахириолитов и приурочена к узлу пресечения северо-восточных структур (Собско-Нундерминской зоны) с северо-западными нарушениями Неройско-Патокского глубинного разлома.

3. Впервые установлена и выявлена зональность пород урансодержащей эйситовой формаций в ассоциации с кварц-альбит-микроклиновыми породами с редкоземельно-редкометалльной минерализацией, наложенных на пропилитовую формацию.

4. Впервые в метасоматитах эйситовой формации рудопроявления Большая Турупья диагностированы урановые минералы, представленные браннеритом и бетафитом.

5. Установлено, что главными рудными минералами на рудопроявлении Большая Турупья являются: колумбит, бастнезит, алланит, пирохлор, эвксенит, ферсмит, чевкинит, браннерит, бетафит и Y-ксенотим. Втростепенные минералы: апатит, флюорит, гематит, магнетит, халькозин, халькопирит, пирит, сфалерит, рутил, ильменит, галенит, молибденит, касситерит, самородная медь. Кроме того, установлены минералы бериллия, представленные гентгельвином, фенакитом и эвклазом. Содержание рудных компонентов следующие (%):  $Nb_2O_5$  – 0,072-0,1;  $Ta_2O_5$  - 0,011-0,06; Pd до 100 г/т; Th - 0,007-0,06; Zr - 0,12-0,4; Hf - 0,01;  $\Sigma TR_2O_3$  – 0,05-0,06; U-0,005-0,015; Ag – 40 г/т; Au - 0,5 г/т;  $TiO_2$  - 0,77.

6. Спектр распределения P3Э от промежуточной до внутренней зоны метасоматитов имеет V-образную форму с положительным трендом ( $La/Yb = 0,28-0,57$ ) и четкой отрицательной европиевой аномалией ( $Eu/Eu^* = 0,1-0,27$ ), тогда как для внешней зоны

характерно равномерное распределение легких и тяжелых РЗЭ с небольшим преобладанием первых ( $La/Yb = 1,2$ ) и четкой положительной европиевой аномалий ( $Eu/Eu^* = 2,1$ ). Предположительно, такое поведение лантоноидов от промежуточной до внутренней зоны связано с интенсивностью плавления исходного вещества, представленным другой формации (кварц-альбит-микроклиновыми метасоматитами), обогащенной полевыми шпатами. С ростом интенсивности метасоматического процесса возрастает и содержание РЗЭ от 42,8 до 658,5 г/т.

7. Выявлено, что для всех зон метасоматитов характерна рудная концентрация Pd ( $K_k > 100$ ). Для промежуточной, переходной и внутренней зоны отмечаются высокие концентрации ( $K_k > 10$ ) Nb, Ag, Sn, Hf, Ta, Ir, Pt. Для промежуточной и переходной зоны зафиксирована высокая концентрация Cd, тогда как для переходной и внутренней зоны характерно высокое содержание Be, Zn, Zr, Te, и Th. В промежуточной зоне отмечены высокие концентрации Au и Pb. Таким образом, с увеличением интенсивности метасоматических процессов наблюдается возрастание содержания Be, Zn, Zr, Nb, Ag, Pd, Sn, Te, Hf, Ta, Ir, Pt и Th.

8. В метасоматитах рудопроявления Большая Турупья установлена прямая линейная зависимость и тесная геохимическая связь между Zr-Y-Yb-Be-Pb и Nb-Sn. Для внутренней зоны такая же картина наблюдается между U-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ag-Be, Sn-Zn-Zr. Отмечается и тесная связь между  $\Sigma TR$  и Pb, но выражена она через обратную зависимость.

9. Разработана геолого-генетическая модель условий локализации оруденения Турупьинского рудопроявления, которая обусловлена длительным и многоэтапным формированием и полиформационным характером гидротермальной деятельности: с проявлением региональной пропилитизации, позднее, более локально, в процессе тектоно-магматической активизации вместе с флюидами риолитами и сопровождающими их постмагматическими гидротермальными растворами была образована кварц-альбит-микроклиновая формация с редкометалльно-редкоземельным оруденением, а затем под действием низкотемпературных гидротермальных процессов, возникших в поздний этап тектоно-магматической активизации, на кварц-альбит-микроклиновую формацию наложилось образование эйситовой формаций с урановой минерализацией.

10. Впервые при детальном исследовании пород кварц-альбит-микроклиновой формации установлены ферроколумбит, Y-ксенотим, Y-поликраз, Се-алланит, La-монацит и Nd-монацит.

11. По результатам исследований установлено, что редкоземельно-редкометалльное урансодержащее оруденение контролируется зонами разломов северо-западного и субширотного простирания на границах тектонических блоков поперечных поднятий,

возникших в пермско-триасовую ТМА. Рудогенерирующая роль принадлежит внутриплитным малым интрузиям субщелочных микрограносиенитов, а также субвулканическим телам щелочных риолитов, трахириолитов и ультракалиевых риолитов. Рудовмещающие породы представлены метасоматическими образованиями кварц-альбит-микроклиновой и эйситовой формациями.

12. Выделены поисковые критерии и признаки редкоземельно-редкометалльного урансодержащего типа оруденения, связанного с продуктами пермско-триасовой тектоно-магматической активизации. Среди критериев выделяются: *тектонический* – оруденение контролируется зонами разломов северо-западного и субширотного простирания на границах тектонических блоков поперечных поднятий; *магматический* – проявление минерализации парагенетически связано с малыми интрузиями субщелочных микрограносиенитов, а также с субвулканическими телами риолитов, трахириолитов и ультракалиевых риолитов; *петрологический* – магматические образования, выполняющие рудогенерирующую роль, принадлежат к щелочной калий-натриевой и калиевой сериям пород и сформировались в обстановках континентальных рифтовых зон и внутренних устойчивых континентальных областей. Среди поисковых признаков выделяются: проявления и пункты минерализации Ta, Nb, РЗЭ; шлиховые ореолы и потоки колумбита, монацита, ксенотима, алланита, циркона, касситерита, шеелита и золота; контрастные U-Th-K, радиоактивные и магнитные аномалии; комплексные литогеохимические аномалии Nb, Y, Be, Zr, Sn, Zn и Pb; метасоматические образования кварц-альбит-микроклиновой и эйситовой формаций.

13. По геологическому строению, структурно-тектоническому положению, закономерностям размещения и условиям локализации редкоземельно-редкометалльного оруденения исследуемые рудопроявление и пункты минерализации имеют близкое сходство с промышленными месторождениями (Тайкеуское, Усть-Мраморное и Лонготюганское) Тайкеуского редкометалльного рудного узла, расположенного на Полярном Урале и относящегося к формации редкоземельно-редкометалльных апогранитовых альбититов.

14. По результатам исследования разработан прогнозно-поисковый комплекс на редкоземельно-редкометалльный урансодержащий тип минерализации, который определяет общую последовательность работ по выделению и оконтуриванию перспективных площадей определенных металлогенических рангов, эквивалентных геологическим объектам. Основными методами поисков являются поисково-съёмочные маршруты, специализированная аэрогамма-спектрометрическая U-Th-K и магнитная съёмка, литогеохимические работы и шлиховое опробование.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения диссертационной работы, автором проанализированы материалы предшественников, проведены комплексные структурно-тектонические, минералогическо-петрографические, петрохимические, геохимические и геохронологические исследования, которые позволили автору получить следующие результаты:

1. В пределах Маньхамбовского блока установлены малые тела, штоки, неки и дайки основных, средних и кислых пород, которые приурочены к дизъюнктивам северо-западного и субширотного простирания, обладающие относительной «свежестью» и несогласным, поперечным залеганием по отношению к вмещающим структурам средне-позднерифейского, венд-кембрийского и палеозойского возраста. Породы уверенно выделяются по отрицательным магнитным (-200 - -300 нТл) и гравитационным (-4 - -25 мГал) аномалиям, а также сопровождаются аномалиями калия (1-3 г/т), тория (5-17 г/т) и урана (8-10 г/т), выявленные аэрогамма-спектрометрическими методами.

2. Впервые обоснован пермско-триасовый возраст основных, средних и кислых пород поньинского и туяхланьинского комплексов.

3. Породы поньинского и туяхланьинского комплексов характеризуются повышенной щелочностью К-Na и К типа, повышенной титанистостью, железистостью, высоким содержанием редких и редкоземельных элементов, аспекты которых свойственны продуктам внутриплитного рифтогенного магматизма. Кроме того, на различных геодинамических диаграммах установлено, что породы комплексов соответствуют внутри-(окрайно)-плитной рифтогенной природе формирования пород, а среди процессов, которые могли повлиять на образование фиксируется четкая тенденция обогащения внутриплитным (плюмовым) компонентом.

4. Впервые в породах семейства монцогаббро диагностирован щелочной пироксен – омфацит и минерал из группы амфибола – К-содержащий паргасит. В долеритах среди аксессуарных и рудных минералов установлены алланит, халькопирит, планшеит, галенит и аурипигмент. В граносиенитах диагностирован торит. В ультракалиевых риолитах установлен карбонат бария – бенстонит, который встречен впервые для Приполярного региона.

5. Рудоносность пород поньинского и туяхланьинского комплексов характеризуются благородно-редкоземельно-редкометалльной специализацией.

6. Эндогенная рудоносность пермско-триасового этапа формирования Маньхамбовского блока обусловлена TR-P3Э (U) оруденением в связи с внутри(окрайно)плитной рифтогенной тектоно-магматической активизацией.

7. Установлены и закартированы эйситовые метасоматиты в ассоциации с кварц-альбит-микроклиновыми породами, наложенные на пропилитовую формацию.

8. Впервые в метасоматитах эйситовой формации рудопроявления Большая Турупья диагностированы урановые минералы, представленные браннеритом и бетафитом.

9. Разработана геолого-генетическая модель условий локализации оруденения Турупьинского рудопроявления, которая обусловлена длительным и многоэтапным формированием и полиформационным характером гидротермальной деятельности: с проявлением региональной пропилитизации, позднее, более локально, в процессе тектоно-магматической активизации вместе с флюидами риолитами и сопровождающими их постмагматическими гидротермальными растворами была образована кварц-альбит-микроклиновая формация с редкометалльно-редкоземельным оруденением, а затем под действием низкотемпературных гидротермальных процессов, возникших в поздний этап тектоно-магматической активизации, на кварц-альбит-микроклиновую формацию наложилось образование эйситовой формаций с урановой минерализацией.

10. Впервые при детальном исследовании пород кварц-альбит-микроклиновой формации установлены ферроколумбит, Y-ксенотим, Y-поликраз, Се-алланит, La-монацит и Nd-монацит.

11. Выявлены закономерности размещения, выделены поисковые критерии и признаки и разработан прогнозно-поисковый комплекс на редкоземельно-рекометалльный урансодержащий типа оруденения, связанного с пермско-триасовой тектоно-магматической активизации. Среди критериев выделяются: *тектонический* – оруденение контролируется зонами разломов северо-западного и субширотного простирания на границах тектонических блоков поперечных поднятий; *магматический* – проявление минерализации парагенетически связано с малыми интрузиями субщелочных микрограносиенитов, а также с субвулканическими телами риолитов, трахириолитов и ультракалиевых риолитов; *петрологический* – магматические образования, выполняющие рудогенерирующую роль, принадлежат к щелочной калий-натриевой и калиевой серии пород и сформировались в обстановках континентальных рифтовых зон и внутренних устойчивых континентальных областей. Среди поисковых признаков выделяются: проявления и пункты минерализации Ta, Nb, P3Э; шлиховые ореолы и потоки колумбита, монацита, ксенотима, алланита, циркона, касситерита, шеелита и золота; контрастные U-Th-K, радиоактивные и магнитные аномалии; комплексные литогеохимические аномалии Nb, Y, Be, Zr, Sn, Zn и Pb; метасоматические образования кварц-альбит-микроклиновой и эйситовой формации.

12. По результатам исследования разработан прогнозно-поисковый комплекс на редкоземельно-редкометалльный урансодержащий тип минерализации, который определяет общую последовательность работ по выделению и оконтуриванию перспективных площадей определенных металлогенических рангов, эквивалентных геологическим объектам. Основными методами поисков являются поисково-съёмочные маршруты, специализированная аэрогамма-спектрометрическая U-Th-K и магнитная съёмка, литогеохимические работы и шлиховое опробование.

Таким образом, в результате диссертационных исследований выявлены специфические магматические образования, проявленные в пермско-триасовую тектоно-магматическую активизацию, с которыми парагенетически связано редкоземельно-редкометалльное урансодержащее оруденение в щелочных метасоматитах.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- СНИГЭ – Северная научно-исследовательская геологическая экспедиция
- УГГУ – Уральский государственный горный университет
- ГПР МПИ – кафедра геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых
- НИИЛ ВСПиР – научно-исследовательская и испытательная лаборатория вещественного состава пород и руд
- ИСП-МС, ICP-MS – масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой
- ППП – потери при прокаливании
- СМЗ – структурно-минерогеническая зона
- ТМА – тектоно-магматическая активизация
- ГДП-200/2 – геологическое доизучение площади в масштабе 1:200 000
- СФЗ – структурно-формационная зона
- КПШ – калиевый полевой шпат
- нТл – нанотесла
- мГал – миллигал
- мкР/ч – микроренген час
- Р-Т – пермско-триасовый возраст
- ф.е – формульная единица
- Ab – альбит
- Or – ортоклаз
- An – анортит
- Jd – жадеит
- Aug – авгит
- Aeg – эгирин
- TAS – диаграмма химического состава магматических пород в координатах  $\text{SiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  мас. %
- CIPW – метод расчета нормативного минерального состава
- РЗЭ, REE – редкоземельные элементы
- TR – редкие металлы
- Кк – кларки концентрации элементов
- N-MORB – толеитовые базальты срединно-океанических хребтов геохимически нормального типа
- E-MORB – толеитовые базальты срединно-океанических хребтов геохимически обогащенного типа
- OIB – базальты океанических островов

ВКК – верхняя континентальная кора

НКК – нижняя континентальная кора

МАГАТЭ – международное агентство по атомной энергии

CO<sub>2</sub> – углекислый газ

CO – монооксид углерода

H<sub>2</sub> – двухатомный водород

CH<sub>4</sub> – метан

NH<sub>3</sub> – аммиак

LREE – легкие редкоземельные элементы

HREE – тяжелые редкоземельные элементы

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ****Опубликованная**

1. Апельцин Ф. Р., Скоробогатова Н. В., Якушин Л. К. Генетические черты гранитоидов Полярного Урала и условия их редкометалльной металлогенической специализации. — М.: Недра, 1967. — 199 с. — (Труды Всесоюзного научно-исследовательского института минерального сырья «ВИМС» / М-во геологии СССР. Новая серия; Вып. 16).
2. Архангельская В. В. Раннепротерозойские редкометалльные метасоматиты в породах амфиболитовой фации метаморфизма // Метасоматиты докембрия и их рудоносность. Сборник научных трудов. Изд-во: Наука. Москва, 1989. с. 116 – 131
3. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. - Москва: Изд-во Наука, 1976. – 268 с.
4. Берлянд Н.Г. Районирование Урала по типу строения земной коры // Сов. геология – 1982- №11 – С. 78-79.
5. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М: Госгеолиздат, 1951. 541 с.
6. Бетехтин А.Г. Курс минералогии: учебное пособие / под науч. ред. Б.И. Пирогова и Б.Б. Шкуренко. 2-е издание, испр. и доп. М.: КДУ, 2010. 736 с.
7. Бородин Л.С. Геохимия главных серий изверженных пород. – Москва. – Изд-во: «Недра». – 1981. – 195 с.
8. Бородин Л. С. О корреляционных связях редкоземельных элементов и некоторых особенностях разделения редких земель в процессах эндогенного минералообразования.- Геохимия, 1960, № 6.
9. Бородин Л.С., Попов В.С., Гладких В.С. и др. Геохимия континентального вулканизма. – Москва: Изд-во Наука, 1987. – 240 с.
10. Васильев Н.В., Удоратина О.В., Скоробогатова Н.В., Бородулин Г.П. Слюды месторождения Тайкеу (Полярный Урал): состав и вопросы классификации. Вестник Коми НЦ УРО РАН, Вып.№ 205 (1)., Коми., Изд-во: НЦ УРО РАН. – 2012 г. – С. 9-13
11. Верховцев В. А., Душин В. А. О перспективах обнаружения комплексных урановых месторождений типа несогласия на Севере Урала // Известия УГГУ секция «Геология и геофизика», Выпуск 10, Екатеринбург, 2000, С 108-115.
12. Вильямс Х., Тернер Ф., Гилберт Ч. Петрография: в 2-х томах. – Москва: Изд-во Мир, 1985. – Т.1 – 301 с.; Т.2 – 320 с.
13. Винчелл А.Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. Москва. – Изд-во: Иностранная литература. – 1953. – 563 с.

14. Водолазская В. П. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Уральская серия. Лист Р-40 (Североуральск). Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2007. 213 с.
15. Волков С.Н. О геотектоническом районировании восточного склона Полярного и Приполярного Урала // Материалы годичной сессии ученого совета ВСЕГЕИ по результатам работ 1959 г. – Ленинград, 1960. С. 14-22.
16. Волчек Е.Н. Геодинамические обстановки кислого вулканизма западного сектора севера Урала. – Е.: Уро РАН, 2004. – 143 с.
17. Гердес А., Зех А., Ронкин Ю.Л. U-Pb и Lu-Hf LA-ICP-MS датирование циркона из рудных месторождений // Материалы Всероссийской научной конференции «Колчеданные месторождения – геология, поиски, добыча и переработка руд» - Екатеринбург, ИГГ Уро РАН, 2013. – С. 192-195
18. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Северо-Уральская. Лист Р-40-VI (г.Тельное-Из). Объяснительная записка/мДушин В.А., Сердюкова О.П., Малюгин А.А., Козьмин В.С. и др.- СПб: Картфабрика ВСЕГЕИ 2018, 216 с.
19. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Северо-Уральская. Лист Р-40-XII (г. Кожим-Из)/ Душин В. А., Сердюкова О.П., Малюгин А.А., Козьмин В. С. и др — М: Московский филиал ФГБУ ВСЕГЕИ 2017, 263 с.
20. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Лист Q-42-I,II (Лаборовая). Объяснительная записка / Душин В.А., Сердюкова О. П., Малюгин А. А. и др. Под ред. А. П. Казак. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. — 372 с.
21. Геологический словарь, Том 1, Москва, Изд-во «Недра», 1978. 245 с.
22. Геологический словарь. В трех томах. Издание третье, перераб. и доп. / Гл. ред. О.В. Петров. Т.2: К-П. СПб: ВСЕГЕИ, 2011. 480 с.
23. Геологический словарь. В трех томах. Издание третье, перераб. и доп. / Гл. ред. О.В. Петров. Т.3: Р-Я. СПб: ВСЕГЕИ, 2012. 440 с. 123
24. Геология и полезные ископаемые России. В 6-ти томах Т.1: Запад России и Урал. Кн.2: Урал. СПб: ВСЕГЕИ, 2011. 584 с.
25. Горский В.П., Молдаванцев Ю.Е. Принципы тектонического районирования Урала на основе блокового строения его фундамента // Тез. Докл. Совещ по проблемам тектоники. – Москва: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 47-58.
26. Дашкевич Г.И., Кузнецов В.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Северо-Уральская. Лист Р-40-VI (гора Тэлпозиз). Объяснительная записка. М.: 1999. 114 с.

27. Демина Л.А. Геохимические особенности Сысьинского габбро-диорит-гранитного массива (Приполярный Урал). Известия УГГУ. 2022. Вып. 1 (65). С. 71–80. DOI 10.21440/2307-2091-2022-1-71-80.
28. Демина Л. А. Геология, геодинамика и металлогения Сысьинского габбро-диорит-гранитного массива (Приполярный Урал) // Уральская горная школа -регионам: Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УГГУ, 2022. С. 7-8.
29. Демина Л. А., Роговский Е. О. Полевые шпаты из гранитоидов Сысьинского массива (Приполярный Урал) // Уральская горная школа -регионам: Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УГГУ, 2021. С. 11-12.
30. Добрецов Н.Л., Кочкин А.П., Кривенко В.А. и др. Породообразующие пироксены. Москва, Изд-во: «Наука», 1971. 453 с.
31. Душин В.А. Геодинамика, магматизм и минерагения Уральского Севера// Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование/ Отв. редакторы Н.П. Юшкин, В.Н. Сазонов: Сб. научных трудов. – Екатеринбург ИГГ УрО РАН, 2007. – С.121-134.
32. Душин В.А., Козьмин В.С., Сердюкова О.П., Бурмако П.Л., Никулина И.А., Малюгин А.А., Прокопчук Д.И., Демина Л.А. Рудоносность Маньхамбовского блока (Приполярный Урал) // Геология и полезные ископаемые Урала и Сибири. Изд-во УГГУ. Екатеринбург, 2017. С 38 -77.
33. Душин В.А. Магматизм и геодинамика палеоконтинентального сектора севера Урала. – М.: Недра, 1997. – 211 с.
34. Душин В.А. Магматизм и металлогения поперечных структур Уральского Севера // Известия УГГУ. – Екатеринбург: УГГУ, Вып. 3. 2017. – С. 7-16.
35. Душин В.А. – Магматизм и редкометальное оруденение Уральского Севера // Новые идеи в науках о Земле. Т. 5, Москва, 2007. с. 79 – 73
36. Душин В.А. Магматизм поперечных структур Уральского Севера // Горные ведомости – Тюмень, № 5-6, 2016. – С. 86-101.
37. Душин В.А. Мезо-кайнозойский магматизм, геодинамика и проблемы алмазности Приполярного Урала // Новые идеи в науках о Земле: материалы IV Междунар. конф. – Москва: Изд-во МГРИ, том 1, 1999. С. 176.
38. Душин В.А. Металлогения Ляпинского мегаблока (Приполярный Урал) //Известия УГГУ. 2021. Вып. 2 (62). С. 88–105. DOI 10.21440/2307-2091-2021-2-88-105
39. Душин В.А., Микляев А.С. Среднепалеозойский магматизм западного склона севера Урала // Сов. геология. №3. С 3-6.

40. Душин В. А. Минерально-сырьевой потенциал редких и редкоземельных металлов Уральского Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5. – С. 52–66. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_5\_0\_52.
41. Душин В.А. Особенности геотектонической позиции комплексных урановорудных объектов Уральского Севера// Региональная геология и металлогения. – 2010. - №42. – С.74-82.
42. Душин В.А., Прокопчук Д.И., Козьмин В.С., Жуклин Е.А., Трутнев А.К. Геология и полезные ископаемые Маньхембовского блока (Приполярный Урал) // Известия УГГУ., 2018., Вып. 3(51) г. Екатеринбург. Изд-во УГГУ., С. 19-33. DOI 10.21440/2307-2091-2018-3-19-33
43. Душин В.А., Ронкин Ю.Л., Gerdes A. Ультракалиевые риолиты севера Урала: геодинамическая позиция и U –Pb систематика циркона // Изотопная датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы. – Санкт-Петербург: Изд-во ИГГД РАН, Вып. 6., 2015 – С. 89-90.
44. Душин В.А., Сердюкова О. П., Козьмин В. С. Малюгин А. А. и др. Геодинамика, магматизм и минерализация уральской части Северной Евразии // Геология и полезные ископаемые Урала. Екатеринбург, 2012. с. 106 – 129.
45. Душин В. А., Трутнев А. К., Жуклин Е. А., Прокопчук Д. И., Демина Л. А. Металлогения Маньхембовского блока (Приполярный Урал) // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11-1. — С. 130—145. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_111\_0\_130.
46. Душин В.А., Фауст А.В. Рифейский гранитный магматизм и металлогения Маньхембовского блока // Региональная геология и металлогения. Санкт-Петербург. – 2008. - №35. – С. 25-33
47. Душин В.А. Формационный анализ/ В.А. Душин; УГГУ. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – 116 с.
48. Душин В. А., Чурсин А. В. Магматизм и глубинное строение Полярного Урала // Петрография на рубеже XXI века. Итоги и перспективы. Т. IV. Сыктывкар, 2000. С. 54–55.
49. Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. М.: АН СССР, 1956. 479 с
50. Елисеев А.И. Сравнительный формационный анализ ограниченных платформ в палеозое. – Сыктывкар, 1982. – Вып. 78. – (Препринт Коми ФАН СССР).
51. Золоев К. К., Левин В. Я., Мормилъ С. И., Шардакова Г. Ю. Минерализация и месторождения редких металлов, молибдена, вольфрама Урала. — Екатеринбург: Минприроды, 2004. — 336 с.

52. Иванов К.С., Пучков В.Н. Девонский базальтоидный магматизм Зилаиро-Лемвинской зоны Урала // Геология зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы. Свердловск.1984. С 41-50.
53. Калиновский А.В. Редкометальные комплексы Маньхамбовского металлогенического района на Северном Урале // Сыктывкар, 1990. - 23 с.
54. Калиновский А.В., Суханов Н.В. Щелочно-карбонатные редкометальные метасоматиты на севере Урала // Рудоносные, рудные и нерудные формации Урала// Информ. материалы. Свердловск, 1985. С. 90–91.
55. Литошко Д.Н. Мезозойская металлогения севера Урала. /Геология и минерально-сырьевые ресурсы европейского Северо-Востока СССР. Тезисы докл. XI Всесоюз. геолог. конфер. – Сыктывкар., 1988. – С. 101-102.
56. Лодочников В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. Издание 5-е, испр. и доп. Под ред. В.С. Соболева. – Москва. – Изд-во: «Недра». – 1974. – 248 с.
57. Лукьянова Л. И., Бельский А. В. Кимберлитовый магматизма Приполярном Урале// Советская геология. 1987, №1, с.92-102.
58. Магматические формации СССР. Т. 1. / В.Л. Масайтис, В.Н. Москалёва, Н.А. Румянцева и др. Л., Недра, 1979. 318 с.
59. Мартынов Ю. А. Основы магматической геохимии / Ю. А. Мартынов. – Владивосток : Дальнаука, 2010. – 228 с.
60. Махлаев Л. В. Гранитоиды севера Центрально-Уральского поднятия (Полярный и Приполярный Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 160 с
61. Минерагенический потенциал недр России. Вып.2. Уральская покровно-складчатая область. В 3 т. Т.1. Полярный Северный Урал / Ред. А. Ф. Морозов. М.: Геокарт–Геос, 2013, 484с.
62. Наумов В.Б, Дорофеева В. А., Гирнис А. В., Ярмолук В. В. Среднее содержание летучих компонентов, петрогенных и редких элементов в магматических расплавах главных геодинамических обстановок земли // Геохимия, Т.64 № 4, Москва, 2019 г., С395-408 DOI: 10.31857/S0016-7525644395-408
63. Омеляненко И. Б. Околорудные гидротермальные изменения пород. Изд-во: Недра. Москва, 1978. – 215с.
64. Основные черты геологического строения и минерально-сырьевой потенциал Северного, Приполярного и Полярного Урала / ред. А. Ф. Морозов, О. В. Петров, А. Н. Мельгунов. СПб: ВСЕГЕИ, 2010. 274 с.

65. Петрографический кодекс России. Авторы: Жданова В.В., Костин А.Е., Кухаренко Е.А., Ланда Э.А., Лукьянова Л.И., Масайтис В.Л., Москаленко З.Д., Пушкарев Ю.Д., Шарпенко Л.Н. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 198 с
66. Попова О.М. Мезозойский базитовый магматизм и минерогения Полярного Урала [Текст]: дис...канд. геол.-минерал. наук: 25.00.11 / Попова Ольга Михайловна. - Екатеринбург, 2002. - 212 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-4/74-6.
67. Практическая петрология: методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам госгеолкарт. Санкт-Петербург, Изд-во: ВСЕГЕИ, 2017. 168 С
68. Пучков В.Н., Иванов К.С. Новые данные по тектонике Урала // Геотектоника № 2. Изд-во геотектоника. Москва. 1987. С 24-34.
69. Пыстин А.М., Гракова О.В., Пыстина Ю.И., Кушманова Е.В., Попвасев К.С., Хубанов В.Б. Возрастные ограничения и возможные источники сноса базальных отложений рифея Приполярного Урала // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2023. № 4. С. 4-17.
70. Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. Новые данные о возрасте гранитоидов Приполярного Урала в связи с проблемой выделения кожимской среднерифейской гранит-риолитовой формации // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011. № 4 (8). С. 73-78.
71. Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. Проблема соотношения нижнего и верхнеодокембрия на Приполярном Урале // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. 2013. № 1. С. 157-159.
72. Рапорт М.С., Баранников А.Г. Мезозойская эндогенная металлогения Урала (некоторые особенности и проблемы) // Известия Уральской гос. Горно-геологической академии. Сер. Геология и геофизика. – Екатеринбург: УГГА, Вып. 8., 1998. – С. 89-94.
73. Салихов Д.Н., Холоднов В.В., Пучков В.Н., Рахимов И.Р. Субдукция, коллизия и плюмы в эпоху позднепалеозойского магматизма Магнитогорской зоны Южного Урала // ЛИТОСФЕРА, 2019, том 19, № 2, Изд-во: УРО РАН, Екатеринбург, С 191–208, DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-2-191-208
74. Сасим С. А., Чуканова В. С., Ильина Н. Н., Семенова Ю. В., Ощепкова А. В. Геохимия вулканических пород позднемезозойской рифтогенной ассоциации Александрово-Заводской впадины (Юго-Восточное Забайкалье) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: науки о Земле Т.5 №2, Изд-во: ИГУ, Иркутск, 2012 г., С209-228
75. Складов Е. В. Интерпретация геохимических данных. М.: Интерметинжиниринг, 2001. 288 с.

76. Сигов А.П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. – Москва., - Изд-во: Недра. - 1969.- 295 с.
77. Силаев В.И. Эволюция минералобразования в гидротермальных палеосистемах/ Ленинград. – Изд-во: Наука. – 1989 – 264 с.
78. Тейлор С.Р. Континентальная кора: ее состав и эволюция / С.Р. Тейлор, С.М. Мак-Леннан/ Изд.-во «Мир». пер. с англ. М., 1988. -384 с. ISBN 5-03-000912-4.
79. Трёгер В.Е. Оптическое определение породообразующих минералов. Справочник Москва. – Изд-во: «Недра». – 1980. – 208 с.
80. Требования к содержанию и оформлению материалов геохимических основ масштаба 1:200 000 Госгеолкарты-200/2 / В.А. Килипко, Л.А. Криночкин, Ю.А. Шаройко, Н.Г. Гуляева, Г.С. Гусев и др. – М: ИМГРЭ, 2021, стр. 98, библи. 47, графических прил. 6, текстовых приложений 26.
81. Трутнев А.К., Душин В.А. Петрографо-геохимическая характеристика Ультракалиевые риолиты южной части Приполярного Урала // «Молодые – наукам о Земле» материалы IX Международной научной конференции молодых ученых : в 7 т.. Том 2. Москва, Изд-во: МГРИ, 2020. С.213-216
82. Трутнев А.К., Душин В.А. Ультракалиевые риолиты Маньхамбовского блока // 14-я международная научно-практическая конференция "Новые идеи в науках о Земле". Москва. МГРИ. 2019. С 189-190.
83. Трутнев А.К. Кислый вулканизм и редкометалльное оруденение лаптопайской свиты Маньхамбовского блока (Приполярный Урал) // Уральская горная школа -регионам: Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УГГУ, 2018. С. 44-46.
84. Трутнев А.К. Петрохимические особенности кислого вулканизма саблегорского комплекса (Приполярный Урал) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сборник научных статей. ПГНИУ. Пермь, 2022. Вып. 25. С 265-270
85. Трутнев А.К. Редкометалльные эйситы рудопроявления Большая Турупья (Приполярный Урал) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы XVIII Геологического съезда Республики Коми. Т III. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ Уро РАН, 2024. – С. 137-139.
86. Трутнев А. К. Мезозойская редкоземельно-редкометалльная рудоносность Маньхамбовского блока (Приполярный Урал) // Известия УГГУ. 2024. Вып. 3 (75). С. 73–85. DOI 10.21440/2307-2091-2024-3-73-85

87. Удоратина О. В. Бериллиевоносные метасоматиты Северного Урала // Металлогения и геодинамика Урала: Тез. докл. III Всеуральского металлогенического совещания. УрО РАН, МПР РФ, 2000. – С.170-171.
88. Удоратина О. В. Геохимическая характеристика гранитоидов Маньхамбо (Северный Урал) // Геология и минеральные ресурсы республики Коми. Сыктывкар, 2006, С 12-16
89. Удоратина О. В. Колумбиты рудопроявления Большая Турупья (Северный Урал). // Теория, философия и практика минералогии. Минералогия геологических систем. Материалы IV Международного минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 197–199.
90. О. В. Удоратина, К. В. Куликова, А. С. Шуйский, А. А. Соболева, В. Л. Андреев, И. И. Голубев. Гранитоиды севера Урала: U-Pb-геохронология (SIMS, LA-ICP-MS, ID TIMS) и изотопно-геохимическая ( $O_{Zr}$ ,  $Sm-Nd_{wr}$ ,  $Lu-Hf_{Zr}$ ) характеристика // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России. Том II. – Сыктывкар. Изд-во: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2024 – С 100-103
91. Файнштейн Г. Г. Прогнозная оценка качества магнетитового сырья методами технологической минералогии на ранних стадиях геологического изучения рудопоявлений (на примере объектов Приполярного и Среднего Урала). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. М: ФГУП «ВИМС», 2009. 24с.
92. Фауст А.В., Душин В.А., Фролова Е.А., Курчавов В.В. Гранитоидные массивы Маньхамбовского блока (Приполярный Урал) // Металлогения древних и современных океанов-2010. Миасс. – 2010. - С. 260-264
93. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. – Москва: Изд-во МГУ, 1997. – 320 с.
94. Фромберг Э.Д. Ультракалиевые риолиты – геология, геохимия, петрология. Изд-во МГУ. Москва, 1993. 45 с.
95. Хасанова Г. Г. Математические методы моделирования в геологии. Часть 1 «Статистические модели». Учебно-методическое пособие Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2022. – 95 с.
96. Холина Н.В. Неоархейский высококремнистый магматизм Курского блока Восточной Сарматии: геохимия, геохронология, петрология [Текст]: дис...канд. Геол.-минерал. наук: 25.00.04 / Холина Наталья Викторовна – Воронеж, 2020. – 133 с.:47 ил. ОД 61 20-4/49
97. Щербин С. С. Геологические условия формирования и локализации радиоактивно-редкометалльного оруденения в древних конгломератах // Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений. М.: Наука, 1968.С. 50—67.

98. Batchelor, R. A. & Bowden, P. (1985). Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology* 48, 43–55
99. Cabanis B., Lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de mélange et / ou de contamination crustale // *C. R. Acad. Sci. Ser. II.* 1989. V/ 309. P.2023-2029.
100. Chappell, B.W. Two contrasting granite types / B.W. Chappell, A.J.R. White // *Pacific Geologist.* – 1974. – № 8. – P. 173–174.
101. Eby G.N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications // *Geology*, 1992, v. 20, p. 641—644.
102. Frost, C.D. The Late Archean history of the Wyoming province as recorded by granitic magmatism in the Wind River Range, Wyoming / C.D. Frost, B.R. Frost, K.R. Chamberlain, T.P. Hulsebosch // *Precambrian Research.* – 1998. – V. 89. – P. 145–173.
103. Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic composition of the post-collisional ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Petrogenesis and implications for India intracontinental subduction beneath Southern Tibet / Z. Zhao [et al.] // *Lithos.* – 2009. – Vol. 113. – P. 190–212.
104. Harker, A. The Tertiary igneous rocks of skye / A. Harker // *Mem. Geol. Surv. – United Kingdom.* – 1904. – 481 p.
105. Irvine T. N., Baragar W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // *Canadian Journal of Earth Sciences.* 1971. Vol. 8. P. 523–548.
106. Ireland T.R. Ion microprobe mass-spectrometry: Techniques and applications in cosmochemistry, and geochronology // *Advances in analytical geochemistry.* 1995. Vol. 2. P. 1–118.
107. Larionov A.N., Andreichev V.L., Gee D.G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U–Pb zircon ages of gabbros and syenite // *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica / Eds. D.G. Gee, V. Pease. Geol. Soc. Mem. No 30. L., 2004. P. 69–74.*
108. Leake, B.E. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature / B.E. Leake [et al.] // *Amer. Miner.* – 2004. – V. 89. – P. 883–887.
109. Leake, B.E. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names / B.E. Leake [et al.] // *Canad. Miner.* – 1997. – V. 35. – P. 219–246.
110. Loiselle, M.C. Characteristics and origin of anorogenic granites / Loiselle M.C., Wones D.R. // *Abstracts of papers to be presented at the Annual Meetings of the Geological Society of America and Associated Societies. San Diego. – California. November 5-8. – 1979. – V. 11. –468 p.*

111. Maniar P. D., Piccoli P. M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geol. Soc. of America Bull.* 1989. Vol. 101. P. 635–643.
112. Miyashiro A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins // *American Journal of Science.* 1974. Vol. 274. P. 321–355.
113. Pearce J. A., Harris N. B.W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // *J. of Petrology.* 1984. Vol. 25. P. 956–983.
114. Pearce J.A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries // Thorpe R. S. (ed.) *Andasites.* Wiley, Chichester. 1982. P. 525-548.
115. Pearce, J.A. 2008: Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*, V. 100, P. 14-48.
116. Pearce T.H., Gorman B.E., Birkett T.C. The  $TiO_2$ - $K_2O$ - $P_2O_5$  diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts // *Earth and Planetary Science Letters* 24, 1975. – P. 419-426.
117. Peccerillo, A., Taylor, S. R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey // *Contributions to Mineralogy and Petrology.* 1976. Vol. 58. P. 63–81.
118. Ronkin Y. L., Ferreiza M., Povtuqal., Lepikhina O. P. Isotope geology of the Urals // *Russia: K-Ar, Rb-Sr, Sr-Nd and U-Pb systematics: Abstract Volume of South-Amezican Symposium on Isotope Geology.* Sao-Panlo, Brazil, 1977. P. 189—203.
119. Sun S. S. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S. S. Sun, W. F. McDonough // *Magmatism in Ocean Basins.* – *Geol. Soc. London Spec. Publ.* – 1989. – Vol. 42. – P. 313–346.
120. Whalen, J.B. A-type granites: geochemical characteristics discrimination and petrogenesis / J.B. Whalen, K.L. Currie, B.W. Chappell // *Contrib. Mineral. Petrol.* – 1987. – V. 95. – P. 407–419.
121. Wilson M. *Igneous petrogenesis* / M. Wilson. – London : Unwin Hyman, 1989. – 446 p.

#### **Фондовая литература**

122. Водолазская В. П. Легенда Северо-Уральской серии листов Госгеолкарты-200/2 (актуализированная версия). СПб., ВСЕГЕИ, 2009.
123. Водолазская В. П., Шергина Ю. П., Котов Ю. Н. Возраст и генезис гранитоидов Приполярного Урала // *Отеч. геология.* 1999. № 5. С. 48–52.
124. Душин В. А., Сердюкова О. П. и др. Геологический отчет по объекту «ГДП-200 листа Р-40-VI (Турупьинская площадь)». Отчет по Гос. контракту № 2/13 от 23.04.13 г. Екатеринбург, 2015. ФГБУ «Росгеофонд».

125. Жданов А.В. Легенда Уральской серии листов Госгеолкарты-1000/3 (актуализированная версия). Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ, 2009.
126. Марейчев А.М., Петрова И. А. Металлогеническая карта Урала. Ленинград, 1987. 5 л. граф. прил., 97 с.
127. Негурица Э.Г., Севостьянов Г.И. и др. Геологическое строение верховьев рек Б.Турупья, Туякланья, Волья (Отчет по результатам поисково-съёмочных работ масштаба 1:50000 Щугорской партии за 1967-1968 гг.): в 3-х томах. - Тюмень, 1970. Филиал по Тюменской области ФГУ «ТФИ по УрФО». Т.1 – 401 с.; Т.2 – 180 с.; Т.3 – 38 с.
128. Н.Г. Чижовой и С.Г. Стояновой. Морфоструктурная карта Урала. Ленинград: М-во геологии СССР: ВСЕГЕИ, 1990. 4 л. граф. прил.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1.** Результаты U-Pb LA-ICP-MS изотопного анализа зерен циркона из риолита (обр.13-1240)  
туяланынского комплекса (τLP-Tth).

Номер анализа	<sup>207</sup> Pb, имп/сек	Содержание, г/г		<sup>232</sup> Th / <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> , %	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U ±2σ (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U ±2σ (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb ±2σ (%)	Rho	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U ±2σ (млн лет)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U ±2σ (млн лет)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb ±2σ (млн лет)	Конк. (%)
		U	Pb										
A60	1788	63	5	0,69	0,6	0,066 ±1,6	0,50 ±4,2	0,054 ±3,8	0,38	415 ± 6	413 ± 14	401 ± 86	104
A61	1213	41	3	0,50	0,4	0,068 ±1,9	0,52 ±4,0	0,056 ±3,5	0,48	425 ± 8	431 ± 14	461 ± 77	92
A62	11456	334	27	0,43	0,4	0,078 ±1,8	0,61 ±2,3	0,056 ±1,5	0,77	488 ± 8	487 ± 9	481 ± 32	101
A63	16174	477	41	0,65	0,4	0,079 ±1,7	0,62 ±2,2	0,057 ±1,4	0,78	492 ± 8	493 ± 9	496 ± 30	99
A64	982	65	3	0,69	0,6	0,039 ±1,8	0,27 ±4,6	0,051 ±4,2	0,40	248 ± 4	248 ± 10	255 ± 96	97
A65	12689	382	32	0,58	0,2	0,078 ±1,8	0,62 ±2,5	0,057 ±1,7	0,72	488 ± 8	490 ± 10	500 ± 38	98
A66	16399	463	39	0,63	1,0	0,077 ±1,7	0,60 ±2,5	0,057 ±1,8	0,68	480 ± 8	482 ± 10	494 ± 40	97
A72	52589	1169	109	0,71	2,2	0,081 ±1,7	0,64 ±2,9	0,057 ±2,3	0,59	503 ± 11	503 ± 11	499 ± 51	101
A73	27590	571	51	0,56	3,6	0,079 ±1,6	0,62 ±3,1	0,056 ±2,7	0,51	492 ± 12	492 ± 12	490 ± 59	101
A74	17586	527	45	0,50	0,3	0,080 ±1,7	0,62 ±2,1	0,056 ±1,5	0,72	493 ± 8	493 ± 8	474 ± 33	105
A75	18259	518	46	0,59	0,2	0,080 ±1,7	0,63 ±2,0	0,057 ±1,1	0,84	502 ± 8	502 ± 8	504 ± 24	99

Номер анализа	$^{207}\text{Pb}$ , имп/сек	Содержание, г/г		$^{232}\text{Th}$ $/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}_c$ , %	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ $\pm 2\sigma$ (%)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ $\pm 2\sigma$ (%)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ $\pm 2\sigma$ (%)	Rho	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ $\pm 2\sigma$ (млн лет)	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ $\pm 2\sigma$ (млн лет)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ $\pm 2\sigma$ (млн лет)	Конк. (%)
		U	Pb										
A76	21171	573	51	0,66	1,1	0,081 $\pm 1,6$	0,63 $\pm 2,6$	0,056 $\pm 2,1$	0,62	501 $\pm 10$	501 $\pm 10$	489 $\pm 45$	103
A77	11807	341	30	0,60	0,6	0,078 $\pm 1,6$	0,61 $\pm 2,4$	0,057 $\pm 1,8$	0,65	486 $\pm 9$	486 $\pm 9$	497 $\pm 41$	97
A78	1214	76	3	0,93	1,0	0,038 $\pm 1,8$	0,27 $\pm 5,2$	0,050 $\pm 4,9$	0,35	244 $\pm 11$	244 $\pm 11$	239 $\pm 113$	102
A79	1449	24	3	0,43	14,4	0,075 $\pm 2,6$	0,59 $\pm 4,4$	0,057 $\pm 3,5$	0,59	473 $\pm 17$	473 $\pm 17$	493 $\pm 78$	95

Приложение 1 (продолжение)

Примечания: Концентрации U, Pb и отношение Th/U рассчитаны относительно стандарта циркона GJ-1.  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  - скорректировано на бланк, фракционирование и общий свинец по [Stacey & Kramers, 1975]. Указанные погрешности ( $\pm$ ) соответствуют  $\pm 2\sigma$ . Rho - коэффициент корреляции между  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ . Конк. - коэффициент конкордантности

Анализ выполнен в Институте Наук о Земле Университета Иоганна Вольфганга Гете (г. Франкфурт-на-Майне, ФРГ).

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2.** Химический состав и кристаллохимические формулы минералов из монцогаббро поньинского комплекса (μνδР-Трп)

*Плагиоклазы*

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	Сумма	Компонентный состав, % моль			Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
							Ab	An	Or			
13-21	32	68,4	19,9	0,3	11,4	100,0	98,6	1,4	0,0	[Na <sub>0,964</sub> Ca <sub>0,014</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,023</sub> Si <sub>2,984</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-21	33	68,3	20,0	0,2	11,5	100,0	99,1	0,9	0,0	[Na <sub>0,973</sub> Ca <sub>0,009</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,029</sub> Si <sub>2,981</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-21	34	68,5	20,8	0,2	10,5	100,0	98,9	1,1	0,0	[Na <sub>0,884</sub> Ca <sub>0,009</sub> ] <sub>0,9</sub> (Al <sub>1,065</sub> Si <sub>2,976</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-21	35	67,8	19,8	0,2	12,2	100,0	99,1	0,9	0,0	[Na <sub>1,028</sub> Ca <sub>0,009</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,015</sub> Si <sub>2,948</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-21	36	68,4	19,6	0,3	11,7	100,0	98,7	1,3	0,0	[Na <sub>0,991</sub> Ca <sub>0,014</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,009</sub> Si <sub>2,987</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит

*Пироксены*

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Компонентный состав, % моль			Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
															En	Wo	Fs			
13-21	1002	48,8	0,2	9,6	15,4	0,4	12,8	10,3	2,1	0,3	0,0	0,3	0,0	100,0	44,0	25,5	30,5	{Na <sub>0,154</sub> Ca <sub>0,411</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,393</sub> Mg <sub>0,042</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,668</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,087</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,244</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,178</sub> Si <sub>1,822</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1003	48,1	0,3	9,9	16,9	0,3	11,8	9,9	2,3	0,4	0,0	0,3	0,0	100,0	41,1	25,0	33,9	{Na <sub>0,167</sub> Ca <sub>0,399</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,421</sub> Mg <sub>0,013</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,641</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,111</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,247</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,192</sub> Si <sub>1,808</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1005	48,6	0,3	9,2	15,8	0,4	12,3	10,7	2,1	0,4	0,0	0,0	0,4	100,0	42,7	26,6	30,7	{Na <sub>0,152</sub> Ca <sub>0,427</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,363</sub> Mg <sub>0,040</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,648</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,131</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,221</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,183</sub> Si <sub>1,817</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1017	48,0	0,4	10,0	16,1	0,3	12,1	10,1	2,2	0,4	0,0	0,2	0,0	100,0	42,7	26,6	30,7	{Na <sub>0,161</sub> Ca <sub>0,404</sub> Mn <sub>0,010</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,399</sub> Mg <sub>0,026</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,643</sub> Ti <sub>0,010</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,105</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,242</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,06</sub> Si <sub>1,794</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1018	47,7	0,3	9,8	17,4	0,3	11,5	9,8	2,3	0,4	0,2	0,2	0,0	100,0	40,4	24,7	34,9	{Na <sub>0,164</sub> Ca <sub>0,393</sub> Mn <sub>0,008</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,384</sub> Mg <sub>0,032</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,611</sub> Ti <sub>0,007</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,161</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,220</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,213</sub> Si <sub>1,787</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1019	48,4	0,8	9,7	16,0	0,4	12,4	9,4	2,4	0,3	0,0	0,0	0,3	100,0	43,9	23,6	32,5	{Na <sub>0,172</sub> Ca <sub>0,372</sub> Mn <sub>0,011</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,375</sub> Mg <sub>0,055</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,632</sub> Ti <sub>0,022</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,123</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,224</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,201</sub> Si <sub>1,799</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1020	52,8	0,0	5,2	14,4	0,3	14,9	10,2	1,7	0,2	0,0	0,0	0,3	100,0	49,0	24,1	26,9	{Na <sub>0,119</sub> Ca <sub>0,406</sub> Mn <sub>0,008</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,444</sub> Mg <sub>0,013</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,812</sub> Cr <sub>0,010</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,179</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,047</sub> Si <sub>1,953</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1021	50,0	0,2	8,0	15,3	0,4	13,6	10,1	1,9	0,3	0,0	0,2	0,3	100,0	44,1	23,5	32,3	{Na <sub>0,138</sub> Ca <sub>0,401</sub> Mn <sub>0,013</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,385</sub> Mg <sub>0,049</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,705</sub> Ti <sub>0,005</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,089</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,201</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,149</sub> Si <sub>1,851</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1035	48,2	0,2	9,3	17,5	0,3	11,7	9,7	2,3	0,3	0,0	0,3	0,0	100,0	40,8	24,4	33,7	{Na <sub>0,168</sub> Ca <sub>0,392</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,432</sub> Mg <sub>0,008</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,651</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,120</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,229</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,181</sub> Si <sub>1,819</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1036	49,2	0,2	9,7	14,5	0,3	13,2	10,0	2,3	0,3	0,0	0,0	0,2	100,0	46,0	25,1	28,9	{Na <sub>0,166</sub> Ca <sub>0,399</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,368</sub> Mg <sub>0,067</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,665</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,083</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,252</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,169</sub> Si <sub>1,831</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1037	49,2	0,2	9,0	16,7	0,4	12,0	9,6	2,1	0,3	0,0	0,3	0,0	100,0	42,1	24,2	33,7	{Na <sub>0,154</sub> Ca <sub>0,388</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,458</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,032</sub> Mg <sub>0,675</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,037</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,256</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,140</sub> Si <sub>1,860</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1038	54,2	0,0	4,2	12,1	0,3	16,7	11,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	52,2	26,5	21,3	{Na <sub>0,064</sub> Ca <sub>0,466</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,373</sub> Mg <sub>0,096</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,822</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,178</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,001</sub> Si <sub>1,999</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1039	52,2	0,0	6,2	13,8	0,4	14,9	10,7	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	100,0	48,7	25,2	26,1	{Na <sub>0,115</sub> Ca <sub>0,426</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,429</sub> Mg <sub>0,029</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,791</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,209</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,059</sub> Si <sub>1,941</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1040	49,5	0,4	8,3	15,1	0,3	13,2	10,2	2,2	0,5	0,0	0,0	0,2	100,0	44,9	25,7	29,4	{Na <sub>0,159</sub> Ca <sub>0,408</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,355</sub> Mg <sub>0,058</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,672</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,117</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,211</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,150</sub> Si <sub>1,850</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1041	48,5	0,2	8,9	17,1	0,3	12,1	9,6	2,4	0,3	0,0	0,3	0,2	100,0	42,2	24,0	33,8	{Na <sub>0,175</sub> Ca <sub>0,387</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,409</sub> Mg <sub>0,028</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,652</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,126</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,222</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,173</sub> Si <sub>1,827</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1048	47,6	0,4	10,1	16,0	0,3	12,1	10,3	2,3	0,4	0,0	0,0	0,2	100,0	42,3	25,8	31,9	{Na <sub>0,166</sub> Ca <sub>0,412</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,317</sub> Mg <sub>0,084</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,589</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,183</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,229</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,224</sub> Si <sub>1,776</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1050	49,3	0,2	8,6	14,7	0,0	13,6	11,3	1,7	0,3	0,0	0,2	0,0	100,0	45,4	27,5	27,1	{Na <sub>0,116</sub> Ca <sub>0,452</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,400</sub> Mg <sub>0,033</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,724</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,059</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,217</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,161</sub> Si <sub>1,839</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит

№ образца	Элементы/ Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Компонентный состав, % моль			Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
															En	Wo	Fs			
13-21	1052	50,4	0,4	7,9	14,3	0,2	13,7	10,7	2,0	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0	46,4	26,0	27,6	{Na <sub>0,145</sub> Ca <sub>0,428</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,394</sub> Mg <sub>0,034</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,728</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,052</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,220</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,127</sub> Si <sub>1,873</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1053	48,4	0,3	9,9	15,6	0,3	12,4	10,3	2,1	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0	43,3	25,7	31,0	{Na <sub>0,153</sub> Ca <sub>0,414</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,402</sub> Mg <sub>0,031</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,662</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,087</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,252</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,186</sub> Si <sub>1,814</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1060	47,5	0,3	10,2	17,0	0,3	11,5	9,7	2,5	0,5	0,0	0,2	0,0	100,0	42,1	24,9	33,0	{Na <sub>0,153</sub> Ca <sub>0,402</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,432</sub> Mg <sub>0,013</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,664</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,089</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,246</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,183</sub> Si <sub>1,817</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1061	48,8	0,3	9,4	15,4	0,3	12,7	10,8	1,9	0,2	0,0	0,2	0,0	100,0	43,4	26,5	30,1	{Na <sub>0,138</sub> Ca <sub>0,429</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,413</sub> Mg <sub>0,020</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,688</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,069</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,243</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,174</sub> Si <sub>1,826</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1062	50,1	0,0	8,2	16,0	0,4	13,0	9,9	2,1	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0	44,3	24,3	31,3	{Na <sub>0,145</sub> Ca <sub>0,401</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,454</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,003</sub> Mg <sub>0,724</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,042</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,230</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,127</sub> Si <sub>1,873</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1070	51,5	0,2	7,2	13,8	0,3	14,1	11,2	1,5	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0	47,0	26,7	26,3	{Na <sub>0,101</sub> Ca <sub>0,448</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,431</sub> Mg <sub>0,019</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,766</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,234</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,083</sub> Si <sub>1,917</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1071	47,2	0,3	11,0	17,5	0,3	11,1	9,9	2,3	0,5	0,0	0,3	0,0	100,0	39,4	25,2	35,4	{Na <sub>0,168</sub> Ca <sub>0,398</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,366</sub> Mg <sub>0,044</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,578</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,183</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,239</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,231</sub> Si <sub>1,769</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1073	48,6	0,2	8,0	17,2	0,3	11,7	9,8	2,8	0,4	0,0	0,2	0,3	100,0	43,9	24,2	31,9	{Na <sub>0,204</sub> Ca <sub>0,395</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,323</sub> Mg <sub>0,059</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,597</sub> Cr <sub>0,009</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,218</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,175</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,179</sub> Si <sub>1,821</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1080	49,9	0,2	8,0	16,4	0,3	12,9	9,8	2,2	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0	44,0	24,1	31,9	{Na <sub>0,153</sub> Ca <sub>0,394</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,451</sub> Mg <sub>0,003</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,718</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,063</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,219</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,130</sub> Si <sub>1,870</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1081	48,2	0,3	9,5	17,3	0,4	11,8	10,0	2,1	0,4	0,0	0,0	0,0	100,0	40,8	24,9	34,4	{Na <sub>0,153</sub> Ca <sub>0,402</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,399</sub> Mg <sub>0,028</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,632</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,144</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,224</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,196</sub> Si <sub>1,804</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1082	53,5	0,2	4,7	12,6	0,2	16,0	11,7	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	100,0	50,6	26,7	22,7	{Na <sub>0,072</sub> Ca <sub>0,465</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,387</sub> Mg <sub>0,072</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,812</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,188</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,018</sub> Si <sub>1,982</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1083	49,7	0,3	8,6	15,1	0,3	13,2	10,5	2,0	0,3	0,0	0,2	0,0	100,0	44,9	25,6	29,5	{Na <sub>0,138</sub> Ca <sub>0,420</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,426</sub> Mg <sub>0,016</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,719</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,046</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,235</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,143</sub> Si <sub>1,857</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1087	48,3	0,3	9,6	16,2	0,3	12,3	10,0	2,2	0,4	0,0	0,2	0,3	100,0	42,7	25,1	32,2	{Na <sub>0,159</sub> Ca <sub>0,401</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,363</sub> Mg <sub>0,058</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,627</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,144</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,229</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,194</sub> Si <sub>1,806</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит
13-21	1088	49,6	0,3	8,6	15,7	0,3	13,0	9,7	2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	100,0	44,9	24,1	31,0	{Na <sub>0,166</sub> Ca <sub>0,387</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,364</sub> Mg <sub>0,064</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,657</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,124</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,219</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,158</sub> Si <sub>1,842</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	авгит

## Щелочные тироксены

№ образца	Элементы/ Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Компонентный состав, % моль			Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
															Aug	Aeg	Jd			
13-21	1049	49,1	0,3	8,8	15,9	0,2	12,4	9,6	2,8	0,4	0,0	0,0	0,2	100,0	77,4	10,7	11,9	{Na <sub>0,202</sub> Ca <sub>0,383</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,315</sub> Mg <sub>0,081</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,608</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,181</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,211</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,171</sub> Si <sub>1,829</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	омфациит
13-21	1059	47,5	0,3	10,0	17,0	0,3	11,6	9,7	2,5	0,5	0,0	0,2	0,0	100,0	79,0	10,0	11,0	{Na <sub>0,181</sub> Ca <sub>0,389</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,336</sub> Mg <sub>0,070</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,571</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,195</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,234</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,224</sub> Si <sub>1,776</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	омфациит
13-21	1072	48,9	0,3	10,0	14,5	0,3	12,8	9,5	2,5	0,4	0,0	0,0	0,4	100,0	79,7	6,8	13,4	{Na <sub>0,180</sub> Ca <sub>0,378</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,327</sub> Mg <sub>0,096</sub> } <sub>1,0</sub> [Mg <sub>0,612</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,123</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,266</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sup>IV</sup> <sub>0,189</sub> Si <sub>1,811</sub> ) <sub>2,0</sub> O <sub>6</sub>	(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	омфациит

## Щелочные амфиболы

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала	
13-21	1015	39,6	1,8	17,0	14,5	14,9	0,0	1,4	9,4	0,4	0,6	100,0	{K <sub>1,782</sub> } <sub>1,8</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,229</sub> Na <sub>0,394</sub> ] <sub>1,6</sub> (Ti <sub>0,203</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,904</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,143</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,442</sub> Mg <sub>3,309</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>5,913</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>2,087</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	KCa <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> Al <sup>IV</sup> )(SiAl <sup>VI</sup> ) <sub>2</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> .	К-содержащий паргасит	
13-21	1016	37,9	2,7	15,6	16,7	13,6	0,8	1,2	10,0	0,3	0,3	100,0	{K <sub>1,943</sub> } <sub>1,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,085</sub> Ca <sub>0,124</sub> Na <sub>0,351</sub> ] <sub>1,6</sub> (Ti <sub>0,314</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,572</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,309</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,721</sub> Mg <sub>3,084</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>5,777</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>2,223</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	KCa <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> Al <sup>IV</sup> )(SiAl <sup>VI</sup> ) <sub>2</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> .	К-содержащий паргасит	
13-21	1030	39,1	2,4	16,3	15,6	15,1	0,0	0,7	10,1	0,3	0,3	100,0	{K <sub>1,909</sub> } <sub>1,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,314</sub> Na <sub>0,203</sub> ] <sub>1,5</sub> (Ti <sub>0,270</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,724</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,038</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,599</sub> Mg <sub>3,368</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>5,850</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>2,150</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	KCa <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> Al <sup>IV</sup> )(SiAl <sup>VI</sup> ) <sub>2</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> .	К-содержащий паргасит	
Кристаллохимическая пересчет и его параметры																
№ образца	Элементы/Спектры	Si	Al <sup>IV</sup>	ΣT	Al <sup>VI</sup>	Ti	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mg	ΣC	Fe <sup>2+</sup>	Na	Ca	ΣB	К	ΣA
13-21	1015	5,9	2,1	8,0	0,9	0,2	0,07	0,5	3,3	5,0	1,2	0,4	0,0	1,6	1,7	1,7
13-21	1016	5,7	2,3	8,0	0,5	0,3	0,3	0,8	3,1	5,0	1,0	0,4	0,1	1,5	1,9	1,9
13-21	1030	5,8	2,2	8,0	0,7	0,3	0,03	0,6	3,4	5,0	1,3	0,2	0,0	1,5	1,9	1,9

## Пумпеллит

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-21	3	39,1	0,0	24,2	11,9	23,5	0,03	0,0	100,0	Ca <sub>1,30</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,44</sub> Al <sub>1,27</sub> Si <sub>1,75</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Пумпеллит
13-21	6	39,3	0,0	24,9	12,1	23,3	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,11</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,45</sub> Al <sub>1,30</sub> Si <sub>1,74</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Пумпеллит
13-21	28	39,6	0,0	24,9	11,8	23,7	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,12</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,43</sub> Al <sub>1,30</sub> Si <sub>1,75</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Пумпеллит
13-21	29	39,4	0,0	25,3	11,9	23,4	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,11</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,43</sub> Al <sub>1,30</sub> Si <sub>1,75</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Пумпеллит
13-21	998	38,5	4,3	21,6	11,4	23,9	0,0	0,3	100,0	Ca <sub>1,80</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,61</sub> Al <sub>1,79</sub> Si <sub>2,7</sub> Ti <sub>0,22</sub> Cr <sub>0,01</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Пумпеллит
13-21	1011	39,4	0,0	24,5	12,7	23,5	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>0,80</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,33</sub> Al <sub>0,91</sub> Si <sub>1,25</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Пумпеллит
13-21	1086	38,7	0,0	23,5	13,7	24,1	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,15</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,51</sub> Al <sub>1,24</sub> Si <sub>1,73</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Пумпеллит

## Слюды

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CuO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Компонентный состав, % моль				Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
													Ann	Sd	East	Phl			
13-21	51	39,2	1,7	15,4	26,5	7,0	0,0	10,1	0,0	0,0	0,0	100,0	18,5	28,6	13,5	39,4	{K <sub>0,963</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,656</sub> Mg <sub>0,780</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,285</sub> Ti <sub>0,096</sub> ] <sub>2,8</sub> (Si <sub>2,929</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,071</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Аннит
13-21	59	41,0	1,5	15,3	23,4	8,6	0,0	10,1	0,0	0,0	0,0	100,0	20,1	29,8	19,5	30,6	{K <sub>0,944</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,434</sub> Mg <sub>0,939</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,325</sub> Ti <sub>0,083</sub> ] <sub>2,8</sub> (Si <sub>3,004</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,996</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Аннит
13-21	62	40,7	1,4	15,4	20,4	11,8	0,0	10,3	0,0	0,0	0,0	100,0	30,7	19,5	20,1	29,7	{K <sub>0,951</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,235</sub> Mg <sub>1,273</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,260</sub> Ti <sub>0,076</sub> ] <sub>2,8</sub> (Si <sub>2,946</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,054</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Mg,Fe <sup>2+</sup> ) <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	Биотит
13-21	65	40,5	1,7	15,8	20,1	11,7	0,0	10,2	0,0	0,0	0,0	100,0	30,4	19,8	20,6	29,2	{K <sub>0,940</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,214</sub> Mg <sub>1,260</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,272</sub> Ti <sub>0,092</sub> ] <sub>2,8</sub> (Si <sub>2,926</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,074</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Mg,Fe <sup>2+</sup> ) <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	Биотит
13-21	996	34,6	1,8	13,4	24,4	10,6	1,3	11,7	0,3	0,6	0,0	100,0	43,6	0,0	0,0	56,4	{Na <sub>0,199</sub> K <sub>1,161</sub> } <sub>1,4</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,584</sub> Mg <sub>1,224</sub> Ti <sub>0,106</sub> Cr <sub>0,055</sub> ] <sub>3,0</sub> (Si <sub>2,689</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,228</sub> ) <sub>3,9</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Аннит
13-21	1085	41,6	1,3	18,7	12,7	16,4	0,6	8,3	0,0	0,0	0,4	100,0	33,3	15,8	36,5	14,4	{K <sub>0,735</sub> } <sub>0,7</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,737</sub> Mg <sub>1,701</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,417</sub> Ti <sub>0,063</sub> ] <sub>2,9</sub> (Si <sub>2,887</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,113</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Mg,Fe <sup>2+</sup> ) <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>	Биотит
Кристаллохимическая пересчет и его параметры																			
№ образца	Элементы/Спектры	Si	Al <sup>IV</sup>	ΣT	Al <sup>VI</sup>	Ti	Fe <sup>2+</sup>	Mg	Cr	ΣM	Na	K	ΣI	OH	ΣA				
13-21	51	2,9	1,1	4,0	0,3	0,09	1,6	0,8	0,0	2,8	0,0	0,9	0,9	2,0	2,0				
13-21	59	3,0	1,0	4,0	0,3	0,08	1,4	0,9	0,0	2,7	0,0	0,9	0,9	2,0	2,0				
13-21	62	2,9	1,1	4,0	0,3	0,08	1,2	1,3	0,0	2,9	0,0	0,9	0,9	2,0	2,0				
13-21	65	2,9	1,1	4,0	0,3	0,08	1,2	1,3	0,0	2,9	0,0	0,9	0,9	2,0	2,0				
13-21	996	2,6	1,2	3,8	0,0	0,1	1,5	1,2	0,05	2,9	0,2	1,1	1,3	2,0	2,0				
13-21	1085	2,9	1,1	4,0	0,4	0,07	0,7	1,7	0,0	2,9	0,1	0,7	0,8	2,0	2,0				

## Ильменит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	BaO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-21	8	0,0	50,8	0,0	47,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,043</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,007</sub> Ti <sub>0,975</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	9	0,0	49,7	0,0	47,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,5	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,041</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,031</sub> Ti <sub>0,964</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	993	0,2	48,4	0,0	49,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,6	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,028</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,072</sub> Ti <sub>0,944</sub> Si <sub>0,005</sub> V <sub>0,002</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	995	0,3	49,6	0,0	48,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,028</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,046</sub> Ti <sub>0,955</sub> Si <sub>0,008</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1007	0,8	49,1	0,0	45,2	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,015</sub> Ti <sub>0,992</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1008	0,6	48,1	0,0	44,5	0,0	2,3	0,4	0,2	1,5	0,6	1,5	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,117</sub> Mn <sub>0,034</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,987</sub> Ti <sub>0,960</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1009	0,5	49,0	0,0	44,8	0,0	2,3	0,2	0,2	1,3	0,0	1,3	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,115</sub> Mn <sub>0,029</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,981</sub> Ti <sub>0,966</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1026	0,4	47,2	0,0	47,9	0,0	1,6	0,2	0,0	1,3	0,4	0,7	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,082</sub> Mn <sub>0,030</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,039</sub> Cr <sub>0,015</sub> Ti <sub>0,934</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1027	0,6	46,7	0,0	46,1	0,0	2,7	0,3	0,2	1,2	0,0	1,8	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,137</sub> Mn <sub>0,027</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,009</sub> Cr <sub>0,037</sub> Ti <sub>0,920</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1028	0,4	47,1	0,0	48,7	0,0	1,3	0,0	0,0	1,3	0,4	0,8	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,051</sub> Mn <sub>0,029</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,069</sub> Cr <sub>0,010</sub> Ti <sub>0,93</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1042	0,2	48,9	0,0	48,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,6	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,027</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,849</sub> Ti <sub>0,849</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1043	4,0	44,3	0,5	43,0	2,0	2,2	0,2	0,8	1,4	0,0	0,9	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,104</sub> Ca <sub>0,022</sub> Mg <sub>0,072</sub> Mn <sub>0,031</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,916</sub> Ti <sub>0,849</sub> Si <sub>0,104</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1044		48,9	0,0	49,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	0,5	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,031</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,062</sub> Ti <sub>0,953</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1045	0,2	51,3	0,0	47,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,032</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,042</sub> Ti <sub>0,963</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1056	0,5	39,7	0,0	37,7	0,5	11,6	0,7	0,6	1,1	0,0	4,2	0,6	0,0	100,0	Na <sub>0,620</sub> K <sub>0,025</sub> Mn <sub>0,026</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,867</sub> Cr <sub>0,092</sub> Ti <sub>0,824</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1057	1,3	48,1	0,0	45,8	0,0	1,5	0,2	0,5	1,4	0,0	1,0	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,076</sub> Ca <sub>0,014</sub> Mn <sub>0,030</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,977</sub> Cr <sub>0,018</sub> Ti <sub>0,923</sub> Si <sub>0,033</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1058	0,4	49,5	0,0	47,6	0,0	0,0	0,1	0,0	1,5	0,0	0,6	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,031</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,008</sub> Ti <sub>0,980</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1063		50,1	0,0	48,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,028</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,034</sub> Ti <sub>0,969</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1064	0,2	49,4	0,0	48,3	0,0	0,7	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,030</sub> Mn <sub>0,028</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,041</sub> Ti <sub>0,958</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1065	0,4	46,5	0,0	46,9	0,0	1,8	0,2	0,0	1,2	0,7	1,0	0,0	0,9	100,0	Na <sub>0,093</sub> Mn <sub>0,027</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,040</sub> Cr <sub>0,021</sub> Ti <sub>0,928</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1066	0,0	50,4	0,0	48,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,030</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,032</sub> Ti <sub>0,969</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1074	0,0	48,7	0,0	48,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,6	0,0	0,0	0,9	100,0	Mn <sub>0,031</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,058</sub> Ti <sub>0,956</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1075	0,7	47,7	0,0	45,9	0,0	2,3	0,3	0,2	1,4	0,0	1,3	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,111</sub> Mn <sub>0,031</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,001</sub> Cr <sub>0,027</sub> Ti <sub>0,936</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1076	0,8	46,0	0,0	50,6	0,0	0,0	0,0	0,2	1,4	0,4	0,5	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,029</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,110</sub> Ti <sub>0,910</sub> Si <sub>0,021</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит
13-21	1084	0,8	50,8	0,0	46,2	0,0	0,0	0,1	0,4	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,037</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,982</sub> Ti <sub>0,973</sub> Si <sub>0,018</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	Ильменит

## Магнетит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-21	1004	2,3	0,6	93,9	0,4	0,9	1,9	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>3,682</sub> Cr <sub>0,069</sub> Si <sub>0,107</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	Магнетит

## Рутил

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-21	5	0,3	99,0	0,0	0,7	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,008</sub> Ti <sub>0,992</sub> Si <sub>0,004</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Рутил
13-21	10	0,0	99,3	0,0	0,7	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,008</sub> Ti <sub>0,996</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Рутил
13-21	11	0,0	98,3	0,0	0,9	0,8	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,010</sub> V <sub>0,005</sub> Ti <sub>0,995</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Рутил
13-21	19	0,0	98,9	0,3	0,8	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,009</sub> Ti <sub>0,992</sub> Al <sub>0,005</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Рутил
13-21	22	0,0	99,2	0,0	0,8	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,009</sub> Ti <sub>0,996</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Рутил
13-21	23	0,0	98,1	0,0	1,1	0,8	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,012</sub> V <sub>0,007</sub> Ti <sub>0,994</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Рутил
13-21	1006	0,0	98,5	0,0	0,5	0,9	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,006</sub> V <sub>0,001</sub> Ti <sub>0,997</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Рутил

## Титанит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-21	994	21,3	41,0	1,1	15,1	0,6	0,1	18,8	0,5	0,0	0,8	0,6	100,0	Na <sub>0,043</sub> K <sub>0,005</sub> Ca <sub>0,715</sub> Mn <sub>0,015</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,449</sub> Cr <sub>0,017</sub> Ti <sub>1,095</sub> V <sub>0,002</sub> Al <sub>0,046</sub> Si <sub>0,756</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	Титанит
13-21	997	38,9	23,8	1,1	12,0	0,0	0,0	23,5	0,0	0,2	0,0	0,5	100,0	Ca <sub>0,800</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,320</sub> Cr <sub>0,012</sub> Ti <sub>0,027</sub> Al <sub>0,890</sub> Si <sub>1,237</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	Титанит
13-21	1025	30,3	39,0	0,8	0,6	0,2	0,0	28,3	0,0	0,0	0,8	0,0	100,0	Ca <sub>1,001</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,017</sub> Ti <sub>0,968</sub> Al <sub>0,031</sub> Si <sub>1,0</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	Титанит
13-21	1031	29,9	32,8	0,3	8,7	0,5	0,0	27,3	0,0	0,0	0,0	0,5	100,0	Ca <sub>1,005</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,250</sub> Ti <sub>0,845</sub> Si <sub>1,027</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	Титанит
13-21	1032	30,2	38,1	1,4	0,8	0,5	0,0	28,0	0,0	0,0	1,0	0,0	100,0	Ca <sub>0,994</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,022</sub> Ti <sub>0,950</sub> Al <sub>0,055</sub> Si <sub>1,001</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	Титанит
13-21	1033	30,8	39,0	1,0	0,7	0,0	0,0	28,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>0,994</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,019</sub> Ti <sub>0,958</sub> Al <sub>0,038</sub> Si <sub>1,006</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	Титанит
13-21	1034	30,8	37,5	1,2	1,1	0,0	0,0	28,3	0,0	0,0	1,1	0,0	100,0	Ca <sub>1,001</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,030</sub> Ti <sub>0,932</sub> Al <sub>0,047</sub> Si <sub>1,017</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	Титанит

## Апатит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-21	26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,5	41,6	0,0	1,9	100,0	Ca <sub>10,181</sub> P <sub>5,923</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,011</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1000	3,2	0,3	0,6	0,0	0,2	0,0	53,8	42,2	0,0	2,9	100,0	Ca <sub>8,990</sub> P <sub>6,271</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,332</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1001	0,5	0,2	0,0	0,0	1,5	0,3	51,2	39,7	1,2	2,6	100,0	Ca <sub>9,866</sub> P <sub>6,044</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,024</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1012	0,0	0,0	0,2	0,3	4,6	0,7	48,1	39,8	0,9	4,9	100,0	Na <sub>1,556</sub> Ca <sub>8,992</sub> P <sub>5,874</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,545</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1013	0,0	0,0	0,2	0,0	0,5	0,2	54,4	41,5	0,6	2,5	100,0	Na <sub>0,159</sub> Ca <sub>9,786</sub> Cr <sub>0,074</sub> P <sub>5,904</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,263</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	54,0	41,9	0,2	3,5	100,0	Na <sub>0,138</sub> Ca <sub>9,586</sub> P <sub>5,876</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,656</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1054	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,8	42,6	0,0	2,6	100,0	Ca <sub>9,757</sub> P <sub>5,993</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,261</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1055	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,8	42,2	0,0	3,0	100,0	Ca <sub>9,704</sub> P <sub>5,933</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,464</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1067	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	55,8	40,9	0,4	2,6	100,0	Ca <sub>10,139</sub> P <sub>5,872</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,180</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1068	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,7	42,1	0,0	3,2	100,0	Ca <sub>9,694</sub> P <sub>5,895</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,569</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1069	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	63,9	34,5	0,3	0,9	100,0	Ca <sub>12,415</sub> P <sub>5,296</sub> O <sub>25</sub> F <sub>0,344</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1078	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,4	42,6	0,0	3,1	100,0	Ca <sub>9,615</sub> P <sub>5,949</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,513</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит
13-21	1079	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	53,4	41,6	1,5	2,4	100,0	Na <sub>0,295</sub> Ca <sub>9,678</sub> Cr <sub>0,201</sub> P <sub>5,943</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,016</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Апатит

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Химический состав и кристаллохимические формулы минералов из долеритов поньинского комплекса (мвдР-Трп)  
Плагиоклазы**

№ образца	Элементы / Спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Компонентный состав, % моль			Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
												Ab	An	Or			
M-08-424a	986	60,0	25,5	4,3	10,1	0,09	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	80,6	18,9	0,5	[Na <sub>0,857</sub> Ca <sub>0,202</sub> ] <sub>1,1</sub> (Al <sub>1,315</sub> Si <sub>2,626</sub> ) <sub>3,9</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	олигоклаз
M-08-424a	987	61,1	24,2	3,3	11,2	0,14	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	85,4	13,9	0,7	[Na <sub>0,972</sub> Ca <sub>0,153</sub> ] <sub>1,1</sub> (Al <sub>1,233</sub> Si <sub>2,642</sub> ) <sub>3,9</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	олигоклаз
M-08-424a	988	61,8	23,5	2,8	11,6	0,11	0,0	0,0	0,2	0,0	100,0	87,7	11,8	0,5	[Na <sub>0,973</sub> Ca <sub>0,131</sub> ] <sub>1,1</sub> (Al <sub>1,204</sub> Si <sub>2,693</sub> ) <sub>3,9</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	олигоклаз
M-08-424a	992	67,0	15,6	1,1	7,1	0,0	6,7	0,0	2,4	0,0	100,0	92,1	7,9	0	[Na <sub>0,607</sub> Ca <sub>0,052</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,089</sub> Mg <sub>0,441</sub> ] <sub>1,2</sub> (Al <sub>0,801</sub> Si <sub>2,957</sub> ) <sub>3,8</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	олигоклаз
M-08-424a	1457	61,8	23,6	4,1	8,9	0,14	0,3	0,0	0,5	0,5	100,0	79,1	20,1	0,8	[Na <sub>0,782</sub> Ca <sub>0,197</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,247</sub> Si <sub>2,771</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	олигоклаз
M-08-424a	1466	60,8	21,7	2,8	8,9	0,0	2,3	0,0	1,9	1,6	100,0	85,2	14,8	0	[Na <sub>0,776</sub> Ca <sub>0,137</sub> Mg <sub>0,156</sub> ] <sub>1,1</sub> (Al <sub>1,164</sub> Si <sub>2,767</sub> ) <sub>3,9</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	олигоклаз
M-08-424a	1468	64,0	20,3	1,5	10,3	0,0	0,3	0,0	0,9	2,5	100,0	92,6	7,4	0	[Na <sub>0,910</sub> Ca <sub>0,073</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,091</sub> Si <sub>2,918</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
M-08-424a	1485	66,5	20,6	1,3	10,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	100,0	93,7	6,3	0	[Na <sub>0,923</sub> Ca <sub>0,061</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,070</sub> Si <sub>2,936</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
M-08-424a	1490	62,5	23,8	3,0	9,4	0,3	0,4	0,0	0,7	0,0	100,0	83,5	14,7	1,8	[Na <sub>0,814</sub> Ca <sub>0,143</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,247</sub> Si <sub>2,790</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	олигоклаз
M-08-424a	1493	62,9	23,4	3,9	9,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	100,0	81,4	18,6	0	[Na <sub>0,807</sub> Ca <sub>0,185</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,222</sub> Si <sub>2,786</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	олигоклаз
M-08-424a	1501	60,1	25,2	6,2	8,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	100,0	70	30	0	[Na <sub>0,693</sub> Ca <sub>0,297</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,326</sub> Si <sub>2,684</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	андезин
M-08-424a	1506	65,0	22,0	2,3	9,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	100,0	88,6	11,4	0	[Na <sub>0,849</sub> Ca <sub>0,109</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,146</sub> Si <sub>2,874</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	(Na,Ca)[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	олигоклаз
13-299	1384	67,4	20,0	0,5	11,4	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	100,0	96,9	2,4	0,7	[Na <sub>0,972</sub> Ca <sub>0,024</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,036</sub> Si <sub>2,968</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1385	67,8	20,0	0,3	11,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	100,0	97,9	1,4	0,7	[Na <sub>0,966</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,034</sub> Si <sub>2,983</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1386	67,6	19,8	0,8	11,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0	96,3	3,7	0	[Na <sub>0,972</sub> Ca <sub>0,038</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,021</sub> Si <sub>2,969</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1387	68,1	19,9	0,2	11,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	100,0	98,4	1	0,6	[Na <sub>0,969</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,028</sub> Si <sub>2,986</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1401	67,5	20,1	0,3	11,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	100,0	97,5	1,4	1,1	[Na <sub>0,991</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,039</sub> Si <sub>2,970</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1402	67,1	19,5	0,4	11,3	0,3	0,0	0,0	0,2	1,2	100,0	96,4	1,9	1,7	[Na <sub>0,969</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,020</sub> Si <sub>2,993</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1418	67,3	19,9	0,3	11,3	0,1	0,0	0,0	0,7	0,4	100,0	97,9	1,5	0,6	[Na <sub>0,970</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,038</sub> Si <sub>2,979</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1419	67,6	20,0	0,4	11,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	100,0	97,4	1,9	0,7	[Na <sub>0,974</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,038</sub> Si <sub>2,978</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1422	67,9	19,9	0,3	11,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	100,0	98	1,4	0,6	[Na <sub>0,971</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,031</sub> Si <sub>2,984</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1423	67,7	19,9	0,3	11,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	100,0	98,6	1,4	0	[Na <sub>0,974</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,033</sub> Si <sub>2,982</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1435	66,9	19,4	0,3	10,5	0,2	0,0	0,0	0,2	2,5	100,0	97,5	1,6	0,9	[Na <sub>0,914</sub> ] <sub>0,9</sub> (Al <sub>1,026</sub> Si <sub>3,002</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1436	69,0	20,0	0,0	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	0	0	[Na <sub>0,918</sub> ] <sub>0,9</sub> (Al <sub>1,024</sub> Si <sub>3,002</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1438	78,8	16,7	0,4	2,5	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	100,0	91,8	8,2	0	[Na <sub>0,205</sub> ] <sub>0,2</sub> (Al <sub>0,831</sub> Si <sub>3,326</sub> ) <sub>4,2</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1439	80,3	15,0	0,7	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	100,0	83,8	16,2	0	[Na <sub>0,16</sub> ] <sub>0,2</sub> (Al <sub>0,75</sub> Si <sub>3,4</sub> ) <sub>4,1</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299	1440	68,3	19,8	0,3	11,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	100,0	97,7	1,5	0,8	[Na <sub>0,944</sub> ] <sub>0,9</sub> (Al <sub>1,024</sub> Si <sub>2,996</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1516	67,0	19,6	0,3	11,7	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	100,0	97,5	1,4	1,1	[Na <sub>1,006</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,024</sub> Si <sub>2,970</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1519	67,9	20,1	0,2	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	99,1	0,9	0	[Na <sub>0,999</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,035</sub> Si <sub>2,966</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1520	67,7	19,8	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0	100	0	0	[Na <sub>0,997</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,026</sub> Si <sub>2,977</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1529	66,9	20,0	0,5	11,4	0,4	0,0	0,0	0,8	0,0	100,0	95,4	2,3	2,3	[Na <sub>0,982</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,042</sub> Si <sub>2,973</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1534	68,1	20,1	0,0	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	0	0	[Na <sub>0,999</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,029</sub> Si <sub>2,973</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1538	67,3	19,6	0,2	11,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	100,0	98	0,9	1,1	[Na <sub>1,011</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,021</sub> Si <sub>2,969</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1568	67,6	19,7	0,2	11,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	100,0	99,1	0,9	0	[Na <sub>0,991</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,029</sub> Si <sub>2,980</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1569	68,0	20,03	0,0	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	0	0	[Na <sub>1,013</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,026</sub> Si <sub>2,961</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1574	67,8	19,9	0,0	11,9	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	100,0	100	0	0	[Na <sub>1,001</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,032</sub> Si <sub>2,967</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1584	68,1	19,9	0,2	11,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	98,5	0,8	0,7	[Na <sub>0,993</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,027</sub> Si <sub>2,981</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1587	68,3	19,9	0,0	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	0	0	[Na <sub>0,998</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,023</sub> Si <sub>2,979</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1596	67,4	19,8	0,2	11,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,6	100,0	97,9	1	1,1	[Na <sub>1,001</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,025</sub> Si <sub>2,974</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1603	68,2	19,8	0,1	11,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	98,8	0,7	0,5	[Na <sub>0,992</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,026</sub> Si <sub>2,982</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1610	68,1	19,9	0,1	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	99,4	0,6	0	[Na <sub>1,013</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,021</sub> Si <sub>2,966</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1612	68,3	19,9	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	0	0	[Na <sub>0,991</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,025</sub> Si <sub>2,984</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1613	68,0	19,9	0,1	11,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	100,0	99,4	0,6	0	[Na <sub>0,986</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,029</sub> Si <sub>2,982</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
13-299-1	1616	68,4	19,9	0,0	11,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	0	0	[Na <sub>0,997</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,022</sub> Si <sub>2,981</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит

## Полевые шпаты

№ образца	Элементы/ Спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	FeO	Сумма	Компонентный состав, % моль			Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
								Ab	An	Or			
М-08-424а	1479	62,7	18,85	15,7	0,9	0,9	100,0	0	0	100	[K <sub>0,945</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,036</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,051</sub> Si <sub>2,958</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз

## Амфиболы

№ образца	Элементы/ Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
М-08-424а	990	51,7	0,2	11,1	8,7	16,6	7,4	2,8	0,4	0,4	0,0	0,0	99,2	{Na <sub>0,104</sub> K <sub>0,070</sub> } <sub>0,2</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,046</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,235</sub> Ca <sub>1,082</sub> Na <sub>0,637</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,021</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,843</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,521</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,237</sub> Mg <sub>3,378</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>7,057</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,943</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	эденит
М-08-424а	991	44,8	0,3	19,3	10,8	10,5	8,1	4,3	0,6	0,2	0,0	0,0	98,9	{Na <sub>0,446</sub> K <sub>0,108</sub> } <sub>0,6</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,024</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,022</sub> Ca <sub>1,224</sub> Na <sub>0,730</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,032</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,529</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,263</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,989</sub> Mg <sub>2,187</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,320</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,680</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> )[(OH, F) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub> ]	магнезиогасти нгсит
13-299	1397	44,3	0,2	9,6	21,1	8,3	9,9	3,1	0,7	0,5	0,0	0,0	99,4	{Na <sub>0,473</sub> K <sub>0,133</sub> } <sub>0,6</sub> [Ca <sub>1,579</sub> Na <sub>0,421</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,022</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,27</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,682</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,063</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,944</sub> Mg <sub>1,819</sub> ) <sub>4,8</sub> (Si <sub>6,593</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,407</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэденит
13-299	1408	44,6	0,2	9,1	20,8	8,4	10,7	2,8	0,7	0,4	0,0	0,0	99,4	{Na <sub>0,534</sub> K <sub>0,134</sub> } <sub>0,7</sub> [Ca <sub>1,720</sub> Na <sub>0,280</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,023</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,30</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,246</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,051</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,364</sub> Mg <sub>1,879</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>6,691</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,309</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэденит
13-299	1420	45,4	0,3	10,5	22,1	7,8	10,0	2,5	0,6	0,5	0,0	0,0	99,7	{Na <sub>0,313</sub> K <sub>0,113</sub> } <sub>0,4</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,021</sub> Ca <sub>1,578</sub> Na <sub>0,401</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,033</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,524</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,683</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,029</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,039</sub> Mg <sub>1,691</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,702</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,298</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэденит
13-299	1421	43,5	0,3	12,2	22,5	7,1	10,1	2,6	0,7	0,4	0,0	0,0	99,8	{Na <sub>0,383</sub> K <sub>0,132</sub> } <sub>0,5</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,030</sub> Ca <sub>1,605</sub> Na <sub>0,365</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,033</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,585</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,640</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,021</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,151</sub> Mg <sub>1,570</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,452</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,548</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> )[(OH, F) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub> ]	ферропаргасит
13-299	1434	52,4	0,2	3,5	1,7	12,7	0,0	1,7	0,0	0,0	11,3	15,6	99,9	{Na <sub>0,241</sub> } <sub>0,2</sub> [Ca <sub>1,762</sub> Na <sub>0,238</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,225</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,898</sub> Mg <sub>2,755</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>7,625</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,375</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> O <sub>0,030</sub> ) <sub>2,0</sub>	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe) <sub>5</sub> [OH]	актинолит
13-299	1443	44,5	0,4	11,2	22,0	7,6	10,2	2,5	0,6	0,4	0,0	0,0	99,7	{Na <sub>0,316</sub> K <sub>0,113</sub> } <sub>0,4</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,003</sub> Ca <sub>1,598</sub> Na <sub>0,399</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,044</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,519</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,652</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,047</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,064</sub> Mg <sub>1,673</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,570</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,430</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэденит
М-08-424а	1483	37,7	7,0	13,7	15,3	6,7	13,5	2,1	0,6	0,3	0,0	0,0	98,7	{Ca <sub>0,284</sub> Na <sub>0,643</sub> K <sub>0,121</sub> } <sub>1,0</sub> [Ca <sub>2,000</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,831</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,50</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,040</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,020</sub> Mg <sub>1,577</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>5,952</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>2,048</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> )[(OH, F) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub> ]	ферропаргасит
М-08-424а	1506	65,0	0,0	22,0	0,4	0,0	2,3	9,9	0,0	0,0	0,4	0,0	100,0	{Na <sub>0,749</sub> } <sub>0,7</sub> [Ca <sub>0,316</sub> Na <sub>1,684</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>3,321</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,043</sub> ) <sub>3,4</sub> (Si <sub>8,325</sub> ) <sub>8,3</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> O <sub>0,251</sub> ) <sub>2,0</sub>	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe) <sub>5</sub> [OH]	актинолит
13-299-1	1513	46,4	0,3	11,1	20,6	8,0	9,7	2,5	0,5	0,5	0,5	0,0	99,9	{Na <sub>0,212</sub> K <sub>0,093</sub> } <sub>0,3</sub> [Ca <sub>1,508</sub> Na <sub>0,492</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,033</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,63</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,713</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,061</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,787</sub> Mg <sub>1,709</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>6,734</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,266</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэденит
13-299-1	1523	45,3	0,3	11,3	20,8	8,1	9,9	2,6	0,7	0,5	0,5	0,0	99,9	{Na <sub>0,296</sub> K <sub>0,131</sub> } <sub>0,4</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,003</sub> Ca <sub>1,554</sub> Na <sub>0,442</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,033</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,590</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,721</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,059</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,828</sub> Mg <sub>1,769</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,638</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,362</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэденит
13-299-1	1526	43,5	0,0	24,8	9,5	0,0	20,1	2,0	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0	{Ca <sub>1,432</sub> Na <sub>0,610</sub> } <sub>2,0</sub> [Ca <sub>2,000</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>3,615</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,269</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>6,949</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,051</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>5</sub> (Al, Si) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	роговая обманка
13-299-1	1551	48,9	0,3	7,6	19,0	10,0	10,7	1,9	0,6	0,5	0,0	0,0	99,7	{Na <sub>0,203</sub> K <sub>0,111</sub> } <sub>0,3</sub> [Ca <sub>1,667</sub> Na <sub>0,333</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,413</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,541</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,769</sub> Mg <sub>2,254</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>7,110</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,890</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>5</sub> (Al, Si) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	роговая обманка

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299-1	1554	44,3	0,2	12,4	21,6	7,5	9,8	2,7	0,7	0,6	0,0	0,0	99,8	{Na <sub>0,349</sub> K <sub>0,131</sub> } <sub>0,5</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,039</sub> Ca <sub>1,542</sub> Na <sub>0,419</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,022</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,649</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,742</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,035</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,910</sub> Mg <sub>1,641</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,504</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,496</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> )[(OH, F) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub> ]	ферропаргасит
13-299-1	1562	49,1	0,0	7,8	19,2	10,3	10,9	1,7	0,3	0,5	0,3	0,0	100,0	{Na <sub>0,161</sub> K <sub>0,055</sub> } <sub>0,2</sub> [Ca <sub>1,685</sub> Na <sub>0,315</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,412</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,512</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,049</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,805</sub> Mg <sub>2,216</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>7,085</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,915</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>5</sub> (Al, Si) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	роговая обманка
13-299-1	1576	43,3	0,3	12,2	21,8	8,4	9,3	2,4	0,7	0,5	1,2	0,0	100,0	{Na <sub>0,208</sub> K <sub>0,131</sub> } <sub>0,3</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,061</sub> Ca <sub>1,464</sub> Na <sub>0,476</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,022</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,472</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,843</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,002</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,822</sub> Mg <sub>1,839</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,360</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,640</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> )[(OH, F) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub> ]	магнезиопаргасит
13-299-1	1583	38,6	2,2	15,7	23,6	9,9	0,0	0,0	9,5	0,0	0,4	0,0	99,8	{K <sub>1,884</sub> } <sub>1,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,482</sub> ] <sub>1,5</sub> (Ti <sub>0,246</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,875</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,586</sub> Mg <sub>2,294</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>5,999</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>2,001</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> O <sub>0,106</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> )[(OH, F) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub> ]	К-содержащий паргасит
13-299-1	1589	46,9	0,3	10,1	20,3	8,8	10,2	2,0	0,5	0,5	0,2	0,0	99,9	{Na <sub>0,157</sub> K <sub>0,093</sub> } <sub>0,3</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,007</sub> Ca <sub>1,587</sub> Na <sub>0,406</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,033</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,541</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,669</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,055</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,797</sub> Mg <sub>1,905</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,812</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,188</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэдентит
13-299-1	1595	39,1	1,8	15,4	17,4	8,2	0,0	4,3	7,4	0,0	4,6	0,0	98,3	{K <sub>1,489</sub> } <sub>1,5</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,250</sub> Na <sub>1,315</sub> ] <sub>1,6</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>1,028</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,546</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,498</sub> Mg <sub>1,928</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,166</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,834</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> O <sub>0,068</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> )[(OH, F) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub> ]	К-содержащий паргасит
13-299-1	1600	44,9	0,3	11,5	21,7	7,8	10,1	2,4	0,7	0,5	0,0	0,0	99,8	{Na <sub>0,322</sub> K <sub>0,131</sub> } <sub>0,5</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,050</sub> Ca <sub>1,589</sub> Na <sub>0,361</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,033</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,583</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,666</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,012</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,999</sub> Mg <sub>1,707</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,593</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,407</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэдентит
13-299-1	1608	38,3	2,1	15,6	23,7	10,1	0,0	0,6	9,5	0,0	0,0	0,0	99,8	{K <sub>1,929</sub> } <sub>1,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,555</sub> ] <sub>1,6</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>1,004</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,600</sub> Mg <sub>2,397</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,096</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,904</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> O <sub>0,070</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> )[(OH, F) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub> ]	К-содержащий паргасит
13-299-1	1609	30,3	0,0	23,8	29,2	16,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	100,0	{[Fe <sup>2+</sup> <sub>1,034</sub> Mg <sub>1,349</sub> ] <sub>2,4</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,395</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,480</sub> Mg <sub>2,125</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>4,359</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>3,641</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> )(Si <sub>5</sub> Al <sub>3</sub> )O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	К-содержащий паргасит
M-08-424a	1506	65,0	0,0	22,0	0,4	0,0	2,3	9,9	0,0	0,0	0,4	0,0	100,0	{Na <sub>0,749</sub> } <sub>0,7</sub> [Ca <sub>0,316</sub> Na <sub>1,684</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>3,321</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,043</sub> ) <sub>3,4</sub> (Si <sub>8,325</sub> ) <sub>8,3</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> O <sub>0,251</sub> ) <sub>2,0</sub>	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe) <sub>5</sub> [OH]	актинолит
13-299-1	1513	46,4	0,3	11,1	20,6	8,0	9,7	2,5	0,5	0,5	0,5	0,0	99,9	{Na <sub>0,212</sub> K <sub>0,093</sub> } <sub>0,3</sub> [Ca <sub>1,508</sub> Na <sub>0,492</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,033</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,632</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,713</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,061</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,787</sub> Mg <sub>1,709</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>6,734</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,266</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэдентит
13-299-1	1523	45,3	0,3	11,3	20,8	8,1	9,9	2,6	0,7	0,5	0,5	0,0	99,9	{Na <sub>0,296</sub> K <sub>0,131</sub> } <sub>0,4</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,003</sub> Ca <sub>1,554</sub> Na <sub>0,442</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,033</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,590</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,721</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,059</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,828</sub> Mg <sub>1,769</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,638</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,362</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> [Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> ]	ферроэдентит
13-299-1	1526	43,5	0,0	24,8	9,5	0,0	20,1	2,0	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0	{Ca <sub>1,432</sub> Na <sub>0,610</sub> ] <sub>2,0</sub> [Ca <sub>2,000</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>3,615</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,269</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>6,949</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,051</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>5</sub> (Al, Si) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	роговая обманка
13-299-1	1551	48,9	0,3	7,6	19,0	10,0	10,7	1,9	0,6	0,5	0,0	0,0	99,7	{Na <sub>0,203</sub> K <sub>0,111</sub> } <sub>0,3</sub> [Ca <sub>1,667</sub> Na <sub>0,333</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,413</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,541</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,769</sub> Mg <sub>2,254</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>7,110</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,890</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	Ca <sub>2</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>5</sub> (Al, Si) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	роговая обманка
13-299-1	1554	44,3	0,2	12,4	21,6	7,5	9,8	2,7	0,7	0,6	0,0	0,0	99,8	{Na <sub>0,349</sub> K <sub>0,131</sub> } <sub>0,5</sub> [Mn <sup>2+</sup> <sub>0,039</sub> Ca <sub>1,542</sub> Na <sub>0,419</sub> ] <sub>2,0</sub> (Ti <sub>0,022</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,649</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,742</sub> Mn <sup>2+</sup> <sub>0,035</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,910</sub> Mg <sub>1,641</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,504</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,496</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>4</sub> (Al, Fe <sup>3+</sup> )[(OH, F) <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>22</sub> ]	ферропаргасит

Кристаллохимическая пересчет и его параметры

№ образца	Элементы/ Спектры	Si	Al <sup>IV</sup>	ΣT	Al <sup>VI</sup>	Ti	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mg	Mn	ΣC	Fe <sup>2+</sup>	Na	Ca	Mg	Mn	ΣB	Ca	Na	K	ΣA
M-08-424a	990	7,1	0,9	8,0	0,8	0,02	0,5	0,2	3,4	0,0	5,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0	0,3	0,6	0,1	1,0
M-08-424a	991	6,3	1,7	8,0	1,6	0,03	0,3	0,9	2,2	0,0	5,0	0,02	0,7	1,2	0	0,02	2,0	0,0	0,5	0,1	0,6
13-299	1397	6,6	1,4	8,0	0,3	0,02	0,7	1,9	1,8	0,06	4,8	0,0	0,4	1,6	0	0	2,0	0,0	0,5	0,1	0,6
13-299	1408	6,7	1,3	8,0	0,3	0,02	0,2	2,3	1,8	0,05	4,7	0,0	0,4	1,6	0,0	0,0	2,0	0,0	0,5	0,1	0,6
13-299	1420	6,7	1,3	8,0	0,5	0,02	0,6	2,1	1,7	0,03	5,0	0,0	0,3	1,6	0,0	0,1	2,0	0,0	0,4	0,5	0,5
13-299	1421	6,4	1,6	8,0	0,6	0,03	0,6	2,2	1,6	0,02	5,0	0,0	0,4	1,6	0,0	0,03	2,0	0,0	0,4	0,1	0,5
13-299	1434	8,8	0,0	8,8	0,7	0,02	0,01	0,2	3,2	0,0	4,1	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
13-299	1443	6,6	1,4	8,0	0,5	0,04	0,7	2,1	1,6	0,04	5,0	0,0	0,4	1,6	0,0	0,06	2,0	0,0	0,3	0,1	0,4
M-08-424a	1483	5,9	2,1	8,0	0,5	0,8	0,01	2,0	1,6	0,04	5,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0	0,3	0,6	0,1	1,0
M-08-424a	1506	8,3	0,0	8,3	3,3	0,0	0,01	0,04	0,0	0,0	3,4	0,0	1,7	0,3	0,0	0,0	2,0	0,0	0,8	0,0	0,8
13-299-1	1513	6,7	1,4	8,0	0,5	0,03	0,7	1,8	1,7	0,06	4,9	0,0	0,5	1,5	0,0	0,0	2,0	0,0	0,3	0,1	0,4
13-299-1	1523	6,6	1,4	8,0	0,5	0,03	0,7	1,8	1,8	0,06	4,9	0,0	0,5	1,5	0,0	0,0	2,0	0,0	0,3	0,1	0,4
13-299-1	1526	6,9	1,1	8,0	3,5	0,0	0,01	1,3	0,0	0,03	4,9	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,0	1,3	0,6	0,0	1,9
13-299-1	1551	7,1	0,9	8,0	0,4	0,03	0,6	1,8	2,1	0,06	5,0	0,0	0,4	1,6	0,0	0,0	2,0	0,0	0,2	0,1	0,3
13-299-1	1554	6,5	1,5	8,0	0,7	0,02	0,7	1,9	1,6	0,03	5,0	0,0	0,4	1,6	0,0	0,04	2,0	0,0	0,3	0,1	0,4
13-299-1	1562	7,1	0,9	8,0	0,4	0,0	0,5	1,8	2,2	0,05	5,0	0,0	0,4	1,6	0,0	0,04	2,0	0,0	0,1	0,1	0,2
13-299-1	1576	6,4	1,6	8,0	0,5	0,03	0,8	1,8	1,8	0,01	5,0	0,0	0,5	1,5	0,0	0,06	2,0	0,0	0,2	0,1	0,3
13-299-1	1582	5,8	2,2	8,0	0,8	0,2	0,01	1,7	2,3	0,0	5,0	0,3	0,0	0,0	0,8	0,03	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
13-299-1	1583	5,8	2,2	8,0	0,7	0,2	2,7	0,0	1,4	0,0	5,0	0,3	0,0	0,0	0,8	0,03	1,1	0,0	0,0	1,9	1,9
13-299-1	1589	6,8	1,2	8,0	0,5	0,03	0,7	1,8	1,9	0,05	5,0	0,0	0,4	1,6	0,0	0,07	2,0	0,0	0,2	0,1	0,3
13-299-1	1595	5,9	2,1	8,0	0,7	0,2	2,0	0,2	1,9	0,0	5,0	0,04	1,3	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	1,4	1,4
13-299-1	1600	6,6	1,4	8,0	0,6	0,03	0,7	2,0	1,7	0,01	5,0	0,0	0,4	1,6	0,0	0,05	2,0	0,0	0,2	0,1	0,3
13-299-1	1608	5,9	2,1	8,0	0,7	0,2	0,1	1,6	2,4	0,0	5,0	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	1,8	1,8

## Пумпеллит

№ образца	Элементы/ Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299	1398	29,1	0,4	18,3	10,9	29,1	0,0	0,5	8,9	0,0	1,4	1,0	99,9	Ca <sub>1,455</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,429</sub> Al <sub>1,007</sub> Si <sub>1,363</sub> P <sub>0,352</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
13-299-1	1563	39,4	0,0	23,1	14,3	21,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,051</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,541</sub> Al <sub>1,23</sub> Si <sub>1,78</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
13-299-1	1564	35,4	0,0	19,5	16,2	27,9	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,4</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,638</sub> Al <sub>1,083</sub> Si <sub>1,66</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
13-299-1	1573	38,4	0,0	23,6	13,3	23,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,13</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,503</sub> Al <sub>1,257</sub> Si <sub>1,740</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
13-299-1	1593	39,8	0,0	23,6	13,5	23,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,101</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,502</sub> Al <sub>1,237</sub> Si <sub>1,237</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
13-299-1	1618	39,1	0,0	23,5	12,9	21,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,101</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,502</sub> Al <sub>1,237</sub> Si <sub>1,237</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
13-299-1	1619	39,2	0,0	24,3	12,1	23,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,104</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,449</sub> Al <sub>1,303</sub> Si <sub>1,746</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит

## Слюды

№ образца	Элементы/ Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	BaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Компонентный состав, % моль				Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
														Ann	Sd	East	Phl			
M-08-424a	983	32,2	0,0	23,9	26,5	25,3	2,9	0,5	0,96	0,0	0,0	3,6	99,3	71,2	2,4	11,2	15,2	{Na <sub>0,385</sub> Ca <sub>0,066</sub> } <sub>0,5</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,550</sub> Mg <sub>2,586</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,139</sub> Cr <sub>0,195</sub> ] <sub>3,5</sub> (Si <sub>2,208</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,792</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
M-08-424a	984	45,0	0,0	18,4	10,6	11,3	4,69	0,5	7,8	0,3	0,0	0,3	99,9	18,8	25	46,1	10,1	{Na <sub>0,622</sub> Ca <sub>0,577</sub> } <sub>1,2</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,605</sub> Mg <sub>1,149</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,549</sub> ] <sub>2,3</sub> (Si <sub>3,070</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,930</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
M-08-424a	985	37,5	0,0	25,6	9,0	27,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	99,9	49,8	6,4	34,6	9,2	{[Fe <sup>2+</sup> <sub>0,491</sub> Mg <sub>2,664</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,414</sub> ] <sub>3,6</sub> (Si <sub>2,446</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,554</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	BaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Компонентный состав, % моль				Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
														Ann	Sd	East	Phl			
13-299	1377	38,0	1,9	15,6	24,1	10,0	0,0	9,4	0,0	0,2	0,0	0,4	99,7	31	15,5	11,3	42,2	{K <sub>0,894</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,503</sub> Mg <sub>1,112</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,205</sub> Ti <sub>0,107</sub> ] <sub>2,9</sub> (Si <sub>2,834</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,166</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1377	38,0	1,9	15,6	24,1	10,0	0,0	9,4	0,0	0,2	0,0	0,4	99,7	31	15,5	11,3	42,2	{K <sub>0,894</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,503</sub> Mg <sub>1,112</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,205</sub> Ti <sub>0,107</sub> ] <sub>2,9</sub> (Si <sub>2,834</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,166</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1378	36,7	1,6	15,0	23,2	9,8	1,5	9,2	0,0	0,3	0,6	1,1	99,7	35,5	9,9	7,5	47,1	{Na <sub>0,221</sub> K <sub>0,892</sub> } <sub>1,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,475</sub> Mg <sub>1,110</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,125</sub> Ti <sub>0,086</sub> Cr <sub>0,072</sub> ] <sub>2,9</sub> (Si <sub>2,782</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,218</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1379	36,7	1,7	15,3	23,9	9,7	0,8	9,3	0,0	0,0	0,0	0,2	99,7	29,1	17,8	12,9	40,2	{K <sub>0,885</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,497</sub> Mg <sub>1,079</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,232</sub> Ti <sub>0,095</sub> ] <sub>2,9</sub> (Si <sub>2,887</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,113</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1382	29,4	0,0	22,1	30,6	15,4	0,9	0,0	0,3	0,5	0,0	0,5	99,7	41,7	5,8	5,1	47,3	{Na <sub>0,130</sub> } <sub>0,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,909</sub> Mg <sub>1,712</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,143</sub> ] <sub>3,8</sub> (Si <sub>2,200</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,800</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1383	29,7	0,0	22,4	30,3	15,3	0,7	0,1	0,3	0,5	0,0	0,4	99,8	40,3	7,5	6,7	45,5	{[Fe <sup>2+</sup> <sub>1,894</sub> Mg <sub>1,705</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,194</sub> ] <sub>3,8</sub> (Si <sub>2,220</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,780</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1390	29,9	0,0	23,0	30,2	16,0	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	0,0	99,8	39,9	8,9	8,3	42,9	{[Fe <sup>2+</sup> <sub>1,857</sub> Mg <sub>1,754</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,193</sub> ] <sub>3,8</sub> (Si <sub>2,199</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,801</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Fe-Al селадонит
13-299	1391	28,5	0,0	20,8	32,9	13,5	0,8	0,1	0,4	0,5	0,0	2,4	99,9	41,8	0,0	0,0	58,2	{Na <sub>0,118</sub> } <sub>0,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>2,087</sub> Mg <sub>1,526</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,021</sub> Cr <sub>0,144</sub> ] <sub>3,8</sub> (Si <sub>2,162</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,838</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1399	37,8	1,8	15,1	23,5	10,1	0,9	9,3	0,0	0,0	0,0	0,4	99,7	33,0	13,6	10,4	43,0	{K <sub>0,909</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,506</sub> Mg <sub>1,200</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,261</sub> ] <sub>3,0</sub> (Si <sub>2,897</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,103</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1400	37,9	1,8	15,4	23,6	9,9	0,9	9,7	0,0	0,2	0,0	0,4	99,7	32,0	14,4	10,6	43,0	{K <sub>0,947</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,511</sub> Mg <sub>1,130</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,290</sub> ] <sub>2,9</sub> (Si <sub>2,901</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,099</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1407	37,8	1,8	14,9	24,3	9,4	0,8	9,3	0,6	0,2	0,0	0,7	99,7	32,4	12,1	8,2	47,3	{K <sub>0,918</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,572</sub> Mg <sub>1,084</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,282</sub> ] <sub>2,9</sub> (Si <sub>2,924</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,076</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1417	38,0	1,8	15,1	22,7	9,4	1,0	9,5	0,0	0,2	0,0	0,9	99,7	30,3	16,4	41,3	12,0	{K <sub>0,940</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,473</sub> Mg <sub>1,087</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,330</sub> ] <sub>2,9</sub> (Si <sub>2,949</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,051</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1424	31,5	1,9	19,8	28,4	13,5	0,8	0,2	2,8	0,5	0,0	0,5	99,9	43,8	2,0	1,6	52,6	{Na <sub>0,117</sub> Ca <sub>0,219</sub> } <sub>0,3</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,795</sub> Mg <sub>1,521</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,144</sub> ] <sub>3,5</sub> (Si <sub>2,381</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,619</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1430	27,0	0,0	16,7	30,3	10,4	2,0	0,9	0,9	0,5	0,0	10,3	99,2	37,6	0,0	0,0	62,4	{Na <sub>0,308</sub> } <sub>0,3</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>2,015</sub> Mg <sub>1,233</sub> Cr <sub>0,648</sub> ] <sub>3,9</sub> (Si <sub>2,139</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,565</sub> ) <sub>3,7</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299	1431	21,5	0,3	12,6	23,7	7,4	3,0	3,9	1,4	0,4	0,0	21,7	99,7	35,4	0,0	0,0	64,6	{Na <sub>0,486</sub> K <sub>0,430</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,713</sub> Mg <sub>0,953</sub> Cr <sub>1,490</sub> ] <sub>4,2</sub> (Si <sub>1,858</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,283</sub> ) <sub>3,1</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
M-08-424a	1469	49,8	0,0	9,1	16,6	14,9	1,8	0,2	6,3	0,9	0,0	0,0	99,5	37,8	14,8	22,3	25,1	{Na <sub>0,385</sub> Ca <sub>0,066</sub> } <sub>0,5</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>2,550</sub> Mg <sub>2,586</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,139</sub> Cr <sub>0,195</sub> ] <sub>3,5</sub> (Si <sub>2,208</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,792</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
M-08-424a	1480	37,2	0,0	22,9	13,7	24,9	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	99,9	51,9	7,6	24,4	16,1	{Na <sub>0,117</sub> } <sub>0,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,768</sub> Mg <sub>2,477</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,301</sub> ] <sub>3,5</sub> (Si <sub>2,492</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,508</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
M-08-424a	1481	36,6	0,0	24,1	13,2	23,4	1,2	0,0	0,3	0,2	0,0	1,1	100,0	48,2	8,8	27,5	15,5	{Na <sub>0,156</sub> } <sub>0,2</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,741</sub> Mg <sub>2,341</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,355</sub> Cr <sub>0,053</sub> ] <sub>3,5</sub> (Si <sub>2,456</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,544</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
M-08-424a	1486	48,3	0,2	11,2	16,5	13,9	1,8	0,3	6,6	0,9	0,0	0,0	99,7	32,9	18,2	25,8	23,1	{Na <sub>0,241</sub> Ca <sub>0,488</sub> } <sub>0,7</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,951</sub> Mg <sub>1,429</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,234</sub> ] <sub>2,6</sub> (Si <sub>3,323</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,677</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
M-08-424a	1487	42,4	0,0	17,0	16,5	9,7	2,6	0,5	9,9	0,4	0,0	0,0	99,1	23,5	26,4	27,1	23,0	{Na <sub>0,354</sub> K <sub>0,045</sub> Ca <sub>0,745</sub> } <sub>1,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,970</sub> Mg <sub>1,016</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,387</sub> ] <sub>2,4</sub> (Si <sub>2,979</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,021</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Mg-Al селадонит
M-08-424a	1489	43,1	0,2	15,7	16,3	9,9	2,4	0,5	10,4	0,6	0,0	0,0	99,2	25,9	24,1	25,2	24,8	{Na <sub>0,329</sub> Ca <sub>0,780</sub> } <sub>1,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,963</sub> Mg <sub>1,043</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,352</sub> ] <sub>2,4</sub> (Si <sub>3,045</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,955</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Mg-Al селадонит
M-08-424a	1494	42,8	0,3	17,0	16,0	9,8	2,7	0,4	9,7	0,6	0,0	0,0	99,2	23,1	26,8	28,3	21,8	{Na <sub>0,354</sub> Ca <sub>0,731</sub> } <sub>1,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,935</sub> Mg <sub>1,027</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,417</sub> ] <sub>2,4</sub> (Si <sub>3,009</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,991</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Mg-Al селадонит
M-08-424a	1499	32,6	0,0	24,6	15,3	26,8	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	62,2	4,3	13,5	20,0	{K <sub>0,017</sub> } <sub>0,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,868</sub> Mg <sub>2,710</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,178</sub> Cr <sub>0,027</sub> ] <sub>3,8</sub> (Si <sub>2,211</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,789</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
M-08-424a	1502	37,9	0,0	22,8	12,8	25,5	0,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	100,0	52,1	7,3	26,0	14,6	{Na <sub>0,103</sub> } <sub>0,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,707</sub> Mg <sub>2,529</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,301</sub> ] <sub>3,5</sub> (Si <sub>2,521</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,479</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
M-08-424a	1505	41,8	0,3	16,7	17,0	9,0	2,7	0,6	9,9	0,5	0,0	0,0	98,7	23,4	26,7	24,4	25,5	{Na <sub>0,504</sub> } <sub>0,5</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,163</sub> Ca <sub>1,567</sub> Na <sub>0,270</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>1,082</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,510</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,426</sub> Mg <sub>1,982</sub> ) <sub>5,0</sub> (Si <sub>6,174</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,826</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Fe-Al селадонит

№ образца	Элементы / Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Ba	Cr	Сумма	Компонентный состав, % моль				Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
														Ann	Sd	East	Phl			
M-08-424a	1507	31,9	0,0	24,3	15,5	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	63,5	3,9	12,2	20,4	{ } [Fe <sub>2+0,890</sub> Mg <sub>2,775</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,159</sub> ] <sub>3,8</sub> (Si <sub>2,191</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,809</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
M-08-424a	1508	55,4	0,0	2,5	18,8	20,3	0,0	0,0	1,4	1,5	0,0	0,0	99,9	64,0	0,0	0,0	36,0	{ Ca <sub>0,101</sub> } <sub>0,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,055</sub> Mn <sub>0,085</sub> Mg <sub>2,030</sub> ] <sub>3,2</sub> (Si <sub>3,716</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,198</sub> ) <sub>3,9</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KMg <sub>3</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	флогопит
13-299-1	1536	41,0	1,4	15,9	20,9	8,6	2,2	8,6	0,0	0,3	0,4	0,4	99,7	20,4	29,8	21,6	28,2	{ Na <sub>0,317</sub> K <sub>0,815</sub> } <sub>1,1</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,299</sub> Mg <sub>0,953</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,439</sub> ] <sub>2,7</sub> (Si <sub>3,047</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,953</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299-1	1537	38,9	2,3	15,3	23,0	9,8	0,8	9,1	0,0	0,0	0,0	0,6	99,8	30,7	16,5	12,6	40,2	{ K <sub>0,864</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,425</sub> Mg <sub>1,087</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,235</sub> Ti <sub>0,129</sub> ] <sub>2,9</sub> (Si <sub>2,894</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,106</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
13-299-1	1553	30,3	0,0	22,4	30,3	16,2	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	0,0	99,9	39,0	11,5	11,9	37,6	{ } [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,862</sub> Mg <sub>1,775</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,167</sub> ] <sub>3,8</sub> (Si <sub>2,227</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,773</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Fe-Al селадонит
13-299-1	1561	29,5	0,0	23,1	30,9	15,4	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	0,3	99,9	38,7	9,1	7,9	44,3	{ } [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,862</sub> Mg <sub>1,775</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,167</sub> ] <sub>3,8</sub> (Si <sub>2,227</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,773</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	Fe-Al селадонит
13-299-1	1614	57,7	0,4	28,2	3,3	0,8	6,5	0,5	0,6	0,0	0,0	0,7	99,8	0,0	69,9	30,1	0,0	{ Na <sub>0,794</sub> } <sub>0,8</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,174</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,740</sub> ] <sub>1,9</sub> (Si <sub>3,637</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,363</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(AlMg) <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (SiAl) <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	фенгит
13-299-1	1615	29,1	0,0	23,0	31,5	15,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	99,9	39,0	7,8	6,5	46,7	{ } [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,969</sub> Mg <sub>1,671</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,184</sub> ] <sub>3,8</sub> (Si <sub>2,167</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,833</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,00</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH,F) <sub>2</sub>	аннит
<b>Кристаллохимическая пересчет и его параметры</b>																				
№ образца	Элементы / Спектры	Si	Al <sup>IV</sup>	ΣT	Al <sup>VI</sup>	Ti	Fe <sup>2+</sup>	Mg	Mn	Cr	ΣM	Na	K	Ca	Ba	ΣI	OH	ΣA		
M-08-424a	985	1,6	2,4	4,0	0,5	0,0	0,6	1,1	0,0	0,01	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0		
13-299	1377	2,9	1,1	4,0	0,2	0,1	1,5	1,1	0,01	0,02	2,9	0,1	0,7	0,0	0,0	0,8	2,0	2,0		
13-299	1378	2,8	1,2	4,0	0,1	0,08	1,5	1,1	0,01	0,07	2,8	0,2	0,9	0,0	0,0	1,1	2,0	2,0		
13-299	1379	2,8	1,2	4,0	0,2	0,09	1,5	1,0	0,0	0,01	2,8	0,2	0,9	0,0	0,0	1,1	2,0	2,0		
13-299	1382	2,2	1,8	4,0	0,1	0,1	1,9	1,7	0,03	0,03	3,8	0,2	0,0	0,02	0,0	0,2	2,0	2,0		
13-299	1383	2,2	1,8	4,0	0,1	0,09	1,9	1,7	0,03	0,02	3,8	0,1	0,01	0,02	0,0	0,13	2,0	2,0		
13-299	1390	2,2	1,8	4,0	0,2	0,0	1,9	1,7	0,03	0,02	3,8	0,1	0,01	0,02	0,0	0,13	2,0	2,0		
13-299	1391	2,9	1,1	4,0	0,2	0,1	1,5	1,1	0,0	0,02	2,9	0,1	0,9	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-299	1399	2,8	1,2	4,0	0,2	0,1	1,5	1,1	0,0	0,02	2,9	0,1	0,9	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-299	1400	2,9	1,1	4,0	0,2	0,1	1,5	1,1	0,01	0,02	2,9	0,1	0,9	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-299	1407	2,8	1,2	4,0	0,1	0,1	1,5	1,0	0,01	0,04	2,7	0,1	0,9	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-299	1417	2,9	1,1	4,0	0,2	0,1	1,4	1,1	0,01	0,04	2,8	0,1	0,9	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-299	1424	2,3	1,7	4,0	0,03	0,1	1,7	1,5	0,03	0,04	3,3	0,1	0,01	0,2	0,0	0,3	2,0	2,0		
13-299	1430	2,1	1,6	4,0	0,0	0,0	1,9	1,2	0,03	0,6	3,1	0,1	0,01	0,2	0,0	0,3	2,0	2,0		
13-299	1431	1,8	1,3	3,1	0,0	0,02	1,7	0,9	0,03	1,5	3,9	0,5	0,4	0,1	0,01	1,1	2,0	2,0		
M-08-424a	1469	3,4	0,6	4,0	0,1	0,0	0,9	1,5	0,05	0,0	2,5	1,2	0,0	0,1	0,0	1,3	2,0	2,0		
M-08-424a	1480	2,5	1,5	4,0	0,2	0,0	0,7	2,5	0,0	0,01	3,4	0,1	0,0	0,01	0,0	0,11	2,0	2,0		
M-08-424a	1486	3,3	0,7	4,0	0,2	0,0	0,9	1,4	0,05	0,01	2,5	0,2	0,1	0,4	0,0	0,7	2,0	2,0		
M-08-424a	1487	3,0	1,0	4,0	0,4	0,0	0,9	1,0	0,02	0,01	2,3	0,4	0,04	0,7	0,0	1,1	2,0	2,0		
M-08-424a	1489	3,1	0,9	4,0	0,3	0,01	0,9	1,0	0,03	0,01	2,2	0,3	0,03	0,8	0,0	1,1	2,0	2,0		
M-08-424a	1494	3,9	0,1	4,0	1,4	0,01	0,04	0,02	0,0	0,1	1,5	1,2	0,0	0,1	0,0	1,3	2,0	2,0		
M-08-424a	1499	2,2	1,8	4,0	0,2	0,0	0,9	2,7	0,0	0,02	3,8	0,0	0,02	0,0	0,0	0,02	2,0	2,0		
M-08-424a	1502	2,5	1,6	4,0	0,3	0,0	0,7	2,5	0,0	0,0	3,5	0,1	0,0	0,01	0,0	0,11	2,0	2,0		

№ образца	Элементы/Спектры	Si	Al <sup>IV</sup>	ΣT	Al <sup>VI</sup>	Ti	Fe <sup>2+</sup>	Mg	Mn	Cr	ΣM	Na	K	Ca	Ba	ΣI	OH	ΣA			
M-08-424a	1505	2,9	1,1	4,0	0,3	0,01	1,0	0,9	0,0	0,0	2,2	0,4	0,05	0,8	0,0	1,2	2,0	2,0			
M-08-424a	1507	2,2	1,8	4,0	0,2	0,0	0,9	2,7	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0			
M-08-424a	1508	3,7	0,3	4,0	0,0	0,0	0,9	2,3	0,08	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0			
13-299-1	1536	2,9	1,1	4,0	0,3	0,07	1,3	0,9	0,01	0,02	2,6	0,3	0,8	0,0	0,01	1,1	2,0	2,0			
13-299-1	1537	2,9	1,1	4,0	0,2	0,1	1,4	1,1	0,0	0,03	2,8	0,1	0,9	0,0	0,0	0,9	2,0	2,0			
13-299-1	1553	2,2	1,8	4,0	0,2	0,0	1,8	1,7	0,03	0,03	3,7	0,0	0,0	0,01	0,0	0,01	2,0	2,0			
13-299-1	1561	2,8	1,2	4,0	0,3	0,1	1,4	1,1	0,02	0,05	2,9	0,1	0,6	0,04	0,0	0,74	2,0	2,0			
13-299-1	1614	3,6	0,4	4,0	1,6	0,01	0,2	0,1	0,0	0,03	1,9	0,7	0,03	0,1	0,0	0,8	2,0	2,0			
13-299-1	1615	2,1	1,9	4,0	0,1	0,0	1,9	1,7	0,03	0,03	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0			

## Ильменит

№ образца	Элементы/спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299	1388	0,3	50,6	0,0	44,8	0,0	0,0	0,0	0,4	2,9	0,0	0,8	100,0	Mn <sub>0,063</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,968</sub> Ti <sub>0,984</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299	1392	0,7	51,5	0,0	43,4	0,0	0,0	0,0	0,5	3,4	0,0	0,3	100,0	Mn <sub>0,074</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,933</sub> Ti <sub>0,996</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299	1393	12,0	46,6	0,8	27,7	0,0	0,0	0,0	9,8	2,3	0,5	0,3	100,0	Mn <sub>0,074</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,933</sub> Ti <sub>0,996</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299	1394	0,9	50,3	1,1	42,9	0,0	0,0	0,0	0,6	3,5	0,0	0,6	100,0	Ca <sub>0,243</sub> Mn <sub>0,045</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,536</sub> Ti <sub>0,811</sub> Si <sub>0,278</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
M-08-424a	1450	18,9	16,7	1,1	59,1	0,0	1,2	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,327</sub> Ti <sub>0,337</sub> Si <sub>0,499</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
M-08-424a	1451	5,2	22,3	2,7	62,0	3,0	0,0	0,6	0,1	0,9	0,8	2,1	99,9	Mg <sub>0,128</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,480</sub> Ti <sub>0,479</sub> Al <sub>0,091</sub> Si <sub>0,149</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
M-08-424a	1462	3,0	35,1	1,1	55,3	0,7	0,7	0,2	0,6	1,7	0,5	0,9	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,403</sub> Ti <sub>0,799</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
M-08-424a	1472	0,3	50,2	0,0	46,3	0,0	0,0	0,0	0,3	2,8	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,061</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,996</sub> Ti <sub>0,971</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
M-08-424a	1488	1,5	45,7	0,8	49,2	0,0	0,0	0,0	0,2	1,6	0,6	0,4	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,123</sub> Ti <sub>0,938</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
M-08-424a	1496	0,3	16,8	0,0	81,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,1	0,0	100,0	Mn <sub>0,014</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,173</sub> Ti <sub>0,407</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
M-08-424a	1497	0,4	16,6	0,0	81,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>2,197</sub> Ti <sub>0,402</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1510	0,4	52,5	0,0	42,9	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,082</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,911</sub> Ti <sub>1,003</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1511	1,0	50,1	0,5	42,4	0,0	0,0	0,0	0,4	3,5	0,0	1,4	100,0	Mn <sub>0,075</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,895</sub> Cr <sub>0,028</sub> Ti <sub>0,969</sub> Si <sub>0,025</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1524	5,5	46,5	2,1	40,6	0,0	1,7	0,0	0,3	3,0	0,0	0,7	100,0	Na <sub>0,082</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,848</sub> Ti <sub>0,874</sub> Al <sub>0,059</sub> Si <sub>0,137</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1527	1,5	49,4	0,0	42,9	0,0	0,0	0,0	1,1	3,6	0,0	1,5	100,0	Mn <sub>0,079</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,925</sub> Ti <sub>0,960</sub> Si <sub>0,039</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1530	1,9	50,8	0,0	41,7	0,0	0,0	0,0	1,7	3,3	0,0	0,4	100,0	Mn <sub>0,073</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,918</sub> Ti <sub>1,004</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1535	3,3	45,1	0,7	38,7	0,0	1,1	0,0	0,9	3,2	0,6	6,0	100,0	Mn <sub>0,070</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,832</sub> Cr <sub>0,122</sub> Ti <sub>0,873</sub> Si <sub>0,085</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1558	0,0	53,1	0,0	42,9	0,0	0,0	0,0	0,1	3,9	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,111</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,207</sub> Ti <sub>1,341</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1559	0,3	52,2	0,0	43,1	0,0	0,0	0,0	0,3	3,8	0,0	0,0	100,0	Mn <sub>0,109</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>1,224</sub> Ti <sub>1,333</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1577	3,5	51,2	0,0	39,2	0,0	0,0	0,0	2,7	3,1	0,0	0,3	100,0	Mn <sub>0,066</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,714</sub> Ti <sub>0,932</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит
13-299-1	1585	1,3	51,3	0,4	41,6	0,0	0,0	0,0	0,7	3,9	0,0	0,8	100,0	Mn <sub>0,086</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,905</sub> Ti <sub>1,004</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> TiO <sub>3</sub>	ильменит

## Магнетит

№ образца	Элементы/спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
M-08-424a	982	0,5	0,5	98,1	0,4	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>4,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
M-08-424a	1452	5,2	0,2	92,1	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	1,7	100,0	Cu <sub>0,045</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3,489</sub> Si <sub>0,233</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
M-08-424a	1453	2,8	0,4	94,2	0,4	0,0	0,0	0,6	0,7	0,9	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>3,743</sub> Si <sub>0,128</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
M-08-424a	1471	0,3	0,3	99,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>4,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
M-08-424a	1477	0,7	0,4	98,1	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>4,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
M-08-424a	1478	0,0	0,0	99,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>4,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	CuO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
м-08-424а	1491	0,3	0,0	99,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>4,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
м-08-424а	1495	0,5	0,0	99,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>3,971</sub> Si <sub>0,014</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
м-08-424а	1504	0,3	0,0	99,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>3,936</sub> Ti <sub>0,018</sub> Si <sub>0,014</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-299-1	1531	0,0	0,0	99,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>4,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-299-1	1532	0,0	0,0	95,1	0,0	0,0	4,7	0,0	0,5	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>4,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-299-1	1555	0,0	0,0	99,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>4,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-299-1	1556	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>4,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-299-1	1557	0,0	0,0	97,9	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,060</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,881</sub> Ti <sub>0,060</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит

## Рутил

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
м-08-424а	1473	0,0	64,2	0,0	34,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,458</sub> Ti <sub>0,771</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	рутил
м-08-424а	1498	7,0	83,6	3,3	1,6	1,3	0,1	2,0	0,2	0,8	100,0	Ti <sub>0,865</sub> Al <sub>0,053</sub> Si <sub>0,095</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	рутил
м-08-424а	1503	0,5	98,8	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,009</sub> Ti <sub>0,996</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	рутил

## Титанит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	FeO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299	1375	18,8	43,1	1,0	0,0	18,4	0,0	0,0	15,8	1,7	0,0	0,0	0,0	1,1	100,0	Ca <sub>0,604</sub> Mn <sub>0,052</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,553</sub> Cr <sub>0,031</sub> Ti <sub>1,165</sub> Al <sub>0,042</sub> Si <sub>0,675</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
13-299	1376	20,8	40,6	1,4	0,0	13,6	0,4	0,0	19,9	1,2	1,6	0,0	0,0	0,7	100,0	Ca <sub>0,752</sub> Mn <sub>0,033</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,398</sub> Ti <sub>1,078</sub> Al <sub>0,058</sub> Si <sub>0,731</sub> P <sub>0,045</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
13-299	1380	35,3	31,3	2,6	0,5	2,4	0,8	0,1	24,5	0,0	0,0	1,3	0,5	0,6	100,0	Ca <sub>0,881</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,064</sub> Ti <sub>0,781</sub> Al <sub>0,102</sub> Si <sub>1,171</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
13-299	1381	27,4	36,7	2,1	0,6	8,1	0,6	0,0	22,8	0,6	0,0	0,0	0,0	1,0	100,0	Ca <sub>840</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,234</sub> Ti <sub>0,953</sub> Al <sub>0,085</sub> Si <sub>0,946</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
13-299	1444	31,7	37,1	1,6	0,0	0,8	0,5	0,0	27,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	100,0	Ca <sub>0,975</sub> Ti <sub>0,920</sub> Al <sub>0,062</sub> Si <sub>1,045</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
13-299	1445	30,9	38,5	1,6	0,0	0,8	0,2	0,0	28,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>0,986</sub> Ti <sub>0,949</sub> Al <sub>0,062</sub> Si <sub>1,012</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
13-299-1	1518	31,9	37,5	1,3	0,0	2,4	0,0	0,0	26,3	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	100,0	Ca <sub>0,307</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,021</sub> Ti <sub>0,307</sub> Al <sub>0,017</sub> Si <sub>0,348</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
13-299-1	1545	29,0	17,8	8,7	4,4	27,2	1,1	0,2	9,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,9	100,0	Ca <sub>0,346</sub> Mg <sub>0,235</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,819</sub> Ti <sub>0,480</sub> Al <sub>0,368</sub> Si <sub>1,044</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
13-299-1	1590	35,3	34,3	2,1	0,0	0,8	0,8	0,0	25,3	0,0	0,0	0,0	0,4	1,1	100,0	Ca <sub>0,894</sub> Ti <sub>0,841</sub> Al <sub>0,081</sub> Si <sub>1,151</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит

## Апатит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
м-08-424а	989	1,0	0,4	1,5	1,8	0,0	0,0	0,0	52,2	36,5	3,0	0,5	100,0	Ca <sub>10,350</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,279</sub> Cr <sub>0,439</sub> Ti <sub>0,209</sub> P <sub>5,718</sub> O <sub>26</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
м-08-424а	1373	0,7	0,0	0,4	0,3	0,3	0,4	0,1	53,4	40,7	0,9	2,6	100,0	Ca <sub>9,745</sub> Cr <sub>0,121</sub> P <sub>5,869</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,401</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299	1374	1,2	0,5	0,0	0,3	0,0	0,6	0,0	53,8	40,4	0,3	2,9	100,0	Ca <sub>9,707</sub> Si <sub>0,202</sub> P <sub>5,759</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,491</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299	1395	0,6	0,0	0,0	0,6	0,0	1,6	0,0	53,4	40,9	0,5	3,3	100,0	Ca <sub>9,646</sub> P <sub>5,838</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,760</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299	1396	2,1	0,9	0,0	2,0	0,5	0,3	0,0	51,7	39,8	0,0	2,8	100,0	Ca <sub>9,319</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,281</sub> Si <sub>0,370</sub> P <sub>5,668</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,490</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299	1415	2,4	1,7	0,3	2,7	1,3	0,9	0,2	48,9	37,9	0,9	2,3	100,0	Ca <sub>9,293</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,401</sub> P <sub>6,006</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,290</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299	1416	2,7	0,0	0,9	0,4	0,0	0,4	0,0	51,9	39,7	0,5	3,3	100,0	Ca <sub>9,300</sub> Si <sub>0,452</sub> P <sub>5,621</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,745</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299	1432	0,6	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	53,7	41,8	0,6	2,8	100,0	Ca <sub>9,649</sub> P <sub>5,945</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,488</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299	1433	0,5	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	53,9	41,7	0,4	3,0	100,0	Ca <sub>9,645</sub> P <sub>5,907</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,588</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299	1446	0,9	0,0	0,3	0,3	0,0	0,6	0,1	52,2	39,9	1,4	3,9	100,0	Ca <sub>9,420</sub> Cr <sub>0,186</sub> P <sub>5,689</sub> O <sub>24</sub> F <sub>2,077</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
м-08-424а	1455	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	0,3	0,0	53,8	41,1	0,4	2,7	100,0	Ca <sub>9,667</sub> P <sub>5,835</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,432</sub> Cl <sub>0,313</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
м-08-424а	1464	1,1	0,6	0,0	1,0	0,5	0,7	0,0	51,3	40,1	0,4	3,5	100,0	Ca <sub>9,470</sub> P <sub>5,849</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,907</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
М-08-424а	1465	1,7	0,7	0,0	0,8	0,3	0,8	0,0	50,5	40,0	1,0	3,3	100,0	Ca <sub>9,429</sub> P <sub>5,901</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,819</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
М-08-424а	1482	0,5	0,3	0,0	0,4	0,0	0,3	0,0	51,4	41,5	0,9	3,7	100,0	Ca <sub>9,261</sub> P <sub>5,908</sub> O <sub>24</sub> F <sub>1,968</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
М-08-424а	1509	1,1	0,7	0,0	0,6	0,6	0,2	0,0	50,8	40,3	0,6	4,5	100,0	Ca <sub>9,081</sub> Si <sub>0,184</sub> P <sub>5,692</sub> O <sub>24</sub> F <sub>2,322</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299-1	1515	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	54,1	42,2	0,0	3,5	100,0	Ca <sub>9,530</sub> P <sub>5,860</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,820</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299-1	1517	0,6	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	53,4	42,1	0,0	3,5	100,0	Ca <sub>9,465</sub> P <sub>5,882</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,831</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит
13-299-1	1533	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	53,8	42,1	0,4	3,1	100,0	Ca <sub>9,562</sub> P <sub>5,923</sub> O <sub>25</sub> F <sub>1,629</sub>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	апатит

## Хромит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	SO <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299-1	1548	1,4	0,7	82,8	0,8	0,0	13,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,929</sub> Cr <sub>2,357</sub> O <sub>4</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	хромит
13-299-1	1560	10,1	4,8	71,6	4,2	3,3	2,4	0,3	1,7	0,6	0,9	2,0	100,0	Na <sub>0,148</sub> Ca <sub>0,054</sub> Mg <sub>0,156</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,111</sub> Cr <sub>1,796</sub> Al <sub>0,179</sub> Si <sub>0,320</sub> O <sub>4</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	хромит
13-299-1	1570	19,2	5,9	60,0	0,7	0,8	11,5	0,5	0,3	0,0	0,0	0,9	100,0	Na <sub>0,680</sub> Cr <sub>1,447</sub> Al <sub>0,216</sub> Si <sub>0,583</sub> O <sub>4</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	хромит
13-299-1	1591	7,5	2,3	75,3	0,8	0,0	13,1	0,1	0,7	0,0	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,845</sub> Cr <sub>1,965</sub> Al <sub>0,089</sub> Si <sub>0,248</sub> O <sub>4</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	хромит
13-299-1	1592	10,2	3,9	80,7	1,2	0,7	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	100,0	Na <sub>0,148</sub> Cr <sub>2,034</sub> Al <sub>0,150</sub> Si <sub>0,325</sub> O <sub>4</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	хромит

## Алланит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ag	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Ir	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299-1	1541	35,8	20,2	14,4	14,0	0,5	0,0	3,5	7,4	0,9	2,5	0,8	0,0	100,0	Ca <sub>1,61</sub> La <sub>0,09</sub> Ce <sub>0,19</sub> Nd <sub>0,05</sub> Al <sub>1,77</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,87</sub> Si <sub>2,66</sub> Al <sub>0,02</sub> O <sub>4</sub> (SiO <sub>7</sub> )O(OH)	(TR,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O[O,OH]	алланит
13-299-1	1542	36,0	20,7	15,8	13,2	0,0	0,0	3,5	7,4	0,9	2,5	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,29</sub> La <sub>0,09</sub> Ce <sub>0,19</sub> Nd <sub>0,05</sub> Al <sub>1,85</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,89</sub> Si <sub>2,74</sub> Al <sub>0,02</sub> O <sub>4</sub> (SiO <sub>7</sub> )O(OH)	(TR,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O[O,OH]	алланит
13-299-1	1543	37,8	22,5	17,0	14,1	0,0	0,0	1,5	3,7	0,0	1,8	0,0	1,4	100,0	Ca <sub>1,79</sub> La <sub>0,04</sub> Ce <sub>0,09</sub> Nd <sub>0,03</sub> Al <sub>1,86</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,83</sub> Si <sub>2,66</sub> Al <sub>0,02</sub> O <sub>4</sub> (SiO <sub>7</sub> )O(OH)	(TR,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O[O,OH]	алланит
13-299-1	1544	36,6	20,5	16,6	13,8	0,0	0,0	3,5	7,0	0,0	2,1	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,33</sub> La <sub>0,09</sub> Ce <sub>0,22</sub> Nd <sub>0,04</sub> Al <sub>1,81</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,86</sub> Si <sub>2,74</sub> Al <sub>0,02</sub> O <sub>4</sub> (SiO <sub>7</sub> )O(OH)	(TR,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O[O,OH]	алланит
13-299-1	1546	36,3	20,4	15,4	14,4	0,0	0,3	3,3	7,1	0,0	2,8	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,26</sub> La <sub>0,09</sub> Ce <sub>0,189</sub> Nd <sub>0,05</sub> Al <sub>1,83</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,919</sub> Si <sub>2,77</sub> Al <sub>0,02</sub> O <sub>4</sub> (SiO <sub>7</sub> )O(OH)	(TR,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O[O,OH]	алланит
13-299-1	1547	36,3	20,3	16,0	13,8	0,0	0,0	3,2	7,3	0,0	3,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,30</sub> La <sub>0,08</sub> Ce <sub>0,19</sub> Nd <sub>0,06</sub> Al <sub>1,82</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,88</sub> Si <sub>2,77</sub> Al <sub>0,02</sub> O <sub>4</sub> (SiO <sub>7</sub> )O(OH)	(TR,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O[O,OH]	алланит
13-299-1	1549	36,5	20,3	15,4	14,4	0,0	0,0	3,6	7,2	0,0	2,6	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,25</sub> La <sub>0,1</sub> Ce <sub>0,19</sub> Nd <sub>0,05</sub> Al <sub>1,82</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,91</sub> Si <sub>2,77</sub> Al <sub>0,02</sub> O <sub>4</sub> (SiO <sub>7</sub> )O(OH)	(TR,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O[O,OH]	алланит
13-299-1	1550	39,4	24,9	22,7	12,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>2,19</sub> Ce <sub>0,01</sub> Al <sub>2,1</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,72</sub> Si <sub>2,46</sub> Al <sub>0,02</sub> O <sub>4</sub> (SiO <sub>7</sub> )O(OH)	(TR,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O[O,OH]	алланит	

## Халькопирит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	K <sub>2</sub> O	CuO	SO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299	1409	2,8	1,0	0,0	25,4	0,0	27,4	43,5	0,0	100,0	Cu <sub>0,157</sub> Fe <sub>0,132</sub> S <sub>0,236</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	халькопирит
13-299	1428	0,9	0,5	0,2	23,0	0,1	23,3	49,8	2,0	100,0	Cu <sub>0,118</sub> Fe <sub>0,128</sub> S <sub>0,250</sub>	CuFeS <sub>2</sub>	халькопирит

*Планшеит*

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	K <sub>2</sub> O	CuO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299-1	1599	47,0	0,3	1,2	0,3	45,3	3,2	100,0	Cu <sub>7,8</sub> Cr <sub>0,42</sub> Si <sub>7,8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>4</sub> ×(H <sub>2</sub> O)	Cu <sub>8</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>4</sub> ×(H <sub>2</sub> O)	планшеит

*Галенит*

№ образца	Элементы/ спектры	PbO	SO <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299-1	1607	90,5	10,5	100,0	Pb <sub>0,76</sub> S <sub>0,24</sub>	PbS	галенит

*Аурипигмент*

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-299	1441	8,3	0,6	0,4	0,8	0,2	0,2	44,6	43,9	0,8	100,0	As <sub>0,148</sub> S <sub>0,210</sub>	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	аурипигмент

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4.** Химический состав и кристаллохимические формулы минералов из микрограносиенитов поньинского комплекса (μνδР-Трп)

*Плагиоклазы*

№ образца	Элементы/ Спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	Сумма	Компонентный состав, % моль			Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
											Ab	An	Or			
14-275	1101	68,7	19,8	0,0	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,972</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,017</sub> Si <sub>2,994</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1102	67,8	19,5	0,0	10,7	0,1	0,0	1,8	0,0	100,0	99,4	0,0	0,6	[Na <sub>0,920</sub> ] <sub>0,9</sub> (Al <sub>1,019</sub> Si <sub>3,006</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1106	68,1	19,9	0,0	11,7	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0	87,7	11,8	0,5	[Na <sub>0,993</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,027</sub> Si <sub>2,981</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1107	68,1	20,1	0,0	11,5	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,966</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,036</sub> Si <sub>2,982</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1115	68,1	19,9	0,0	11,7	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,993</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,027</sub> Si <sub>2,981</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1123	68,4	19,9	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,991</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,019</sub> Si <sub>2,988</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1124	68,5	19,9	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,989</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,022</sub> Si <sub>2,986</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1125	68,6	19,9	0,0	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>1,001</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,053</sub> Si <sub>2,946</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1130	68,7	19,8	0,0	11,2	0,0	0,0	0,4	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,940</sub> ] <sub>0,9</sub> (Al <sub>1,019</sub> Si <sub>3,001</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1131	69,0	19,5	0,0	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,971</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,001</sub> Si <sub>3,006</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1132	68,3	20,2	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,990</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,029</sub> Si <sub>2,981</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1145	68,5	20,0	0,0	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,972</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,028</sub> Si <sub>2,986</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1146	68,3	19,4	0,0	11,6	0,0	0,6	0,0	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,988</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,004</sub> Si <sub>3,000</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1151	65,8	19,5	0,2	13,4	0,5	0,0	0,6	0,0	100,0	96,8	0,8	2,4	[Na <sub>1,143</sub> ] <sub>1,1</sub> (Al <sub>1,006</sub> Si <sub>2,851</sub> ) <sub>3,9</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1158	67,6	19,4	0,0	10,3	0,2	0,0	1,6	0,5	100,0	96,7	2,1	1,2	[Na <sub>0,891</sub> ] <sub>0,9</sub> (Al <sub>1,020</sub> Si <sub>3,012</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит
14-275	1166	68,4	19,8	0,0	11,5	0,0	0,0	0,3	0,0	100,0	100,0	0,0	0,0	[Na <sub>0,975</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,020</sub> Si <sub>2,991</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	альбит

*Полевые шпаты*

№ образца	Элементы/ Спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	FeO	BaO	Сумма	Компонентный состав, % моль			Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
									Ab	An	Or			
14-275	100	64,1	18,8	16,3	0,2	0,6	0,0	100,0	2,2	0,0	97,8	[Na <sub>0,022</sub> K <sub>0,963</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,026</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,023</sub> Si <sub>2,967</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
14-275	120	63,5	19,2	15,8	0,0	0,0	1,5	100,0	0,0	0,0	100,0	[K <sub>0,940</sub> Ba <sub>0,027</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,055</sub> Si <sub>2,960</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
14-275	147	64,5	18,7	16,4	0,4	0,0	0,0	100,0	3,6	0,0	96,4	[Na <sub>0,036</sub> K <sub>0,966</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,018</sub> Si <sub>2,980</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз

*Слюды*

№ образца	Элементы/ Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	CuO	ZnO	UO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Компонентный состав, % моль				Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
																Ann	Sd	Eas t	Phl			
14-275	1095	52,6	0,0	23,6	6,9	4,0	0,6	12,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	50,8	49,2	0,0	{K <sub>1,040</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,383</sub> Mg <sub>0,395</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,310</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,474</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,526</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
14-275	1096	51,6	0,0	26,6	7,1	2,7	0,3	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	100,0	0,0	59,6	40,4	0,0	{K <sub>0,939</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,390</sub> Mg <sub>0,265</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,453</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,392</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,608</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
14-275	1097	51,0	0,0	24,8	8,3	3,6	0,0	12,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	57,0	43,0	0,0	{K <sub>1,024</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,460</sub> Mg <sub>0,356</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,321</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,382</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,618</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
14-275	1098	51,0	0,0	24,5	8,3	3,9	0,0	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	100,0	0,0	54,4	45,6	0,0	{K <sub>1,016</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,461</sub> Mg <sub>0,386</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,302</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,385</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,615</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
14-275	1108	51,3	0,0	26,1	8,7	1,8	0,0	11,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	73,5	26,5	0,0	{K <sub>1,005</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,476</sub> Mg <sub>0,178</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,431</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,395</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,605</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
14-275	1109	51,4	0,2	24,4	8,4	2,9	0,0	11,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	0,0	100,0	0,0	62,5	37,5	0,0	{K <sub>1,013</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,469</sub> Mg <sub>0,288</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,348</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,429</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,571</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
14-275	1110	52,0	0,2	22,4	10,5	2,7	0,0	11,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	69,2	30,8	0,0	{K <sub>0,969</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,590</sub> Mg <sub>0,271</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,271</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,496</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,504</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,000</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al,Mg) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит



Кристаллохимическая пересчет и его параметры																			
№ образца	Элементы/Спектры	Si	Al <sup>IV</sup>	ΣT	Al <sup>VI</sup>	Ti	Fe <sup>2+</sup>	Mg	Mn	Cr	ΣM	Na	K	Ca	ΣI	OH	ΣA		
14-275	1138	3,5	0,5	4,0	1,4	0,0	0,3	0,4	0,0	0,0	2,1	0,0	0,9	0,0	0,9	2,0	2,0		
14-275	1139	3,4	0,6	4,0	1,3	0,0	0,4	0,3	0,0	0,02	2,0	0,04	1,0	0,0	1,04	2,0	2,0		
14-275	1140	3,3	0,7	4,0	1,3	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	2,2	0,0	0,9	0,0	0,9	2,0	2,0		
14-275	1141	3,4	0,6	4,0	1,3	0,0	0,4	0,3	0,0	0,05	2,1	0,1	0,9	0,0	1,0	2,0	2,0		
14-275	1152	3,4	0,6	4,0	1,3	0,0	0,5	0,3	0,0	0,05	2,1	0,06	0,9	0,0	0,96	2,0	2,0		
14-275	1153	3,4	0,6	4,0	1,3	0,0	0,5	0,2	0,0	0,1	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
14-275	1154	3,5	0,5	4,0	1,2	0,0	0,6	0,2	0,0	0,04	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
14-275	1159	3,6	0,4	4,0	1,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,5	1,4	0,6	0,2	0,1	0,9	2,0	2,0		
14-275	1160	3,5	0,5	4,0	1,2	0,0	0,6	0,2	0,0	0,04	2,0	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
14-275	1161	3,2	0,8	4,0	1,1	0,0	1,0	0,3	0,0	0,01	2,4	0,0	0,7	0,0	0,7	2,0	2,0		
14-275	1164	2,2	1,8	4,0	0,2	0,0	1,7	1,6	0,2	0,0	3,5	0,0	0,0	0,08	0,1	2,0	2,0		
14-275	1165	3,4	0,6	4,0	1,3	0,04	0,6	0,2	0,0	0,0	2,1	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		

## Пумпеллит

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	PbO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
14-275	1099	39,5	0,0	22,9	13,9	21,5	0,0	0,4	0,5	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,045</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,527</sub> Al <sub>1,230</sub> Si <sub>1,79</sub> <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
14-275	1121	37,1	0,0	21,9	13,2	21,8	0,0	0,4	0,0	0,0	0,6	0,7	0,0	0,7	0,0	0,0	2,6	0,9	100,0	Ca <sub>1,110</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,525</sub> Al <sub>1,226</sub> Si <sub>1,76</sub> <sub>3</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
14-275	1128	34,1	0,0	20,2	13,8	22,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	8,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,134</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,540</sub> Cr <sub>0,307</sub> Al <sub>1,1</sub> <sub>15</sub> Si <sub>1,597</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
14-275	1129	38,8	0,0	24,1	13,3	21,9	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,061</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,503</sub> Al <sub>1,284</sub> Si <sub>1,75</sub> <sub>5</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
14-275	1142	39,8	0,0	20,5	16,5	22,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,102</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,628</sub> Al <sub>1,099</sub> Si <sub>1,81</sub> <sub>1</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
14-275	1143	38,3	1,1	21,4	14,4	22,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,6	0,0	0,8	0,0	0,2	0,5	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,098</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,565</sub> Al <sub>1,174</sub> Si <sub>1,78</sub> <sub>8</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
14-275	1162	39,3	0,0	23,1	12,9	21,2	0,0	1,1	0,3	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>1,1040</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,494</sub> Al <sub>1,246</sub> Si <sub>1,7</sub> <sub>99</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит
14-275	1163	38,0	0,0	22,2	12,2	19,6	0,3	0,3	0,9	0,3	0,0	5,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Ca <sub>0,963</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,460</sub> Cr <sub>0,196</sub> Al <sub>1,2</sub> <sub>00</sub> Si <sub>1,742</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	пумпеллит

## Стильномелан

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	MnO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	ZnO	PbO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
14-275	1100	37,0	21,5	10,0	4,3	19,0	0,8	0,3	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	K <sub>0,226</sub> Ca <sub>0,949</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,168</sub> Ti <sub>0,754</sub> Al <sub>1,230</sub> Si <sub>1,792</sub> (OH) <sub>2</sub> ×H <sub>2</sub> O	(K,Ca,Na)(Fe,Mg,Al) <sub>8</sub> (Si,Al) <sub>12</sub> (O,OH) <sub>36</sub> ×nH <sub>2</sub> O	стильномелан
14-275	1122	43,8	0,0	11,6	35,1	0,7	2,6	0,0	0,9	1,0	0,7	0,5	0,9	2,2	100,0	K <sub>0,194</sub> Mg <sub>0,656</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>4,964</sub> Al <sub>2,312</sub> Si <sub>7,407</sub> O <sub>24</sub> (OH) <sub>3</sub> ×(H <sub>2</sub> O)	(K,Ca,Na)(Fe,Mg,Al) <sub>8</sub> (Si,Al) <sub>12</sub> (O,OH) <sub>36</sub> ×nH <sub>2</sub> O	стильномелан

## Магнетит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	CuO	CoO	Ag <sub>2</sub> O	PbO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
14-275	1092	2,1	0,4	88,6	0,0	0,5	1,6	0,4	0,4	0,0	8,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,105</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,866</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,712</sub> Cr <sub>0,242</sub> Si <sub>0,076</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1093	1,6	0,0	96,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,050</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,860</sub> Cr <sub>0,040</sub> Si <sub>0,050</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1094	0,7	0,0	99,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,000</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,000</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1103	1,5	0,4	97,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,000</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,000</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1104	3,1	0,5	92,8	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,112</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,680</sub> Cr <sub>0,097</sub> Si <sub>0,112</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1116	3,6	0,0	93,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	1,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,199</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,637</sub> Si <sub>0,131</sub> P <sub>0,043</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1117	1,7	1,0	93,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2	0,6	0,4	0,0	0,5	0,7	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,000</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,000</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1134	21,1	0,2	78,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,736</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,527</sub> Si <sub>0,736</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1135	1,5	0,4	97,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,054</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,892</sub> Si <sub>0,054</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1136	0,6	0,8	93,2	0,0	0,3	3,6	0,0	0,0	0,0	1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,240</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,519</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,240</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1147	0,6	0,3	97,8	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,000</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,000</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1148	3,3	1,8	76,5	0,0	0,4	9,4	2,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	100,0	Na <sub>0,621</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,266</sub> Si <sub>0,112</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1149	1,0	0,0	95,4	0,0	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Na <sub>0,090</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,820</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,034</sub> Cr <sub>0,057</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1155	0,8	0,0	96,8	1,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,027</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,919</sub> Cr <sub>0,028</sub> Ti <sub>0,027</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
14-275	1156	0,4	0,4	98,5	0,7	0,3	3,6	0,0	0,0	0,0	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,000</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,000</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит

## Титанит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Na <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
14-275	1105	31,0	31,0	4,0	3,0	0,6	27,3	0,0	1,3	0,4	100,0	Ca <sub>0,993</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,085</sub> Ti <sub>0,792</sub> Al <sub>0,160</sub> Si <sub>1,049</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
14-275	1120	30,0	32,7	3,5	2,5	0,0	28,4	0,2	1,1	0,0	100,0	Ca <sub>1,044</sub> Ti <sub>0,842</sub> Al <sub>0,142</sub> Si <sub>1,030</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит

## Циркон

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HfO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
14-275	1126	32,1	66,4	0,0	0,0	1,5	100,0	Zr <sub>0,997</sub> Si <sub>0,989</sub> Hf <sub>0,013</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон
14-275	1127	31,6	63,3	0,3	3,4	1,4	100,0	Zr <sub>0,951</sub> Si <sub>0,997</sub> Cr <sub>0,082</sub> Hf <sub>0,012</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон

## Алланит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	MnO	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
14-275	1112	37,0	18,9	16,2	16,0	1,9	2,5	4,9	1,4	1,1	0,1	100,0	Ca <sub>0,503</sub> Ce <sub>0,15</sub> La <sub>0,01</sub> Nd <sub>0,0001</sub> Pm <sub>0,0001</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,388</sub> Al <sub>0,642</sub> Si <sub>1,073</sub> O <sub>4</sub> (OH)	(TR,Ca) <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ][SiO <sub>4</sub> ]O[O,OH]	алланит

## Торит

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ThO <sub>2</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
14-275	1118	11,9	1,8	0,7	0,6	0,4	6,7	78,0	100,0	Th <sub>0,931</sub> Al <sub>0,111</sub> P <sub>0,292</sub> Si <sub>0,619</sub> O <sub>4</sub>	ThSiO <sub>4</sub>	торит
14-275	1119	9,3	3,2	0,0	0,9	0,0	0,0	77,4	100,0	Th <sub>0,902</sub> Al <sub>0,192</sub> P <sub>0,381</sub> Si <sub>0,476</sub> O <sub>4</sub>	ThSiO <sub>4</sub>	торит

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5.** Химический состав и кристаллохимические формулы минералов из риолитов туялханынского комплекса (тлР-Тth)

*Полевые шпаты*

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	FeO	BaO	Sr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Компонентный состав, % моль			Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
										Ab	An	Or			
13-1070	100	64,1	18,8	16,3	0,2	0,6	0,0	0,0	100,0	2,2	0,0	97,8	[Na <sub>0,022</sub> K <sub>0,963</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,026</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,023</sub> Si <sub>2,967</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1070	104	64,6	18,6	16,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	[K <sub>0,992</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,01</sub> Si <sub>2,99</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1070	108	63,7	18,6	16,3	0,4	0,5	0,4	0,0	100,0	3,9	0,0	96,1	[Na <sub>0,03</sub> K <sub>0,96</sub> Ba <sub>0,007</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,02</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,01</sub> Si <sub>2,96</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1070	110	67,6	16,9	14,1	0,3	0,0	1,1	0,0	100,0	2,9	0,0	97,1	[Na <sub>0,025</sub> K <sub>0,82</sub> Ba <sub>0,02</sub> ] <sub>0,9</sub> (Al <sub>0,90</sub> Si <sub>3,097</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1070	113	64,4	18,8	16,1	0,6	0,0	0,0	0,0	100,0	5,5	0,0	94,5	[Na <sub>0,05</sub> K <sub>0,94</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,02</sub> Si <sub>2,97</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
12-617	1628	61,6	17,8	15,6	0,2	0,0	0,4	0,0	100,0	2,2	0,0	97,8	[Na <sub>0,02</sub> K <sub>0,96</sub> Ba <sub>0,008</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,01</sub> Si <sub>2,98</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
12-617	1629	64,0	18,7	16,7	0,2	0,0	0,4	0,0	100,0	2,0	0,0	98,0	[Na <sub>0,02</sub> K <sub>0,98</sub> Ba <sub>0,006</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,02</sub> Si <sub>2,96</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
12-617	1631	59,3	16,7	14,7	0,0	0,0	0,5	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	[K <sub>0,95</sub> Ba <sub>0,01</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>0,99</sub> Si <sub>3,0</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
12-617	1637	63,6	18,9	16,1	0,0	0,8	0,5	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	[K <sub>0,95</sub> Ba <sub>0,009</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,03</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,03</sub> Si <sub>2,96</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
12-617	1639	63,7	18,4	16,7	0,3	0,0	0,4	0,5	100,0	2,7	0,0	97,3	[Na <sub>0,027</sub> K <sub>0,99</sub> Ba <sub>0,007</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,01</sub> Si <sub>2,96</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1240	1711	64,6	18,8	16,4	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0	2,7	0,0	97,3	[Na <sub>0,02</sub> K <sub>0,96</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,02</sub> Si <sub>2,98</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1240	1724	64,5	18,7	16,5	0,4	0,0	0,0	0,0	100,0	3,2	0,0	96,8	[Na <sub>0,03</sub> K <sub>0,97</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,01</sub> Si <sub>2,98</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1240	1728	64,5	18,6	16,6	0,4	0,0	0,0	0,0	100,0	3,6	0,0	96,4	[Na <sub>0,03</sub> K <sub>0,97</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,01</sub> Si <sub>2,97</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1240	1745	64,1	18,7	16,3	0,5	0,0	0,0	0,5	100,0	3,6	0,0	96,4	[Na <sub>0,03</sub> K <sub>0,96</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,02</sub> Si <sub>2,97</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1240	1747	64,2	18,8	16,6	0,4	0,0	0,0	0,0	100,0	3,6	0,0	96,4	[Na <sub>0,03</sub> K <sub>0,97</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,02</sub> Si <sub>2,96</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1244	1781	64,1	18,7	16,9	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0	2,6	0,0	97,4	[Na <sub>0,02</sub> K <sub>0,99</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,01</sub> Si <sub>2,96</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1244	1796	64,4	18,7	16,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0	[K <sub>0,99</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,02</sub> Si <sub>2,98</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз
13-1244	1803	64,4	18,6	16,6	0,3	0,0	0,0	0,0	100,0	2,7	0,0	93,7	[Na <sub>0,02</sub> K <sub>0,98</sub> ] <sub>1,0</sub> (Al <sub>1,01</sub> Si <sub>2,97</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>8</sub>	K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ортоклаз

*Амфиболы*

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-1070	99	54,6	0,9	34,9	2,2	7,3	0,2	0,0	100,0	{Na <sub>0,07</sub> K <sub>0,02</sub> } <sub>0,1</sub> [Na <sub>2,00</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,15</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,89</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,37</sub> Mg <sub>0,46</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,01</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит
13-1070	107	54,9	0,9	35,3	1,8	7,0	0,2	0,0	100,0	{K <sub>0,02</sub> } <sub>0,0</sub> [Na <sub>1,98</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,15</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,93</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,39</sub> Mg <sub>0,38</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,04</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит
13-1070	117	54,6	0,9	34,9	1,2	7,0	0,2	1,1	100,0	{K <sub>0,04</sub> } <sub>0,0</sub> [Na <sub>1,99</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,15</sub> Sc <sub>0,14</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,79</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,49</sub> Mg <sub>0,26</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,03</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит
13-1070	126	54,4	0,9	35,5	1,4	7,0	0,1	0,8	100,0	{Na <sub>0,002</sub> K <sub>0,02</sub> } <sub>0,0</sub> [Na <sub>2,00</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,15</sub> Sc <sub>0,09</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,79</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,58</sub> Mg <sub>0,30</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,01</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит
13-1070	134	54,5	1,0	36,3	1,5	6,8	0,0	0,0	100,0	{ }[Na <sub>1,94</sub> ] <sub>1,9</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,15</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,85</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,62</sub> Mg <sub>0,30</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,03</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит
13-1070	139	55,1	0,8	34,4	1,5	7,1	0,2	1,0	100,0	{Na <sub>0,01</sub> K <sub>0,04</sub> } <sub>0,1</sub> [Na <sub>2,00</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,13</sub> Sc <sub>0,12</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,88</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3,2</sub> Mg <sub>0,32</sub> ) <sub>4,8</sub> (Si <sub>8,05</sub> ) <sub>8,1</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит
13-1070	140	54,9	0,8	35,7	1,6	7,0	0,0	0,0	100,0	{ }[Na <sub>1,99</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,13</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,93</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,44</sub> Mg <sub>0,35</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,05</sub> ) <sub>8,1</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-1070	141	54,5	0,9	36,2	1,4	6,9	0,1	0,0	100,0	{K <sub>0,02</sub> } <sub>0,0</sub> [Na <sub>1,97</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,15</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,88</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,57</sub> Mg <sub>0,30</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,02</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит
13-1070	142	55,1	1,2	34,4	2,4	7,0	0,0	0,0	100,0	{[Na <sub>1,97</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,20</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,83</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,36</sub> Mg <sub>0,52</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,03</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит
13-1070	146	54,5	0,6	36,1	1,4	6,6	0,2	0,6	100,0	{K <sub>0,03</sub> } <sub>0,0</sub> [Na <sub>1,89</sub> ] <sub>1,9</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,10</sub> Sc <sub>0,07</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,82</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,61</sub> Mg <sub>0,30</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,04</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит
13-1070	156	54,6	0,9	35,8	1,5	7,1	0,3	0,0	100,0	{Na <sub>0,02</sub> K <sub>0,05</sub> } <sub>0,1</sub> [Na <sub>2,00</sub> ] <sub>2,0</sub> (Al <sup>VI</sup> <sub>0,13</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,95</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,43</sub> Mg <sub>0,32</sub> ) <sub>4,9</sub> (Si <sub>8,02</sub> ) <sub>8,0</sub> O <sub>22</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	Na <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> [Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ](OH) <sub>2</sub>	рибекит

## Кристаллохимическая пересчет и его параметры

№ образца	Элементы/Спектры	Si	Al <sup>IV</sup>	ΣT	Al <sup>VI</sup>	Sc	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mg	ΣC	Na	ΣB	K	Na	ΣA
13-1070	99	8,0	0,0	8,0	0,2	0,0	1,9	2,4	0,5	5,0	2,0	2,0	0,02	0,07	0,09
13-1070	107	8,0	0,0	8,0	0,2	0,0	1,9	2,4	0,4	4,9	1,9	1,9	0,02	0,0	0,02
13-1070	117	8,0	0,0	8,0	0,2	0,1	1,8	2,5	0,2	4,8	2,0	2,0	0,04	0,04	1,9
13-1070	126	8,0	0,0	8,0	0,1	0,1	1,8	2,6	0,3	4,9	2,0	2,0	0,01	0,001	0,011
13-1070	134	8,0	0,0	8,0	0,2	0,0	1,8	2,6	0,3	4,9	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0
13-1070	139	8,0	0,0	8,0	0,1	0,1	1,9	2,4	0,3	4,8	1,9	1,9	0,03	0,0	0,03
13-1070	140	8,0	0,0	8,0	0,1	0,0	1,9	2,4	0,4	4,8	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0
13-1070	141	8,0	0,0	8,0	0,2	0,0	1,8	2,4	0,5	4,9	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0
13-1070	142	8,0	0,0	8,0	0,2	0,0	1,8	2,4	0,5	4,9	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0
13-1070	146	8,0	0,0	8,0	0,1	0,1	1,8	2,6	0,3	4,9	1,9	1,9	0,04	0,0	0,04
13-1070	156	8,0	0,0	8,0	0,2	0,0	1,9	2,5	0,3	4,9	2,0	2,0	0,05	0,02	0,07

## Слюды

№ образца	Элементы/Спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	Сумма	Компонентный состав, % моль				Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
													Ann	Sd	East	Phl			
13-1070	118	40,4	4,2	11,8	28,5	5,8	0,0	9,2	0,0	0,0	0,0	100,0	22,4	11,6	4,2	61,8	{K <sub>0,88</sub> } <sub>0,9</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,79</sub> Mg <sub>0,65</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,08</sub> Ti <sub>0,23</sub> ] <sub>2,8</sub> (Si <sub>3,0</sub> <sub>3</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,96</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH, F) <sub>2</sub>	аннит
13-1070	119	40,1	4,8	12,0	29,2	5,0	0,0	8,2	0,0	0,0	0,8	100,0	19,3	12,6	3,7	64,4	{K <sub>0,79</sub> Ba <sub>0,02</sub> } <sub>0,8</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,84</sub> Mg <sub>0,55</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,08</sub> Ti <sub>0,27</sub> ] <sub>2,8</sub> (Si <sub>3,02</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,97</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH, F) <sub>2</sub>	аннит
13-1070	133	39,7	4,5	11,7	28,4	6,0	0,4	9,4	0,0	0,0	0,0	100,0	25,5	4,8	1,8	67,9	{Na <sub>0,06</sub> K <sub>0,90</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,79</sub> Mg <sub>0,67</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,03</sub> Ti <sub>0,253</sub> ] <sub>2,8</sub> (Si <sub>2,99</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>1,00</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH, F) <sub>2</sub>	аннит
13-1070	149	42,4	4,5	12,3	28,7	4,1	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	100,0	12	32,6	8,3	47,1	{K <sub>0,74</sub> } <sub>0,7</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>1,78</sub> Mg <sub>0,45</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>0,22</sub> Ti <sub>0,24</sub> ] <sub>2,7</sub> (Si <sub>3,1</sub> <sub>4</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,85</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	KFe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> [AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ](OH, F) <sub>2</sub>	аннит
12-617	1640	50,6	0,4	22,1	15,4	0,0	0,0	11,4	0,2	0,0	0,0	100,0	0,0	100	0,0	0,0	{K <sub>0,99</sub> } <sub>1,0</sub> [Al <sup>VI</sup> <sub>1,25</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,88</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,47</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,53</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al, Mg) <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
12-617	1641	47,3	0,9	19,2	18,8	0,4	0,0	12,6	0,3	0,6	0,0	100,0	0,0	96,2	3,8	0,0	{K <sub>1,15</sub> } <sub>1,2</sub> [Al <sup>VI</sup> <sub>1,00</sub> Ti <sub>0,04</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,12</sub> ] <sub>2,2</sub> (Si <sub>3,38</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,61</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al, Mg) <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
13-1244	1791	51,4	0,2	19,8	11,1	3,2	0,4	11,2	0,0	1,9	0,7	100,0	0,0	65,8	34,1	0,0	{K <sub>0,97</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,63</sub> Mg <sub>0,32</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,09</sub> Cr <sub>0,10</sub> ] <sub>2,2</sub> (Si <sub>3,5</sub> <sub>0</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,49</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al, Mg) <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
13-1244	1792	51,9	0,4	20,4	12,1	2,9	0,0	12,1	0,2	0,0	0,0	100,0	0,0	70,1	29,9	0,0	{K <sub>1,04</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,68</sub> Mg <sub>0,29</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,15</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,52</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,47</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al, Mg) <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит
13-1244	1793	50,6	0,5	22,9	11,9	2,2	0,0	11,9	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	76,1	23,9	0,0	{K <sub>1,02</sub> } <sub>1,0</sub> [Fe <sup>2+</sup> <sub>0,67</sub> Mg <sub>0,22</sub> Al <sup>VI</sup> <sub>1,25</sub> ] <sub>2,1</sub> (Si <sub>3,42</sub> Al <sup>IV</sup> <sub>0,57</sub> ) <sub>4,0</sub> O <sub>10</sub> (OH <sub>2,0</sub> ) <sub>2,0</sub>	K(Al, Mg) <sub>2</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	фенгит

Кристаллохимическая пересчет и его параметры																			
№ образца	Элементы/Спектры	Si	Al <sup>IV</sup>	ΣT	Al <sup>VI</sup>	Ti	Fe <sup>2+</sup>	Mg	Mn	Cr	ΣM	Na	K	Ba	ΣI	OH	ΣA		
13-1070	118	3,0	1,0	4,0	0,1	0,2	1,8	0,6	0,0	0,0	2,7	0,0	0,8	0,0	0,8	2,0	2,0		
13-1070	119	3,0	1,0	4,0	0,1	0,3	1,8	0,5	0,0	0,0	2,7	0,0	0,8	0,02	0,82	2,0	2,0		
13-1070	133	3,1	0,9	4,0	0,2	0,2	1,8	0,4	0,0	0,0	2,6	0,0	0,7	0,0	0,7	2,0	2,0		
13-1070	149	3,5	0,5	4,0	1,2	0,02	0,9	0,0	0,01	0,0	2,1	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
12-617	1640	3,5	0,5	4,0	1,0	0,02	1,1	0,04	0,01	0,03	2,2	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
12-617	1641	3,4	0,6	4,0	1,0	0,02	1,1	0,04	0,01	0,03	2,2	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-1244	1791	3,5	0,5	4,0	1,1	0,01	0,6	0,3	0,0	0,1	2,0	0,04	0,9	0,02	0,96	2,0	2,0		
13-1244	1792	3,5	0,5	4,0	1,1	0,02	0,7	0,3	0,01	0,0	2,1	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-1244	1793	3,4	0,6	4,0	1,2	0,03	0,7	0,2	0,0	0,0	2,1	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-1244	1794	3,4	0,6	4,0	1,2	0,03	0,7	0,2	0,0	0,0	2,1	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-1244	1795	3,4	0,6	4,0	1,2	0,02	0,6	0,2	0,0	0,0	2,0	0,0	1,0	0,01	1,01	2,0	2,0		
13-1244	1802	3,3	0,7	4,0	1,1	0,02	0,7	0,2	0,0	0,2	2,2	0,0	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0		
13-1244	1804	3,4	0,6	4,0	1,2	0,03	0,6	0,2	0,0	0,06	2,06	0,04	0,97	0,0	1,01	2,0	2,0		

## Магнетит

№ образца	Элементы/спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-1070	102	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,00</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1070	109	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,00</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1070	111	1,0	0,0	99,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,03</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>1,92</sub> Si <sub>0,03</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1070	154	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,00</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
12-617	1688	0,5	0,0	99,3	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,00</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
12-617	1689	0,3	0,0	99,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>1,00</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2,00</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
12-617	1705	0,7	0,0	95,7	3,1	0,3	0,2	0,0	100,0	K <sub>0,01</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3,69</sub> Cr <sub>0,008</sub> Ti <sub>0,10</sub> Si <sub>0,03</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
12-617	1714	1,3	0,0	95,0	3,4	0,3	0,0	0,0	100,0	K <sub>0,01</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3,64</sub> Ti <sub>0,11</sub> Si <sub>0,06</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1240	1743	1,4	0,0	96,9	1,6	0,2	0,0	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>3,75</sub> Ti <sub>0,05</sub> Si <sub>0,06</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1240	1744	2,2	0,6	92,4	2,7	0,0	2,1	0,0	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>3,49</sub> Cr <sub>0,07</sub> Ti <sub>0,09</sub> Si <sub>0,10</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1240	1763	0,8	0,0	95,1	3,8	0,2	0,2	0,0	100,0	K <sub>0,01</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3,64</sub> Cr <sub>0,007</sub> Ti <sub>0,13</sub> Si <sub>0,03</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1244	1761	0,9	0,3	98,1	0,0	0,3	0,5	0,0	100,0	K <sub>0,01</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3,85</sub> Cr <sub>0,02</sub> Al <sub>0,02</sub> Si <sub>0,04</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1244	1763	0,6	0,0	99,0	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0	K <sub>0,02</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3,93</sub> Si <sub>0,03</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1244	1776	0,7	0,0	99,0	0,0	0,3	0,0	0,0	100,0	K <sub>0,02</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3,92</sub> Si <sub>0,03</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1244	177	9,8	2,8	85,6	0,0	1,6	0,3	0,0	100,0	K <sub>0,08</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>2,94</sub> Al <sub>0,13</sub> Si <sub>0,40</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит
13-1244	1789	0,5	0,0	98,8	0,0	0,2	0,0	0,6	100,0	K <sub>0,01</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>3,94</sub> Si <sub>0,02</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> O <sub>4</sub>	магнетит

## Ильменит

№ образца	Элементы/спектры	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-1070	132	54,4	41,1	2,6	1,9	100,0	Mn <sub>0,05</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,84</sub> Ti <sub>1,00</sub> Nb <sub>0,04</sub> O <sub>3</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	ильменит
13-1070	151	51,8	45,1	3,1	0,0	100,0	Mn <sub>0,07</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,95</sub> Ti <sub>0,99</sub> O <sub>3</sub>	FeTiO <sub>3</sub>	ильменит

*Ильменорутил*

№ образца	Элементы/ спектры	TiO <sub>2</sub>	FeO	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-1070	121	63,2	21,0	1,6	0,5	1,4	0,2	2,7	1,5	5,6	1,4	0,7	100,0	Na <sub>0,05</sub> K <sub>0,004</sub> Ca <sub>0,04</sub> Mn <sub>0,02</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,26</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>0,02</sub> Cr <sub>0,06</sub> Ti <sub>0,72</sub> Al <sub>0,009</sub> Si <sub>0,02</sub> Y <sub>0,01</sub> Nb <sub>0,009</sub> O <sub>2</sub>	(Ti,Nb,Fe)O <sub>2</sub>	ильменорутил
12-617	1674	96,5	0,7	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,008</sub> Ti <sub>0,96</sub> Nb <sub>0,025</sub> O <sub>2</sub>	(Ti,Nb,Fe)O <sub>2</sub>	ильменорутил

*Титанит*

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-1240	1731	26,0	34,8	1,5	2,2	2,3	25,8	0,0	0,4	1,5	4,4	0,6	100,0	Na <sub>0,15</sub> K <sub>0,02</sub> Ca <sub>0,96</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,06</sub> Cr <sub>0,12</sub> Ti <sub>0,90</sub> Al <sub>0,06</sub> Si <sub>0,90</sub> Y <sub>0,01</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит
13-1240	1732	32,8	29,5	5,7	4,7	0,8	21,2	0,5	1,9	0,0	2,8	0,0	100,0	Na <sub>0,05</sub> K <sub>0,08</sub> Ca <sub>0,75</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,12</sub> Cr <sub>0,07</sub> Ti <sub>0,73</sub> Al <sub>0,22</sub> Si <sub>1,07</sub> O <sub>5</sub>	CaTiSiO <sub>5</sub>	титанит

*Циркон*

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HfO <sub>2</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-1070	115	33,4	65,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	100,0	Zr <sub>0,97</sub> Hf <sub>0,1</sub> Si <sub>1,0</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон
13-1070	130	33,9	61,6	1,0	0,0	0,7	1,4	1,4	100,0	Zr <sub>0,86</sub> Al <sub>0,08</sub> K <sub>0,05</sub> Fe <sub>0,04</sub> Hf <sub>0,01</sub> Si <sub>1,04</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон
12-617	1683	32,2	65,7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	100,0	Zr <sub>0,99</sub> Si <sub>0,99</sub> Hf <sub>0,01</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон
13-1240	1710	30,3	57,5	0,0	0,4	10,6	0,0	1,2	100,0	Zr <sub>0,89</sub> Fe <sub>0,28</sub> Si <sub>0,96</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон
13-1240	1727	35,1	59,8	1,4	0,0	0,0	2,0	1,7	100,0	Zr <sub>0,87</sub> Al <sub>0,07</sub> K <sub>0,05</sub> Hf <sub>0,01</sub> Si <sub>1,04</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон
13-1240	1750	33,0	65,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	100,0	Zr <sub>0,98</sub> Hf <sub>0,01</sub> Si <sub>1,0</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон
13-1240	1755	32,0	66,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	100,0	Zr <sub>0,98</sub> Hf <sub>0,01</sub> Si <sub>1,0</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон

*Монацит-Се*

№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-1070	144	2,5	24,2	16,2	29,3	3,3	15,8	1,6	4,8	2,4	100,0	(Ce <sub>0,43</sub> La <sub>0,24</sub> Nd <sub>0,23</sub> Pr <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,01</sub> Th <sub>0,02</sub> Cr <sub>0,15</sub> Si <sub>0,1</sub> ) <sub>1,22</sub> P <sub>0,82</sub> O <sub>4</sub>	(Ce,La)PO <sub>4</sub>	Монацит-Се

*Бенстонит*

№ образца	Элементы/ спектры	BaO	SrO	CaO	FeO	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	MgO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
13-1070	158	59,4	5,9	23,5	2,9	4,9	0,3	0,8	2,4	100,0	(Ba <sub>4,6</sub> Sr <sub>0,66</sub> ) <sub>5,3</sub> (Ca <sub>4,9</sub> Si <sub>0,96</sub> Fe <sub>0,47</sub> K <sub>0,07</sub> Mn <sub>0,13</sub> ) <sub>6,6</sub> Mg <sub>0,17</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>13</sub>	(Ba,Sr) <sub>6</sub> (Ca,Mn) <sub>6</sub> Mg(CO <sub>3</sub> ) <sub>13</sub>	бенстонит

**ПРИЛОЖЕНИЕ 6.** Химические составы горных пород (масс %) Маньхамбовского блока

№ п/п	№ проб	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ппп	Сумма	порода	комплекс
1	13-299	52,04	3,46	12,15	6,35	6,7	1,15	0,28	6,5	4,42	4,31	0,94	2,3	100,6	Монцогаббродолерит	Поньинский
2	13-299-1	54,05	3,04	13,13	5,33	6,30	1,26	0,28	4,97	3,77	5,71	1,02	1,60	100,45	Монцодолерит	Поньинский
3	13-30	52,0	1,39	16,41	6,08	2,80	0,42	0,18	5,04	6,50	0,71	5,72	3,10	100,36	Монцодолерит	Поньинский
4	12-262-1	49,51	2,24	13,78	7,69	5,95	0,58	0,22	7,49	5,83	3,23	1,51	2,3	100,33	Монцогаббро	Поньинский
5	12-232	49,62	2,03	15,36	7,34	4,2	0,28	0,18	4,73	8,34	3,34	2,57	2,2	100,2	Монцогаббродолерит	Поньинский
6	М-07-10	53,03	1,6	16,2	6,46	3,1	0,46	0,17	6,49	4,82	4,54	1,49	2	100,37	Монцогаббродолерит	Поньинский
7	М-07-210	51,1	1,86	16,8	4,83	4,5	0,47	0,19	8,92	5,46	2,9	1,45	1,03	99,57	Монцогаббродолерит	Поньинский
8	13-21	45,48	4,29	5,52	9,08	10,70	0,66	0,34	10,48	10,89	0,96	0,19	2,20	100,8	Габбро	Поньинский
9	1541	49,65	1,5	16,9	3,93	5,47	0,34	0,12	8,54	5,72	3,75	0,55	3,66	100,17	Монцогаббро	Поньинский
10	749	49,25	1,5	19,8	5,3	3,45	0,33	0,12	7,14	4,23	5,03	0,58	3,46	100,2	Монцогаббро	Поньинский
11	М-08-424a	51,92	0,82	14,89	9,54	4,9	0,15	0,38	3,35	6,47	5,78	0,13	1,9	100,2	Долерит	Поньинский
12	14-275	77,08	0,13	9,51	4,82	0,30	0,00	0,05	0,61	0,10	7,12	0,17	0,40	100,29	Граносиенит	Поньинский
13	11-601	76,0	0,11	12,22	1,64	0,40	0,04	0,00	0,38	0,20	3,13	5,82	0,30	100,24	Трахиролит	Туясланьинский
14	12-219-5	74,50	0,31	13,97	2,08	0,50	0,04	0,00	2,52	0,39	5,31	1,99	0,90	100,11	Риолит	Туясланьинский
15	12-402	71,74	0,43	13,32	2,44	0,25	0,04	0,26	0,87	0,11	5,12	5,03	0,45	100,02	Щелочной риодацит	Туясланьинский
16	12-617	70,50	0,11	13,03	1,49	0,50	0,03	0,00	0,05	0,00	0,26	11,12	3,00	100,09	Ультракалиевый риолит	Туясланьинский
17	12-690	77,39	0,12	12,22	0,38	0,70	0,01	0,01	0,29	0,12	4,62	3,73	0,45	100,05	Трахиролит	Туясланьинский
18	12-623-1	78,50	0,12	11,13	0,52	1,80	0,00	0,00	0,18	0,06	4,01	3,84	0,00	100,16	Риолит	Туясланьинский

Приложение 6 (продолжение)

№ п/п	№ проб	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ппп	Сумма	порода	комплекс
19	13-1244	77,04	0,08	11,23	0,94	0,40	0,00	0,01	0,11	0,07	0,35	9,27	0,70	100,20	Ультракалиевый риолит	Туяхланьинский
20	13-1038-1	74,55	0,41	12,72	1,86	0,40	0,13	0,05	0,71	0,78	2,97	4,58	0,90	100,06	Риолит	Туяхланьинский
21	13-1233-1	78,2	0,11	11,43	1,19	0,4	0,00	0,02	0,44	0,00	5,53	2,44	0,3	100,06	Риолит	Туяхланьинский
22	13-13	74,65	0,23	13,18	2,42	0,40	0,09	0,02	0,56	0,02	6,19	13,80	0,60	100,04	Плагиориолит	Туяхланьинский
23	13-236	69,63	0,66	16,21	2,92	0,40	0,11	0,03	1,27	1,38	5,54	1,68	0,20	100,03	Плагиориодацит	Туяхланьинский
24	13-228	72,22	0,36	12,42	1,24	0,50	0,03	0,06	3,07	0,37	7,64	0,16	2,00	100,07	Риолит	Туяхланьинский
25	13-255-1	73,04	0,44	9,95	7,03	0,40	0,07	0,01	0,23	0,32	8,27	0,18	0,20	100,14	Риолит	Туяхланьинский
26	13-1240	78,0	0,08	10,73	1,16	0,50	0,00	0,01	0,13	0,00	0,35	8,78	0,40	100,14	Ультракалиевый риолит	Туяхланьинский
27	13-1070	79,69	0,14	10,26	0,52	0,50	0,01	0,01	0,10	0,00	0,27	8,19	0,40	100,1	Ультракалиевый риолит	Туяхланьинский
28	14-242-1	67,10	0,45	15,88	3,44	0,50	0,13	0,05	0,77	1,22	5,12	3,62	1,80	100,08	Трахидациит	Туяхланьинский
29	14-242-2	76,04	0,09	12,34	1,18	0,50	0,01	0,02	0,24	0,38	8,11	0,65	0,60	100,14	Трахирриолит	Туяхланьинский
30	14-234-1	68,10	0,59	12,48	7,04	0,50	0,19	0,05	0,84	0,12	9,51	0,55	0,40	100,37	Трахирриодацит	Туяхланьинский
31	14-245	72,27	0,32	12,32	3,85	0,40	0,03	0,05	0,43	0,00	7,11	3,18	0,30	100,28	Щелочной риодацит	Туяхланьинский
32	15-261	76,74	0,17	11,69	1,40	0,40	0,03	0,00	0,24	0,17	4,62	3,15	1,70	99,91	Риолит	Туяхланьинский
33	16-109	71,90	0,43	14,00	4,19	0,57	0,06	0,01	0,41	0,25	6,24	2,24	0,27	100,0	Риолит	Туяхланьинский
34	М-07-108	72,72	0,12	13,53	1,50	0,50	0,02	0,03	0,29	0,24	6,60	4,47	0,00	100,03	Риолит	Туяхланьинский
35	М-07-13	78,00	0,13	11,06	0,92	0,25	0,02	0,02	1,81	0,05	2,67	4,26	0,36	99,69	Риолит	Туяхланьинский
36	Скв.186	63,54	0,37	16,89	5,40	0,31	0,03	0,14	1,97	1,53	4,52	4,05	0,25	99,33	Трахидациит	Туяхланьинский

**Приложение 6 (продолжение)**

№ п/п	№ проб	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ппп	Сумма	порода	комплекс
37	2199	74,33	0,29	13,34	1,20	1,65	0,10	0,35	0,64	0,50	4,95	2,95	1,15	101,45	Риолит	Туяхланьинский
38	14-623	67,30	0,10	17,23	2,57	0,70	0,09	0,17	0,20	0,49	8,93	0,91	1,40	100,08	Метасоматит	Туяхланьинский
39	14-623-3	67,40	0,08	18,97	1,83	0,70	0,04	0,03	0,25	0,75	3,62	4,37	2,00	100,05	Метасоматит	Туяхланьинский
40	14-623-9	60,07	0,14	21,91	3,51	0,50	0,06	0,22	0,62	1,10	6,71	2,99	2,20	100,03	Метасоматит	Туяхланьинский
41	14-623-11	77,02	0,42	11,14	1,91	1,20	0,09	0,17	0,22	2,24	2,00	1,33	2,40	100,14	Сланец хлорит- плагиоклаз- кварцевый	Туяхланьинский

Анализы выполнены в аналитических лабораториях ВСЕГЕИ, ИГГ УрО РАН

**ПРИЛОЖЕНИЕ 7.** Содержания микроэлементов (г/т) магматических и метасоматических горных пород Маньхамбовского блока по результатам количественного анализа ICP-MS

проба/ элемент	13-299	12-262-1	М-07-10	12-232	М-07-210	13-299-1	13-30	13-21
порода	монцо-габбро- долерит	монцогаббро	монцо-габбро- долерит	монцо-габбро- долерит	габбро	монцодолерит	монцодолерит	габбродолерит
комплекс	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский
Li	28,32	12,28	23,70	10,50	53,24	30,29	78,33	17,51
Be	2,20	0,92	1,66	1,16	1,70	2,08	4,31	0,65
Sc	36,25	27,92	20,97	37,64	11,73	30,54	30,48	87,94
Ti	24452,38	7287,11	8864,05	3305,21	8727,94	19409,67	9474,12	26211,85
V	245,38	238,30	192,01	169,60	174,92	152,15	200,98	791,81
Cr	2,06	126,78	23,12	140,71	221,40	1,40	133,52	70,83
Mn	2511,53	783,71	1237,22	462,39	839,38	2381,91	1578,07	3133,98
Co	24,64	24,72	24,65	27,11	23,17	17,60	23,12	76,29
Ni	2,50	23,13	52,55	76,89	16,03	1,63	88,14	138,95
Cu	38,60	24,73	12,19	78,37	28,54	23,94	44,55	507,06
Zn	175,42	78,50	94,99	41,84	97,83	135,16	153,93	210,18
Ga	26,55	17,66	9,75	19,77	17,21	24,31	20,78	14,01
Ge	2,67	1,33	0,63	1,95	1,86	2,10	2,16	1,84
As	н.о	1,05	0,03	4,60	1,82	н.о	н.о	н.о
Rb	65,15	52,33	38,46	22,07	56,90	37,25	564,98	3,55
Sr	201,35	238,96	614,25	231,12	565,17	201,34	305,83	65,64
Y	57,47	39,20	31,95	26,38	18,93	60,67	51,61	35,21
Zr	94,30	73,62	38,95	33,61	17,78	94,01	250,04	40,82
Nb	48,03	11,23	21,22	5,45	10,34	41,97	16,69	11,42
Mo	1,93	0,88	0,90	2,56	0,68	1,14	0,98	0,51
Ag	0,87	0,22	0,70	0,15	н.о	0,72	0,29	0,43
Pd	н.о	н.о	0,004	0,84	1,92	н.о	н.о	н.о
Cd	0,16	0,19	0,16	0,04	0,14	0,17	0,09	0,21

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	13-299	12-262-1	М-07-10	12-232	М-07-210	13-299-1	13-30	13-21
порода	монцо-габбро- долерит	монцогаббро	монцо-габбро- долерит	монцо-габбро- долерит	габбро	монцодолерит	монцодолерит	габбродолерит
комплекс	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский
In	н.о	н.о	0,08	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Sn	3,86	2,05	2,52	5,21	22,68	1,95	9,86	1,46
Sb	4,07	0,15	0,97	0,37	0,52	2,71	0,37	0,45
Te	н.о	0,09	0,06	0,06	н.о	н.о	0,004	0,10
I	н.о	н.о	0,56	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Cs	4,10	1,38	1,79	0,98	5,58	4,54	12,79	0,15
Ba	142,65	230,16	290,00	491,37	206,03	292,04	740,45	21,86
La	34,46	21,15	32,47	30,52	26,38	39,93	50,35	18,23
Ce	86,40	51,10	66,19	69,55	57,73	98,26	60,70	48,39
Pr	10,70	6,96	7,17	8,84	7,27	11,99	10,46	7,06
Nd	46,20	30,73	28,79	33,59	29,03	50,36	40,31	32,04
Sm	11,43	7,75	6,05	6,47	6,00	12,28	8,12	7,57
Eu	3,87	2,40	1,74	2,49	2,21	4,08	1,91	1,17
Gd	11,61	7,50	5,23	5,60	5,45	12,47	7,34	7,18
Tb	1,69	1,19	0,84	0,84	0,76	1,84	1,10	1,00
Dy	10,62	7,95	4,82	5,40	4,39	11,66	7,50	6,46
Ho	2,05	1,59	1,02	1,11	0,88	2,24	1,65	1,31
Er	5,70	4,39	2,61	3,21	2,33	6,15	4,78	3,49
Tm	0,76	0,58	0,36	0,46	0,32	0,81	0,66	0,47
Yb	4,44	3,80	2,29	2,91	1,92	4,53	4,03	2,82
Lu	0,55	0,55	0,33	0,44	0,29	0,58	0,60	0,40
Hf	1,78	1,78	1,19	1,40	0,67	2,05	5,35	1,49
Ta	4,26	1,12	1,18	0,30	1,70	4,40	0,91	0,64

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	13-299	12-262-1	М-07-10	12-232	М-07-210	13-299-1	13-30	13-21
порода	монцо-габбро- долерит	монцогаббро	монцо-габбро- долерит	монцо-габбро- долерит	габбро	монцодолерит	монцодолерит	габбродолерит
комплекс	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский	Поньинский
W	1,44	0,61	1,39	2,53	2,00	1,55	9,17	0,28
Re	н.о	н.о	0,08	0,002	н.о	н.о	н.о	н.о
Os	н.о	н.о	0,0006	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Ir	н.о	н.о	0,02	0,01	н.о	н.о	н.о	н.о
Pt	н.о	н.о	0,03	0,02	н.о	н.о	н.о	н.о
Au	н.о	н.о	0,04	0,01	н.о	н.о	н.о	н.о
Hg	н.о	н.о	0,10	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Tl	0,22	0,23	0,21	0,20	0,35	0,15	1,57	0,01
Pb	11,19	9,48	18,75	5,82	19,22	12,71	6,66	1,41
Bi	0,19	0,08	0,16	0,05	0,22	0,15	0,51	0,09
Th	3,08	2,68	7,13	0,35	1,09	4,41	3,05	1,92
U	0,77	0,64	0,77	0,14	0,81	1,42	3,60	0,28

проба/ элемент	14-275	11-601	12-219-5	12-402	12-617	12-690	12-623-1
порода	Граносиенит	Трахирiolит	Риолит	Щелочной риодацит	Ультракалиевый риолит	Трахирiolит	Риолит
комплекс	Поньинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский
Li	1,8	0,1	4,03	2,09	3,15	2,53	1,05
Be	6,3	2,39	2,83	1,49	0,55	1,58	1,26
Sc	0,3	1,79	2,55	2,26	3,06	2,19	0,50
Ti	745,0	718,20	1213,69	1802, 37	642,43	580,92	827,52

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	14-275	11-601	12-219-5	12-402	12-617	12-690	12-623-1
порода	Граносиенит	Грахириолит	Риолит	Щелочной риодацит	Ультракалиевый риолит	Грахириолит	Риолит
комплекс	Поньинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский
V	0,90	5,73	4,29	1,60	10,97	4,58	10,04
Cr	1,90	28,07	7,27	76,23	12,75	45,91	30,47
Mn	351,77	286,45	286,69	1151,37	112,12	51,72	145,47
Co	2,12	1,62	1,11	0,52	1,62	0,56	3,78
Ni	1,77	13,90	5,98	3,23	9,11	5,62	23,15
Cu	24,42	10,35	7,03	59,01	8,65	18,02	16,86
Zn	49,37	38,49	45,93	89,94	59,74	23,25	68,30
Ga	42,04	8,78	17,35	18,87	10,79	10,14	19,81
Ge	1,20	3,26	1,00	1,60	0,86	1,21	1,49
As	0,80	1,61	3,39	1,81	3,56	0,59	2,62
Rb	14,92	180,17	32,37	79,83	117,65	79,46	100,56
Sr	38,47	9,91	16,11	19,34	2,54	73,07	3,23
Y	29,23	55,91	12,54	49,56	22,40	23,59	16,76
Zr	115,93	393,59	131,42	645,84	182,32	69,14	272,60
Nb	307,04	67,08	24,64	50,92	23,33	18,52	59,35
Mo	0,25	2,08	2,78	0,46	0,55	0,61	0,98
Ag	7,59	0,16	0,38	1,06	0,42	0,32	1,04
Pd	4,29	0,04	2,78	н.о	5,60	н.о	9,26
Cd	0,48	0,28	0,04	1,03	0,02	0,06	0,14
In	0,01	0,11	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Sn	18,81	5,05	2,84	2,38	3,41	1,05	4,06
Sb	0,22	0,61	0,15	0,29	0,45	0,34	0,54
Te	0,02	0,18	0,02	0,06	0,03	0,03	0,04

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	14-275	11-601	12-219-5	12-402	12-617	12-690	12-623-1
порода	Граносиенит	Трахирioлит	Риолит	Щелочной риодацит	Ультракалиевый риолит	Трахирioлит	Риолит
комплекс	Поньинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский
I	0,02	0,27	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Cs	0,17	1,15	0,72	0,32	0,53	0,53	0,53
Ba	16,2	96,35	684,41	55,24	1214,83	924,07	24,65
La	77,06	40,87	26,55	398,64	34,37	23,48	21,60
Ce	134,16	153,60	62,15	453,19	54,15	57,14	42,14
Pr	13,39	9,94	7,73	73,43	8,73	5,43	4,67
Nd	43,13	36,81	23,39	245,99	34,00	20,07	15,89
Sm	7,34	9,0	5,73	29,51	6,47	4,22	3,41
Eu	0,40	0,23	1,08	1,01	0,95	0,46	0,05
Gd	5,73	8,40	4,44	7,43	5,11	3,06	3,11
Tb	1,00	1,40	0,69	1,54	0,77	0,64	0,49
Dy	6,44	9,92	4,36	11,28	4,83	4,43	3,14
Ho	1,21	2,25	0,84	2,09	1,01	0,97	0,66
Er	3,23	5,65	2,71	6,20	3,24	3,03	2,03
Tm	0,46	0,84	0,40	0,89	0,54	0,49	0,31
Yb	2,92	5,27	2,84	6,54	4,04	3,48	2,02
Lu	0,42	0,86	0,44	1,06	0,65	0,55	0,30
Hf	3,9	10,21	5,62	16,48	10,14	2,69	13,26
Ta	26,0	3,77	1,62	2,56	1,66	1,91	3,96
W	10,9	1,28	0,83	0,89	1,44	1,23	3,49
Re	н.о	0,01	н.о	н.о	0,001	н.о	0,0009
Os	0,00005	0,0027	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Ir	0,02	0,15	0,02	н.о	0,04	н.о	0,05

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	14-275	11-601	12-219-5	12-402	12-617	12-690	12-623-1
порода	Граносиенит	Трахирioлит	Риолит	Щелочной риодацит	Ультракалиевый риолит	Трахирioлит	Риолит
комплекс	Поньинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский
Pt	0,04	0,29	0,06	н.о	0,10	н.о	0,16
Au	0,001	0,140	н.о	н.о	0,020	н.о	0,002
Hg	0,04	0,07	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Tl	0,02	0,75	0,38	0,22	0,83	0,25	0,42
Pb	100,9	50,36	5,46	15,77	5,57	13,10	26,67
Bi	1,02	0,12	0,11	0,10	0,02	0,09	0,02
Th	13,6	25,85	5,07	28,74	5,42	13,30	8,55
U	8,00	3,09	2,74	4,78	2,28	1,91	12,61

проба/ элемент	13-13	13-228	13-236	13-255	13-1038-1	13-1070	13-623-1
порода	Плагиориолит	Риолит	Плагиориодацит	Риолит	Риолит	Ультракалиевый риолит	Риолит
комплекс	Туяxланьинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский	Туяxланьинский
Li	4,46	1,05	3,55	0,53	14,63	1,10	0,32
Be	3,35	0,78	2,73	0,24	2,43	0,40	1,53
Sc	2,21	13,45	5,78	7,38	1,73	1,56	2,80
Ti	1251,16	1623,76	3276,51	2349,18	2314,87	745,61	453,90
V	3,40	1,39	7,87	27,10	22,35	3,90	3,92
Cr	3,27	1,98	0,93	3,97	4,16	4,70	3,63
Mn	199,89	282,00	163,96	52,73	398,38	74,75	93,13
Co	3,65	1,57	0,72	0,45	3,23	0,59	0,62
Ni	1,92	2,38	0,95	2,03	3,82	4,59	3,41

**Приложение 7 (продолжение)**

проба/ элемент	13-13	13-228	13-236	13-255	13-1038-1	13-1070	13-623-1
порода	Плагиориолит	Риолит	Плагиориодацит	Риолит	Риолит	Ультракалиевый риолит	Риолит
комплекс	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский
Cu	3,05	1393,46	14,48	7,18	2,58	20,79	11,95
Zn	47,82	8,09	37,05	6,48	44,99	10,00	11,72
Ga	20,17	13,25	22,56	7,15	12,87	11,65	13,41
Ge	1,52	0,68	1,32	0,62	1,03	0,76	1,35
As	н.о	3,39	2,16	1,01	н.о	1,64	81,63
Rb	17,78	н.о	5,97	3,27	84,86	112,51	48,89
Sr	37,80	133,38	147,98	7,89	15,54	32,35	47,41
Y	16,84	29,23	22,51	13,61	8,58	9,19	21,29
Zr	312,31	484,21	288,97	176,43	149,36	206,77	110,34
Nb	34,70	25,54	66,91	7,26	21,58	36,70	11,47
Mo	0,38	1,43	0,20	0,16	0,08	0,40	0,29
Ag	0,55	1,31	1,05	0,35	0,33	0,53	0,14
Pd	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Cd	н.о	0,47	0,36	0,002	0,01	0,22	0,11
In	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Sn	12,78	2,22	2,47	1,60	3,31	1,98	1,22
Sb	0,11	0,07	0,08	0,16	0,33	0,21	1,81
Te	н.о	н.о	н.о	0,01	н.о	н.о	н.о
I	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Cs	0,28	0,02	0,99	0,01	3,05	0,44	0,56
Ba	107,70	15,20	324,39	47,89	388,49	9363,98	510,75
La	13,20	9,12	29,39	14,86	14,39	8,87	19,44
Ce	40,66	26,95	73,75	31,81	29,36	18,28	40,46

**Приложение 7 (продолжение)**

проба/ элемент	13-13	13-228	13-236	13-255	13-1038-1	13-1070	13-623-1
порода	Плагиориолит	Риолит	Плагиориодацит	Риолит	Риолит	Ультракалиевый риолит	Риолит
комплекс	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский
Pr	3,53	3,58	8,74	4,04	3,40	2,49	5,63
Nd	13,63	16,02	34,20	15,76	12,09	8,47	22,34
Sm	2,94	4,71	6,72	3,37	2,30	1,72	4,92
Eu	0,44	1,17	2,00	0,83	0,29	0,26	0,62
Gd	2,60	4,87	5,31	2,76	1,61	1,34	4,21
Tb	0,42	0,87	0,88	0,38	0,24	0,25	0,71
Dy	3,05	5,97	5,45	2,39	1,48	1,76	4,52
Ho	0,65	1,29	1,08	0,52	0,30	0,39	0,91
Er	1,92	3,92	3,01	1,82	0,94	1,29	2,70
Tm	0,29	0,57	0,41	0,29	0,15	0,21	0,39
Yb	1,94	3,78	2,58	2,08	1,03	1,50	2,56
Lu	0,29	0,60	0,38	0,34	0,17	0,25	0,39
Hf	8,27	11,02	7,68	4,11	4,43	6,54	3,50
Ta	2,15	1,84	4,00	2,49	1,73	2,49	0,86
W	1,00	0,17	0,44	0,75	1,05	0,87	0,23
Re	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Os	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Ir	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Pt	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Au	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Hg	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Tl	0,07	н.о	0,07	0,01	0,48	0,41	0,29
Pb	3,57	1,55	3,69	2,31	5,60	14,93	10,74

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	13-13	13-228	13-236	13-255	13-1038-1	13-1070	13-623-1
порода	Плагиориолит	Риолит	Плагиориодацит	Риолит	Риолит	Ультракалиевый риолит	Риолит
комплекс	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский
Bi	0,29	0,04	0,04	0,01	0,16	0,02	0,45
Th	3,75	9,02	8,26	3,21	4,83	6,55	9,77
U	3,27	3,52	2,78	1,50	2,97	1,98	1,97

проба/ элемент	13-1240	13-1244	14-234-1	14-242-1	14-242-2	14-245	15-261
порода	Ультракалиевый риолит	Ультракалиевый риолит	Трахиродацит	Трахидациит	Трахирриолит	Щелочной риодацит	Риолит
комплекс	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский
Li	1,48	1,55	1,02	38,04	11,51	0,61	4,67
Be	0,79	1,23	1,18	7,71	9,50	4,25	3,17
Sc	1,12	0,61	10,03	7,08	1,70	5,57	3,59
Ti	342,76	347,23	4199,75	3312,61	498,07	2030,10	0,00
V	4,83	2,22	3,56	25,95	2,43	7,15	12,90
Cr	5,69	2,65	2,50	5,78	4,02	3,75	3,02
Mn	60,17	39,76	314,78	310,79	126,43	348,80	0,00
Co	0,66	0,52	1,86	3,56	0,55	0,95	1,25
Ni	6,14	2,83	2,75	2,19	1,93	3,65	1,96
Cu	19,00	8,13	12,33	12,18	8,36	11,69	7,29
Zn	8,83	6,59	11,92	111,01	35,47	24,58	25,30
Ga	14,68	15,56	12,87	25,30	29,32	23,31	0,90
Ge	0,87	0,75	0,76	1,48	1,56	0,90	0,00
As	1,37	1,31	1,95	1,64	3,65	9,16	0,00

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	13-1240	13-1244	14-234-1	14-242-1	14-242-2	14-245	15-261
порода	Ультракалиевый риолит	Ультракалиевый риолит	Трахириодацит	Трахидацит	Трахириолит	Щелочной риодацит	Риолит
комплекс	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский
Rb	107,21	85,58	10,52	136,56	18,64	32,53	93,10
Sr	13,14	4,93	25,77	75,42	6,63	26,61	31,70
Y	48,93	29,64	52,98	36,36	20,62	21,37	33,80
Zr	263,74	240,17	465,12	364,62	225,30	507,22	98,00
Nb	46,24	43,71	43,87	57,01	141,66	60,30	46,90
Mo	0,50	0,22	0,34	1,39	0,92	0,67	0,00
Ag	0,69	0,67	2,26	1,41	3,34	1,96	0,00
Pd	0,00	0,00	14,72	11,92	7,10	17,08	0,00
Cd	0,28	0,28	0,30	0,04	0,00	0,10	0,21
In	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Sn	5,17	4,16	4,79	6,06	21,38	3,98	9,93
Sb	0,25	0,21	0,18	0,29	0,40	0,89	0,26
Te	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	0,003	0,02
I	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Cs	0,45	0,43	0,17	1,70	0,48	0,08	1,01
Ba	614,52	254,14	99,81	201,23	15,76	356,51	538,00
La	22,09	5,16	20,56	23,54	1,60	26,60	18,10
Ce	48,19	14,85	42,46	46,33	6,53	58,06	38,00
Pr	6,09	2,01	6,43	6,42	1,02	8,03	3,71
Nd	22,48	9,12	29,90	24,15	4,09	31,41	11,20
Sm	5,92	3,83	8,40	5,83	1,54	6,22	2,33
Eu	0,27	0,24	1,94	0,87	0,07	1,17	0,27
Gd	6,16	4,99	9,09	5,81	1,89	5,09	2,59
Tb	1,20	0,95	1,46	1,08	0,49	0,81	0,60

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	13-1240	13-1244	14-234-1	14-242-1	14-242-2	14-245	15-261
порода	Ультракалийевый риолит	Ультракалийевый риолит	Трахирриодацит	Трахидациит	Трахирриолит	Щелочной риодацит	Риолит
комплекс	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский
Dy	8,38	6,35	9,44	7,45	3,99	5,23	4,48
Ho	1,80	1,37	2,00	1,55	0,95	1,10	1,07
Er	5,53	4,58	5,94	4,83	3,34	3,51	3,81
Tm	0,83	0,75	0,85	0,76	0,60	0,56	0,64
Yb	5,43	5,19	5,60	4,86	4,69	4,11	4,66
Lu	0,83	0,82	0,86	0,73	0,71	0,63	0,60
Hf	9,79	9,95	11,23	11,42	12,08	12,09	3,47
Ta	3,19	3,15	2,86	5,18	13,96	3,68	2,67
W	0,94	0,99	0,97	1,17	5,56	1,70	0,61
Re	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Os	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о	н.о
Ir	н.о	н.о	0,05	0,05	0,05	0,05	н.о
Pt	н.о	н.о	0,13	0,11	0,11	0,14	н.о
Au	н.о	н.о	0,01	н.о	н.о	н.о	н.о
Hg	н.о	н.о	0,03	н.о	н.о	0,04	н.о
Tl	0,37	0,35	0,03	0,33	0,10	0,10	0,56
Pb	3,65	3,56	1,57	6,55	4,20	5,32	13,60
Bi	0,00	0,00	0,02	0,10	0,56	0,06	0,19
Th	8,24	8,98	7,75	12,71	15,81	5,88	35,80
U	4,02	3,59	2,09	3,31	3,19	2,27	2,69

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	14-623	14-623-3	14-623-9	14-623-11
порода	Метасоматит	Метасоматит	Метасоматит	Сланец хлорит-плагиоклаз-кварцевый
комплекс	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский
Li	6,48	8,86	4,60	16,9594
Be	19,42	20,63	80,71	0,4568
Sc	1,71	3,39	3,56	5,3859
Ti	441,27	323,12	794,95	1913,6229
V	10,94	7,62	11,61	н.о.
Cr	17,73	4,00	2,75	24,31
Mn	906,05	126,34	1361,07	923,89
Co	3,27	1,26	2,77	8,20
Ni	5,90	1,10	1,65	12,82
Cu	7,57	7,86	13,44	18,32
Zn	307,79	896,85	812,03	27,31
Ga	77,79	73,98	122,71	8,15
Ge	1,61	2,17	1,43	0,87
As	1,49	1,55	7,28	0,91
Rb	8,84	228,91	177,36	19,25
Sr	5,05	22,50	113,30	29,09
Y	14,12	93,29	195,50	4,51
Zr	1585,21	1837,12	4110,69	51,37
Nb	822,91	944,74	1549,86	1,42
Mo	0,27	9,31	0,13	0,51
Ag	45,40	22,93	40,01	0,08
Pd	100,77	60,44	151,46	3,17
Cd	2,30	9,53	н.о.	0,27
Sn	34,33	46,22	50,13	0,45

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	14-623	14-623-3	14-623-9	14-623-11
порода	Метасоматит	Метасоматит	Метасоматит	Сланец хлорит- плагиоклаз-кварцевый
комплекс	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский	Туяхланьинский
Sb	0,18	0,20	0,70	0,20
Te	н.о	0,01	0,01	н.о
Cs	0,37	2,13	4,53	0,66
Ba	34,48	55,67	491,53	147,81
La	4,61	69,20	84,33	7,35
Ce	26,89	175,90	234,54	19,54
Pr	1,77	24,79	34,17	2,00
Nd	5,94	87,05	126,98	7,43
Sm	1,71	20,93	33,37	1,64
Eu	0,04	0,33	1,51	0,54
Gd	1,79	18,12	31,92	1,41
Tb	0,36	3,44	6,33	0,19
Dy	2,44	22,44	41,88	1,06
Ho	0,49	4,18	8,47	0,20
Er	1,70	12,44	25,38	0,59
Tm	0,24	1,83	3,68	0,08
Yb	1,63	11,96	22,81	0,61
Lu	0,26	1,61	3,06	0,09
Hf	69,74	78,29	129,47	1,21
Ta	107,95	105,95	147,52	0,12
W	1,01	0,64	1,07	2,01
Ir	0,44	0,29	0,51	н.о
Pt	1,04	0,71	1,20	н.о
Au	0,56	н.о	н.о	н.о

Приложение 7 (продолжение)

проба/ элемент	14-623	14-623-3	14-623-9	14-623-11
порода	Метасоматит	Метасоматит	Метасоматит	Сланец хлорит- плагиоклаз-кварцевый
комплекс	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский	Туясланьинский
Tl	0,12	0,60	0,67	н.о
Pb	129,44	67,86	87,60	4,80
Bi	0,75	1,06	0,21	н.о
Th	16,31	141,46	187,06	1,17
U	27,54	11,57	16,38	0,37

Анализы выполнены в аналитических лабораториях ВСЕГЕИ, ИГГ УрО РАН; н.о – элемент не определен

**ПРИЛОЖЕНИЕ 8.** Химический состав и кристаллохимические формулы рудных минералов из рудопроявления и пунктов минерализации редкометалльно-редкоземельного оруденения

*Магнетиты*

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	14-623-9	23	0,4	0,4	96,2	0,0	3,0	0,0	0,0	100	$Fe_{1,095}^{2+}Fe_{1,792}^{3+}Ti_{0,081}Al_{0,017}Si_{0,014}O_4$	$Fe^{3+}_2Fe^{2+}O_4$	магнетит
	14-623-6	43	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Fe_{1,00}^{2+}Fe_{2,00}^{3+}O_4$	$Fe^{3+}_2Fe^{2+}O_4$	магнетит
	14-623-6	44	5,8	2,5	89,2	2,3	0,0	0,0	0,0	100,0	$Na_{0,152}Fe_{0,893}^{2+}Fe_{1,655}^{3+}Al_{0,101}Si_{0,198}O_4$	$Fe^{3+}_2Fe^{2+}O_4$	магнетит
	14-623-6	45	0,4	0,0	99,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Fe_{1,014}^{2+}Fe_{1,971}^{3+}Si_{0,014}O_4$	$Fe^{3+}_2Fe^{2+}O_4$	магнетит
	14-623-6	46	1,7	1,1	97,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Fe_{1,061}^{2+}Fe_{1,833}^{3+}Al_{0,046}Si_{0,061}O_4$	$Fe^{3+}_2Fe^{2+}O_4$	магнетит
	14-623-6	62	0,2	0,0	99,2	0,0	0,0	0,0	0,6	100,0	$Fe_{1,007}^{2+}Fe_{1,969}^{3+}Cr_{0,017}Si_{0,007}O_4$	$Fe^{3+}_2Fe^{2+}O_4$	магнетит
	14-623-6	63	1,0	0,0	99,0	0,0	0,0	0,2	0,0	100,0	$Fe_{1,036}^{2+}Fe_{1,928}^{3+}Si_{0,036}O_4$	$Fe^{3+}_2Fe^{2+}O_4$	магнетит

*Галениты*

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	Na <sub>2</sub> O	FeO	PbO	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	13-230	289	0,4	0,8	58,0	0,8	40,0	100,0	$Na_{0,006}Pb_{0,320}Fe_{0,005}^{2+}As_{0,003}S_{0,224}$	PbS	галенит
	13-230	290	0,0	0,9	58,8	0,0	41,3	100,0	$Pb_{0,317}Fe_{0,005}^{2+}S_{0,226}$	PbS	галенит
	13-230	293	0,5	0,9	50,4	1,4	46,8	100,0	$Na_{0,007}Pb_{0,259}Fe_{0,005}^{2+}As_{0,003}S_{0,244}$	PbS	галенит

*Колумбиты*

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	FeO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	14-623-9	10	74,4	5,2	10,3	8,6	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Mn_{0,51}Fe^{2+}_{0,42})(Nb_{1,91}Ta_{0,06}Ti_{0,06})_2O_6$	$(Mn,Fe)(Nb,Ta)_2O_6$	манганоколумбит
	14-623-9	11	73,1	4,6	10,6	7,7	1,7	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Mn_{0,5}Fe^{2+}_{0,39})(Nb_{1,8}Si_{0,13}Ta_{0,07}Ti_{0,06})_2O_6$	$(Mn,Fe)(Nb,Ta)_2O_6$	манганоколумбит
	14-623-9	15	63,9	4,3	8,4	7,6	1,3	8,1	4,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Mn_{0,51}Fe^{2+}_{0,3})(Nb_{1,47}Si_{0,44}Al_{0,3}K_{0,11}Ta_{0,04})_2O_6$	$(Mn,Fe)(Nb,Ta)_2O_6$	манганоколумбит
	14-623-9	16	70,2	3,4	12,0	6,2	1,2	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Mn_{0,59}Fe^{2+}_{0,3})(Nb_{1,84}Si_{0,12}Ta_{0,05}Ti_{0,05})_2O_6$	$(Mn,Fe)(Nb,Ta)_2O_6$	манганоколумбит
	14-623-9	19	73,8	3,8	10,6	7,6	1,7	0,0	0,0	0,8	1,7	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Mn_{0,49}Fe^{2+}_{0,37})(Nb_{1,84}Na_{0,21}K_{0,06}Ti_{0,07}Ta_{0,06})_2O_6$	$(Mn,Fe)(Nb,Ta)_2O_6$	манганоколумбит
	14-623-9	20	75,9	4,2	11,8	6,3	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Mn_{0,59}Fe^{2+}_{0,31})(Nb_{1,94}Ta_{0,06}Ti_{0,03})_2O_6$	$(Mn,Fe)(Nb,Ta)_2O_6$	манганоколумбит
	14-623-9	27	66,7	3,1	8,0	7,1	1,3	7,7	4,7	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Mn_{0,38}Fe^{2+}_{0,33})(Nb_{1,46}Si_{0,43}Al_{0,31}K_{0,1}Ti_{0,05}Ta_{0,04})_2O_6$	$(Mn,Fe)(Nb,Ta)_2O_6$	манганоколумбит
	14-623-9	28	58,6	2,8	6,7	9,7	0,8	10,5	6,8	0,7	1,3	2,1	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,4}Mn_{0,33})(Nb_{1,1}Si_{0,6}Al_{0,47}Mg_{0,18}Na_{0,14}K_{0,05}Ti_{0,03}Ta_{0,02})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	67	53,6	2,4	3,2	12,0	10,8	12,8	3,2	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,4}Mn_{0,33})(Nb_{1,1}Si_{0,6}Al_{0,47}Mg_{0,18}Na_{0,14}K_{0,05}Ti_{0,03}Ta_{0,02})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	68	64,1	2,7	4,3	14,9	6,3	5,1	1,5	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,62}Mn_{0,13})(Nb_{1,17}Si_{0,53}Ti_{0,4}Al_{0,18}Na_{0,18}Ta_{0,03})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	70	58,1	1,4	4,0	11,5	3,5	13,8	4,7	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,6}Mn_{0,17})(Nb_{1,2}Si_{0,67}Na_{0,29}Al_{0,24}Ti_{0,13}Ta_{0,02})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	74	68,5	2,1	5,0	14,0	3,7	4,5	1,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,75}Mn_{0,21})(Nb_{1,54}Si_{0,22}Ti_{0,13}Na_{0,08}Al_{0,07}Ta_{0,02})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	81	48,1	2,6	4,2	10,8	2,7	20,7	6,4	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,49}Mn_{0,12})(Nb_{0,97}Si_{0,92}Na_{0,4}Al_{0,35}Ti_{0,09}Ta_{0,02})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	85	39,3	2,8	1,8	12,1	35,4	6,0	1,7	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,6}Mn_{0,06})(Ti_{1,2}Nb_{0,8}Si_{0,27}Al_{0,09}Na_{0,07}Ta_{0,03})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	115	71,5	2,0	5,1	14,7	2,8	3,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,84}Mn_{0,06})(Nb_{1,7}Si_{0,15}Ti_{0,1}Al_{0,05}Ta_{0,02})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	116	68,6	2,2	4,9	14,2	3,0	4,1	1,9	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,8}Mn_{0,21})(Nb_{1,6}Si_{0,24}Na_{0,11}Al_{0,11}Ti_{0,11}Ta_{0,03})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	117	54,2	1,2	3,2	10,1	2,2	17,6	7,2	0,8	3,5	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,53}Mn_{0,13})(Nb_{0,98}Si_{0,92}Al_{0,41}Na_{0,33}Ti_{0,08}K_{0,04}Ta_{0,03})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	118	59,3	1,3	3,5	11,0	3,8	14,8	4,0	1,1	1,2	0,0	0,0	5,7	100,0	$(Fe^{2+}_{0,6}Mn_{0,15})(Nb_{1,13}Si_{0,67}Al_{0,23}Zr_{0,14}Ti_{0,14}Na_{0,11}K_{0,07}Ta_{0,01})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	119	55,1	0,0	4,9	11,4	4,9	15,4	4,9	1,5	1,9	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,64}Mn_{0,17})(Nb_{1,18}Si_{0,7}Al_{0,3}Na_{0,19}Ti_{0,11}K_{0,07})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
	14-623-6	120	66,5	0,0	5,0	16,4	3,7	5,9	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,84}Mn_{0,2})(Nb_{1,6}Si_{0,21}Ti_{0,15}Al_{0,09})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит
14-623-6	121	73,5	2,9	4,3	15,3	2,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,89}Mn_{0,23})(Nb_{1,76}Ti_{0,09}Si_{0,07}Ta_{0,04})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит	
14-623-6	122	68,4	3,1	4,5	14,9	2,8	4,1	1,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,8}Mn_{0,2})(Nb_{1,6}Si_{0,22}Ti_{0,11}Na_{0,09}Al_{0,08}Ta_{0,04})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит	
14-623-6	123	74,2	1,8	5,4	15,4	3,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	100,0	$(Fe^{2+}_{0,87}Mn_{0,25})(Nb_{1,81}Ti_{0,13}Ta_{0,03})_2O_6$	$(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6$	ферроколумбит	

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	FeO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	14-623-6	124	65,6	3,0	4,4	13,7	2,5	6,8	3,2	0,8	0,0	0,0	1,5	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,76</sub> Mn <sub>0,19</sub> )(Nb <sub>1,45</sub> Si <sub>0,35</sub> Al <sub>0,19</sub> Ti <sub>0,09</sub> Cr <sub>0,06</sub> K <sub>0,05</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
	14-623-6	125	71,9	2,0	5,3	15,0	3,5	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,85</sub> Mn <sub>0,23</sub> )(Nb <sub>1,7</sub> Ti <sub>0,14</sub> Si <sub>0,12</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
	14-623-6	126	68,8	2,2	5,3	14,7	3,2	4,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,79</sub> Mn <sub>0,23</sub> )(Nb <sub>1,61</sub> Si <sub>0,23</sub> Ti <sub>0,12</sub> Ta <sub>0,03</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
	14-623-6	127	65,9	2,8	4,5	13,3	2,5	6,8	2,3	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,75</sub> Mn <sub>0,2</sub> )(Nb <sub>1,48</sub> Si <sub>0,36</sub> Na <sub>0,19</sub> Al <sub>0,14</sub> Ti <sub>0,09</sub> Ta <sub>0,03</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
	14-623-6	129	64,4	3,1	5,6	15,6	3,5	5,4	1,9	0,5	0,0	0,0	1,6	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,80</sub> Mn <sub>0,2</sub> )(Nb <sub>1,5</sub> Si <sub>0,28</sub> Ti <sub>0,13</sub> Al <sub>0,11</sub> Cr <sub>0,06</sub> K <sub>0,03</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
Хунтынья	13-1244-1	132	65,3	13,4	7,0	14,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,67</sub> Mn <sub>0,27</sub> )(Nb <sub>1,70</sub> Ti <sub>0,13</sub> Ta <sub>0,20</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
	13-1244-1	133	65,0	14,0	6,8	13,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,55</sub> Mn <sub>0,35</sub> )(Nb <sub>1,79</sub> Ti <sub>0,01</sub> Ta <sub>0,23</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
	13-1244-1	135	47,2	16,3	6,3	13,8	0,8	8,7	2,6	0,6	3,7	0,0	0,0	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,63</sub> Mn <sub>0,29</sub> )(Nb <sub>1,18</sub> Si <sub>0,48</sub> Na <sub>0,39</sub> K <sub>0,04</sub> Al <sub>0,16</sub> Ti <sub>0,03</sub> Ta <sub>0,24</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
Яныманья	13-1070-1	136	63,8	13,9	6,2	12,8	0,4	2,1	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,62</sub> Mn <sub>0,30</sub> )(Nb <sub>1,67</sub> Si <sub>0,12</sub> Al <sub>0,03</sub> K <sub>0,02</sub> Ti <sub>0,01</sub> Ta <sub>0,21</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
	13-1070-1	138	66,4	12,4	7,8	11,0	0,4	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,53</sub> Mn <sub>0,38</sub> )(Nb <sub>1,73</sub> Si <sub>0,11</sub> Ti <sub>0,01</sub> Ta <sub>0,19</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит
	13-1070-1	140	62,8	13,6	6,1	13,1	0,3	3,3	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(Fe <sup>2+</sup> <sub>0,63</sub> Mn <sub>0,20</sub> )(Nb <sub>1,65</sub> Si <sub>0,19</sub> Al <sub>0,05</sub> Ti <sub>0,01</sub> Ta <sub>0,21</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	ферроколумбит

## Браннериты

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	CaO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	PbO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	13-230	188	18,6	32,4	22,9	8,3	4,9	0,0	4,70	8,20	100,0	(U <sub>0,64</sub> Si <sub>2,4</sub> Ca <sub>1,38</sub> Fe <sub>0,35</sub> Pb <sub>0,28</sub> Zr <sub>0,26</sub> ) <sub>3</sub> Ti <sub>3,35</sub> O <sub>16</sub>	(U,Ca,Fe,Y,Th) <sub>3</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>16</sub>	браннерит
	13-230	193	26,0	30,7	9,7	14,3	4,1	6,7	0,0	8,50	100,0	(U <sub>0,17</sub> Si <sub>3,12</sub> Ca <sub>1,78</sub> Al <sub>0,83</sub> Fe <sub>0,32</sub> Pb <sub>0,28</sub> ) <sub>3</sub> Ti <sub>2,79</sub> O <sub>16</sub>	(U,Ca,Fe,Y,Th) <sub>3</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>16</sub>	браннерит
	13-230	194	22,7	30,0	15,5	10,9	4,9	6,2	0,0	9,80	100,0	(U <sub>0,3</sub> Si <sub>2,93</sub> Ca <sub>1,4</sub> Al <sub>0,77</sub> Fe <sub>0,39</sub> Pb <sub>0,31</sub> ) <sub>3</sub> Ti <sub>2,97</sub> O <sub>16</sub>	(U,Ca,Fe,Y,Th) <sub>3</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>16</sub>	браннерит
	13-230	199	27,7	30,4	10,4	14,6	4,6	7,7	4,6	0,0	100,0	(U <sub>0,27</sub> Ca <sub>2,1</sub> Si <sub>2,03</sub> Al <sub>1,04</sub> Fe <sub>0,33</sub> Zr <sub>0,20</sub> ) <sub>3</sub> Ti <sub>3,33</sub> O <sub>16</sub>	(U,Ca,Fe,Y,Th) <sub>3</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>16</sub>	браннерит

## Бетафиты

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	CaO	FeO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	ZrO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BrO <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала	
Большая Турупья	13-230	205	7,7	25,9	25,6	5,1	14,4	21,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,47</sub> Cu <sub>0,17</sub> Si <sub>0,46</sub> Y <sub>0,61</sub> )(Nb <sub>0,83</sub> Ti <sub>1,72</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	бетафит	
	13-230	207	21,3	17,6	17,5	3,3	9,2	14,0	3,6	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	100,0	(U <sub>0,26</sub> Cu <sub>0,11</sub> Fe <sub>0,14</sub> K <sub>0,23</sub> Al <sub>0,77</sub> Si <sub>1,55</sub> Y <sub>0,32</sub> )(Nb <sub>0,45</sub> Ti <sub>0,96</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	208	14,2	22,7	22,5	4,9	14,0	16,8	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,39</sub> Cu <sub>0,16</sub> Al <sub>0,53</sub> Si <sub>1,1</sub> Y <sub>0,45</sub> )(Nb <sub>0,60</sub> Ti <sub>1,42</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	210	9,9	23,8	24,4	5,1	14,4	22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,47</sub> Cu <sub>0,18</sub> Si <sub>0,66</sub> Y <sub>0,52</sub> )(Nb <sub>0,79</sub> Ti <sub>1,64</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	211	12,9	22,9	24,9	3,8	9,7	17,4	1,8	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,41</sub> Cu <sub>0,15</sub> Fe <sub>0,17</sub> Al <sub>0,52</sub> Si <sub>1,0</sub> Y <sub>0,37</sub> )(Nb <sub>0,53</sub> Ti <sub>1,36</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	212	7,2	27,2	30,5	3,8	10,8	16,2	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,55</sub> Cu <sub>0,16</sub> Ca <sub>0,29</sub> Si <sub>0,54</sub> Y <sub>0,45</sub> )(Nb <sub>0,61</sub> Ti <sub>1,77</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	213	16,9	21,0	22,8	4,7	9,6	14,9	0,0	10,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,36</sub> Cu <sub>0,14</sub> Al <sub>0,77</sub> Si <sub>1,25</sub> Y <sub>0,32</sub> )(Nb <sub>0,48</sub> Ti <sub>1,19</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	215	10,5	26,9	28,9	6,0	11,5	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,54</sub> Cu <sub>0,2</sub> Si <sub>0,73</sub> Y <sub>0,44</sub> )(Nb <sub>0,58</sub> Ti <sub>1,78</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	бетафит

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	CaO	FeO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	ZrO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BrO <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	13-230	216	18,4	26,9	28,4	7,8	0,0	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,48</sub> Cu <sub>0,2</sub> Si <sub>1,31</sub> )(Nb <sub>0,59</sub> Ti <sub>1,6</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	217	10,7	23,2	24,7	5,2	11,3	17,3	0,0	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,45</sub> Cu <sub>0,17</sub> Al <sub>0,51</sub> Si <sub>0,74</sub> Y <sub>0,42</sub> )(Nb <sub>0,62</sub> Ti <sub>1,49</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	232	9,7	23,8	17,7	4,9	14,9	21,1	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,14</sub> Al <sub>0,57</sub> Si <sub>0,66</sub> Y <sub>0,6</sub> )(Nb <sub>0,76</sub> Ti <sub>1,45</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	233	15,1	20,9	20,6	3,9	10,8	15,8	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	100,0	(U <sub>0,3</sub> Cu <sub>0,14</sub> K <sub>0,29</sub> Al <sub>0,81</sub> Si <sub>1,11</sub> Y <sub>0,4</sub> )(Nb <sub>0,52</sub> Ti <sub>1,18</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	234	18,0	19,7	17,1	0,0	13,7	16,4	0,0	15,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,24</sub> Al <sub>1,18</sub> Si <sub>1,42</sub> Y <sub>0,38</sub> )(Nb <sub>0,5</sub> Ti <sub>1,8</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	235	16,6	22,2	19,0	0,0	12,7	18,2	0,0	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,3</sub> Al <sub>0,84</sub> Si <sub>1,2</sub> Y <sub>0,45</sub> )(Nb <sub>0,61</sub> Ti <sub>1,1</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	244	7,4	26,5	27,5	0,0	13,0	20,6	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,49</sub> Zr <sub>0,12</sub> Ca <sub>0,26</sub> Si <sub>0,47</sub> Y <sub>0,52</sub> )(Nb <sub>0,75</sub> Ti <sub>1,68</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	245	0,0	30,4	34,2	0,0	14,2	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,67</sub> Y <sub>0,57</sub> )(Nb <sub>0,75</sub> Ti <sub>2,11</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	246	9,6	22,6	25,3	0,0	11,3	17,9	0,0	0,0	4,6	8,7	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,51</sub> Si <sub>0,8</sub> Y <sub>0,52</sub> )(Nb <sub>0,72</sub> Ti <sub>1,62</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	247	10,3	23,9	25,1	0,0	11,2	17,3	0,0	7,3	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,45</sub> Al <sub>0,56</sub> Si <sub>0,75</sub> Y <sub>0,44</sub> )(Nb <sub>0,62</sub> Ti <sub>1,52</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	265	0,0	27,30	25,10	0,0	14,7	23,7	4,3	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,42</sub> Ca <sub>0,29</sub> Fe <sub>0,18</sub> Y <sub>1,18</sub> )(Nb <sub>0,86</sub> Ti <sub>1,65</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	266	8,7	23,2	23,8	0,0	11,2	18,3	3,9	7,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,4</sub> Ca <sub>0,25</sub> Fe <sub>0,19</sub> Al <sub>0,58</sub> Si <sub>0,66</sub> Y <sub>0,45</sub> )(Nb <sub>0,65</sub> Ti <sub>1,4</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	305	8,4	24,9	28,5	0,0	10,8	16,9	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,52</sub> Na <sub>1,56</sub> Si <sub>0,61</sub> Y <sub>0,44</sub> )(Nb <sub>0,61</sub> Ti <sub>1,61</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	306	0,0	29,1	38,8	0,0	8,0	12,4	0,0	0,0	4,0	0,0	7,7	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,75</sub> Na <sub>1,21</sub> Ca <sub>0,31</sub> Y <sub>0,35</sub> )(Nb <sub>0,48</sub> Ti <sub>2,0</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
	13-230	310	0,0	28,1	28,8	0,0	14,0	22,5	0,0	0,0	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,55</sub> Ca <sub>0,37</sub> Y <sub>0,58</sub> )(Nb <sub>0,89</sub> Ti <sub>1,92</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит
13-230	311	6,0	27,2	29,5	0,0	12,3	19,3	0,0	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	(U <sub>0,56</sub> Si <sub>0,33</sub> Ca <sub>0,33</sub> Y <sub>0,51</sub> )(Nb <sub>0,74</sub> Ti <sub>1,83</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит	
13-230	318	10,6	24,7	26,6	0,0	12,6	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	100,0	(U <sub>0,61</sub> Si <sub>0,83</sub> Ca <sub>0,33</sub> Y <sub>0,58</sub> )(Nb <sub>0,22</sub> Ti <sub>2,01</sub> ) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> ×nH <sub>2</sub> O	(U,Ca,Th,Y,Ce)(Nb,Ta,Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> × nH <sub>2</sub> O	бетафит	

## У-ксенотимы

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	UO <sub>2</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ag <sub>2</sub> O	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	13-230	301	4,9	37,7	46,9	0,0	0,0	3,2	4,3	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Y <sub>0,77</sub> U <sub>0,02</sub> Dy <sub>0,02</sub> Er <sub>0,01</sub> P <sub>0,96</sub> O <sub>4</sub>	Y(PO <sub>4</sub> )	У-ксенотим
	13-230	303	14,4	34,4	43,3	0,0	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Y <sub>0,70</sub> U <sub>0,02</sub> Si <sub>0,34</sub> P <sub>0,86</sub> O <sub>4</sub>	Y(PO <sub>4</sub> )	У-ксенотим
Хунтынья	13-1244-1	1765	4,1	32,5	47,1	0,7	0,9	0,0	4,2	3,3	2,0	0,9	2,9	1,0	0,6	100,0	Y <sub>0,82</sub> Dy <sub>0,04</sub> Er <sub>0,03</sub> Yb <sub>0,03</sub> Gd <sub>0,02</sub> Ho <sub>0,01</sub> Ag <sub>0,01</sub> Si <sub>0,13</sub> K <sub>0,03</sub> P <sub>0,9</sub> O <sub>4</sub>	Y(PO <sub>4</sub> )	У-ксенотим

## Халькозины

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	CuO	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ag <sub>2</sub> O	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	13-230	171	0,0	58,3	39,0	0,0	2,7	100,0	Cu <sub>0,24</sub> Ag <sub>0,05</sub> S <sub>0,2</sub>	Cu <sub>2</sub> S	халькозин
	13-230	172	2,3	90,3	3,5	2,2	1,7	100,0	Cu <sub>0,68</sub> Si <sub>0,03</sub> Al <sub>0,03</sub> Ag <sub>0,02</sub> S <sub>0,04</sub>	Cu <sub>2</sub> S	халькозин
	13-230	173	0,0	58,5	36,3	0,0	5,2	100,0	Cu <sub>0,27</sub> Ag <sub>0,08</sub> S <sub>0,23</sub>	Cu <sub>2</sub> S	халькозин

## Халькопириты

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	CuO	FeO	SO <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	13-230	181	32,5	29,2	38,3	100,0	$Cu_{0,11}Fe^{2+}_{0,12}S_{0,25}$	$CuFeS_2$	халькопирит
	13-230	182	30,6	28,9	40,5	100,0	$Cu_{0,11}Fe^{2+}_{0,12}S_{0,25}$	$CuFeS_2$	халькопирит
	13-230	183	30,8	27,7	41,5	100,0	$Cu_{0,12}Fe^{2+}_{0,12}S_{0,25}$	$CuFeS_2$	халькопирит
	13-230	184	39,8	27,4	32,8	100,0	$Cu_{0,11}Fe^{2+}_{0,12}S_{0,25}$	$CuFeS_2$	халькопирит
	13-230	185	31,1	30,4	38,5	100,0	$Cu_{0,12}Fe^{2+}_{0,13}S_{0,25}$	$CuFeS_2$	халькопирит
	13-230	214	30,6	25,6	43,8	100,0	$Cu_{0,12}Fe^{2+}_{0,11}S_{0,25}$	$CuFeS_2$	халькопирит
	13-230	275	33,0	26,8	40,2	100,0	$Cu_{0,12}Fe^{2+}_{0,12}S_{0,24}$	$CuFeS_2$	халькопирит
	13-230	276	33,3	29,9	36,8	100,0	$Cu_{0,11}Fe^{2+}_{0,12}S_{0,24}$	$CuFeS_2$	халькопирит
	13-230	277	31,6	29,7	38,7	100,0	$Cu_{0,11}Fe^{2+}_{0,12}S_{0,24}$	$CuFeS_2$	халькопирит
13-230	278	37,7	28,3	34,0	100,0	$Cu_{0,21}Fe^{2+}_{0,12}S_{0,21}$	$CuFeS_2$	халькопирит	

## Титаниты

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	FeO	ZrO <sub>2</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	13-230	195	41,9	27,9	4,2	20,4	0,0	0,0	0,0	5,6	100,0	$Ca_{0,7}Ti_{0,67}Zr_{0,14}Al_{0,12}Si_{1,37}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит
	13-230	197	43,9	27,2	4,2	23,3	1,4	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ca_{0,76}Ti_{0,62}Al_{0,15}Nb_{0,02}Si_{1,34}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит
	13-230	198	42,6	24,7	11,2	21,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ca_{0,69}Ti_{0,56}Al_{0,40}Si_{1,28}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит
	13-230	201	41,6	25,2	8,1	20,3	0,0	4,8	0,0	0,0	100,0	$Na_{0,23}Ca_{0,67}Ti_{0,58}Al_{0,26}Si_{1,3}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит
	13-230	202	32,4	30,5	8,1	29,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ca_{0,99}Ti_{0,73}Al_{0,30}Si_{1,03}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит
	13-230	203	32,9	30,6	7,8	28,9	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ca_{1,0}Ti_{0,73}Al_{0,27}Si_{1,05}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит
	13-230	204	44,6	25,6	7,7	22,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ca_{0,72}Ti_{0,58}Al_{0,28}Si_{1,35}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит
	13-230	253	47,2	25,4	6,8	20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ca_{0,67}Ti_{0,57}Al_{0,24}Si_{1,41}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит
	13-230	254	64,2	20,2	0,0	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ca_{0,48}Ti_{0,43}Si_{1,83}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит
14-623-6	60	30,2	37,9	1,3	28,3	1,3	0,0	1,0	0,0	100,0	$Na_{0,06}Ca_{0,99}Ti_{0,93}Al_{0,05}Si_{0,98}Nb_{0,04}O_5$	$CaTiSiO_5$	титанит	

## Ильменорутилы

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	TiO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	SnO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	14-623-6	35	78,7	10,4	6,6	1,5	0,8	0,0	0,0	2,0	100,0	$Ti_{0,78}Nb_{0,12}Fe^{2+}_{0,07}Cr_{0,02}Si_{0,02}Al_{0,01}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил
	14-623-6	36	84,9	7,8	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ti_{0,85}Nb_{0,09}Fe^{2+}_{0,08}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил
	14-623-6	37	72,6	10,8	8,7	5,4	0,0	0,0	2,5	0,0	100,0	$Ti_{0,72}Nb_{0,12}Fe^{2+}_{0,09}Si_{0,07}Sn_{0,02}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил
	14-623-6	41	91,5	4,3	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ti_{0,92}Nb_{0,04}Fe^{2+}_{0,04}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил
	14-623-6	53	51,7	14,0	8,0	15,8	4,5	0,0	0,0	6,0	100,0	$Ti_{0,48}Nb_{0,15}Fe^{2+}_{0,08}Si_{0,12}Al_{0,07}Ta_{0,06}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил
	14-623-6	55	86,2	6,1	5,4	1,5	0,0	0,8	0,0	0,0	100,0	$Ti_{0,86}Nb_{0,07}Fe^{2+}_{0,06}Si_{0,02}Mn_{0,01}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил
	14-623-6	57	80,8	10,5	7,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ti_{0,79}Nb_{0,11}Fe^{2+}_{0,07}Si_{0,02}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил
	14-623-6	58	84,7	7,9	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ti_{0,85}Nb_{0,09}Fe^{2+}_{0,08}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил
	14-623-6	95	66,8	18,3	9,4	2,1	3,4	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ti_{0,64}Nb_{0,20}Fe^{2+}_{0,10}Si_{0,03}Al_{0,05}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил
14-623-6	99	71,3	13,5	9,2	3,9	2,1	0,0	0,0	0,0	100,0	$Ti_{0,69}Nb_{0,15}Fe^{2+}_{0,10}Si_{0,05}Al_{0,03}O_2$	$(Ti,Nb,Fe)O_2$	ильменорутил	

## Сфалериты

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	ZnO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая	13-230	295	62,4	37,6	0,0	100,0	Zn <sub>0,35</sub> S <sub>0,22</sub>	ZnS	сфалерит
Турупья	13-230	296	52,3	38,8	8,9	100,0	Na <sub>0,12</sub> Zn <sub>0,28</sub> S <sub>0,21</sub>	ZnS	сфалерит

## Цирконы

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	MgO	Ag <sub>2</sub> O	HfO <sub>2</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая	14-623-6	112	56,1	34,2	4,2	1,9	1,3	0,0	1,2	1,1	100,0	Zr <sub>0,81</sub> Si <sub>1,02</sub> Al <sub>0,15</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,05</sub> K <sub>0,05</sub> Ag <sub>0,02</sub> Hf <sub>0,01</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон
Турупья	14-623-6	113	50,6	35,4	6,4	3,1	2,5	0,8	0,0	1,2	100,0	Zr <sub>0,72</sub> Si <sub>1,03</sub> Al <sub>0,22</sub> K <sub>0,09</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,08</sub> Mg <sub>0,03</sub> Hf <sub>0,01</sub> O <sub>4</sub>	ZrSiO <sub>4</sub>	циркон

## Пирротины

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая	13-230	177	57,9	4,3	0,0	0,0	2,0	35,8	100,0	Fe <sup>2+</sup> <sub>0,34</sub> Si <sub>0,03</sub> Cr <sub>0,01</sub> S <sub>0,19</sub>	FeS	пирротин
Турупья	13-230	179	37,4	6,4	1,9	2,7	0,0	56,2	100,0	Na <sub>0,03</sub> Fe <sup>2+</sup> <sub>0,17</sub> Si <sub>0,03</sub> Al <sub>0,01</sub> S <sub>0,24</sub>	FeS	пирротин

## Вульфенит

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	PbO	MoO <sub>3</sub>	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Большая Турупья	13-230	294	62,4	37,6	100,0	Pb <sub>1,07</sub> Mo <sub>0,97</sub> O <sub>4</sub>	Pb(MoO <sub>4</sub> )	вульфенит

## Y-поликразы

Название объекта	Ятья				Хунтынья			Хунтынья						
	12-617-1				13-1240-1			13-1244-1						
№ образца	1653	1654	1660	1663	1729	1730	1740	1775	1777	1778	1787	1788	1798	1801
Спектр/Элемент	1653	1654	1660	1663	1729	1730	1740	1775	1777	1778	1787	1788	1798	1801
SiO <sub>2</sub>	1,0	1,3	1,2	1,9	2,2	1,2	3,1	0,0	3,5	1,3	1,5	4,3	1,9	2,1
K <sub>2</sub> O	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
CaO	0,2	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	1,0	0,5	0,3	0,0	0,8	0,6
TiO <sub>2</sub>	51,6	48,0	42,2	47,4	36,8	31,6	33,4	38,3	38,1	37,9	39,7	35,4	37,7	38,1
FeO	0,5	0,0	14,4	0,8	1,2	0,9	1,8	0,5	1,1	0,4	0,6	0,0	0,0	1,7
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,3	20,7	16,7	20,4	22,1	21,6	20,6	22,2	20,9	20,9	19,7	20,5	20,1	19,1
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,0	8,4	6,5	5,9	18,2	23,9	22,3	18,7	16,5	17,7	15,3	21,2	18,0	14,4
Ag <sub>2</sub> O	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	1,0
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	1,8	1,1	1,5	0,0	1,4	1,0	0,0	1,6	1,5	2,6	0,0	0,0	1,7
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,3	3,4	3,1	3,7	0,0	1,4	1,0	2,2	2,7	2,1	4,2	2,9	1,4	2,0
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,4	1,9	2,1	1,9	1,5	3,1	2,0	1,6	1,4	1,4	2,1	1,7	1,5	2,0
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,1	4,8	3,9	4,3	2,2	2,3	2,3	3,2	2,4	2,6	2,9	3,4	3,9	3,8
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,5	5,6	4,9	6,0	3,9	3,8	3,4	4,1	3,7	3,9	3,9	3,9	4,7	5,0
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	0,0	0,0	1,1	1,1	0,9	0,0	0,0	0,0	0,9	1,0	0,0	0,0	1,3

Спектр/ Элемент	1653	1654	1660	1663	1729	1730	1740	1775	1777	1778	1787	1788	1798	1801
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,9	2,3	2,0	2,5	2,9	2,0	2,5	2,6	2,1	2,8	1,9	1,9	2,5	2,6
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,8	1,3	1,2	1,4	1,7	1,3	1,8	1,9	1,4	1,7	1,3	1,5	1,3	2,3
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	1,6	1,5	1,4	0,0	1,2	1,4	1,7	1,8	1,6
ThO <sub>2</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	2,8	1,7	2,7	2,9	1,8	0,0	3,1	0,0
UO <sub>2</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,1	0,0	1,1	0,8	0,0	0,0	0,0	1,2	0,8
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
Y <sub>1</sub> /Ce <sub>1</sub>	6,4	2,5	2,5	2,7	6,6	3,6	4,4	4,4	3,5	3,9	2,4	3,5	4,2	3,2
HREE/LREE	3,7	2,0	1,9	2,1	4,6	1,7	2,4	3,1	1,7	2,3	1,2	2,3	4,3	2,7
<b>Спектр</b>	<b>Эмпирическая формула</b>							<b>Формула</b>			<b>Название минерала</b>			
1653	(Y <sub>0,75</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,08</sub> Er <sub>0,05</sub> Yb <sub>0,05</sub> Nd <sub>0,04</sub> Gd <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,02</sub> Ho <sub>0,01</sub> ) <sub>1,03</sub> (Ti <sub>2,1</sub> Nb <sub>0,07</sub> Si <sub>0,01</sub> Fe <sub>0,01</sub> ) <sub>2,17</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1654	(Y <sub>0,58</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,11</sub> Gd <sub>0,09</sub> Nd <sub>0,06</sub> Er <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,03</sub> Ce <sub>0,03</sub> Yb <sub>0,01</sub> ) <sub>0,95</sub> (Ti <sub>1,9</sub> Nb <sub>0,2</sub> Si <sub>0,06</sub> ) <sub>2,16</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1660	(Y <sub>0,48</sub> Ca <sub>0,01</sub> Fe <sub>0,67</sub> Dy <sub>0,1</sub> Gd <sub>0,07</sub> Nd <sub>0,06</sub> Sm <sub>0,04</sub> Er <sub>0,04</sub> Ce <sub>0,02</sub> Yb <sub>0,02</sub> Ag <sub>0,01</sub> ) <sub>1,5</sub> (Ti <sub>1,7</sub> Nb <sub>0,16</sub> Fe <sub>0,12</sub> Si <sub>0,06</sub> ) <sub>1,9</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1663	(Y <sub>0,58</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,11</sub> Gd <sub>0,08</sub> Nd <sub>0,07</sub> Er <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,03</sub> Yb <sub>0,02</sub> Ce <sub>0,01</sub> Ho <sub>0,01</sub> ) <sub>0,95</sub> (Ti <sub>1,95</sub> Nb <sub>0,14</sub> Si <sub>0,1</sub> K <sub>0,01</sub> ) <sub>2,2</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1729	(Y <sub>0,65</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,07</sub> Er <sub>0,05</sub> Gd <sub>0,04</sub> Yb <sub>0,03</sub> Nd <sub>0,02</sub> Sm <sub>0,02</sub> Th <sub>0,03</sub> U <sub>0,01</sub> ) <sub>0,93</sub> (Ti <sub>1,56</sub> Nb <sub>0,45</sub> Si <sub>0,09</sub> Fe <sub>0,05</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2,15</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1730	(Y <sub>0,64</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,07</sub> Nd <sub>0,06</sub> Gd <sub>0,04</sub> Er <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,02</sub> Ce <sub>0,02</sub> Yb <sub>0,02</sub> Ag <sub>0,04</sub> U <sub>0,01</sub> ) <sub>0,97</sub> (Ti <sub>1,39</sub> Nb <sub>0,62</sub> Si <sub>0,06</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2,07</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1740	(Y <sub>0,59</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,06</sub> Er <sub>0,04</sub> Gd <sub>0,04</sub> Nd <sub>0,03</sub> Sm <sub>0,02</sub> Th <sub>0,02</sub> ) <sub>0,86</sub> (Ti <sub>1,39</sub> Nb <sub>0,55</sub> Si <sub>0,17</sub> Fe <sub>0,08</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2,19</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1775	(Y <sub>0,66</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,08</sub> Gd <sub>0,06</sub> Nd <sub>0,04</sub> Er <sub>0,04</sub> Yb <sub>0,03</sub> Sm <sub>0,02</sub> Th <sub>0,02</sub> U <sub>0,01</sub> ) <sub>0,98</sub> (Ti <sub>1,62</sub> Nb <sub>0,66</sub> Fe <sub>0,02</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2,3</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1777	(Y <sub>0,6</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,07</sub> Nd <sub>0,05</sub> Gd <sub>0,04</sub> Er <sub>0,03</sub> Ce <sub>0,02</sub> Yb <sub>0,02</sub> Sm <sub>0,02</sub> Th <sub>0,02</sub> U <sub>0,01</sub> ) <sub>0,93</sub> (Ti <sub>1,57</sub> Nb <sub>0,4</sub> Si <sub>0,19</sub> Fe <sub>0,04</sub> ) <sub>2,16</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1778	(Y <sub>0,62</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,07</sub> Er <sub>0,05</sub> Nd <sub>0,04</sub> Gd <sub>0,04</sub> Yb <sub>0,03</sub> Ce <sub>0,02</sub> Yb <sub>0,02</sub> Sm <sub>0,02</sub> Th <sub>0,03</sub> ) <sub>0,92</sub> (Ti <sub>1,61</sub> Nb <sub>0,44</sub> Si <sub>0,07</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2,14</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1787	(Y <sub>0,58</sub> Ca <sub>0,01</sub> Nd <sub>0,08</sub> Dy <sub>0,07</sub> Gd <sub>0,05</sub> Ce <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,04</sub> Er <sub>0,03</sub> Yb <sub>0,02</sub> Th <sub>0,02</sub> ) <sub>0,93</sub> (Ti <sub>1,69</sub> Nb <sub>0,38</sub> Si <sub>0,08</sub> Ta <sub>0,01</sub> ) <sub>2,16</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1788	(Y <sub>0,32</sub> Dy <sub>0,07</sub> Gd <sub>0,07</sub> Nd <sub>0,05</sub> Er <sub>0,03</sub> Sm <sub>0,03</sub> Yb <sub>0,02</sub> Ag <sub>0,04</sub> ) <sub>0,63</sub> (Ti <sub>1,5</sub> Nb <sub>0,55</sub> Si <sub>0,24</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2,316</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1798	(Y <sub>0,59</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,09</sub> Gd <sub>0,07</sub> Er <sub>0,04</sub> Nd <sub>0,02</sub> Sm <sub>0,02</sub> Yb <sub>0,02</sub> Th <sub>0,02</sub> U <sub>0,01</sub> ) <sub>0,88</sub> (Ti <sub>1,58</sub> Nb <sub>0,45</sub> Si <sub>0,1</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2,15</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			
1801	(Y <sub>0,57</sub> Ca <sub>0,01</sub> Dy <sub>0,1</sub> Gd <sub>0,07</sub> Er <sub>0,04</sub> Nd <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,04</sub> Yb <sub>0,04</sub> Ag <sub>0,03</sub> U <sub>0,01</sub> ) <sub>1,0</sub> (Ti <sub>1,62</sub> Nb <sub>0,36</sub> Si <sub>0,11</sub> Fe <sub>0,07</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>2,11</sub> O <sub>6</sub>							(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			Y-поликраз			

## Монациты

Название объекта	№ образца	Элементы/ спектры	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PbO	Сумма	Эмпирическая формула	Формула	Название минерала
Ятья	12-617-1	1679	35,3	1,9	3,8	18,5	6,7	4,8	20,5	3,2	2,4	1,7	1,3	100,0	(Nd <sub>0,3</sub> La <sub>0,27</sub> Ce <sub>0,09</sub> Pr <sub>0,06</sub> Y <sub>0,05</sub> Sm <sub>0,04</sub> Gd <sub>0,03</sub> DY <sub>0,01</sub> Ca <sub>0,07</sub> Pb <sub>0,01</sub> ) <sub>0,93</sub> P <sub>1,02</sub> O <sub>4</sub>	(Nd,La,Ce,)PO <sub>4</sub>	Nd-монацит
	12-617-1	1680	32,4	2,0	3,5	19,9	7,6	4,8	17,8	3,5	3,1	2,2	3,1	100,0	(La <sub>0,28</sub> Nd <sub>0,25</sub> Ce <sub>0,11</sub> Pr <sub>0,06</sub> Y <sub>0,04</sub> Sm <sub>0,04</sub> Gd <sub>0,04</sub> Dy <sub>0,02</sub> Ca <sub>0,08</sub> Pb <sub>0,03</sub> ) <sub>0,95</sub> P <sub>1,02</sub> O <sub>4</sub>	(Nd,La,Ce,)PO <sub>4</sub>	La-монацит
	12-617-1	1684	31,3	2,8	3,1	22,4	10,4	4,7	24,0	0,0	0,0	0,0	1,33	100,0	(Nd <sub>0,33</sub> La <sub>0,31</sub> Ce <sub>0,14</sub> Pr <sub>0,06</sub> Y <sub>0,06</sub> Ca <sub>0,11</sub> Pb <sub>0,01</sub> ) <sub>1,023</sub> P <sub>0,99</sub> O <sub>4</sub>	(Nd,La,Ce,)PO <sub>4</sub>	Nd-монацит
	12-617-1	1686	33,9	1,9	3,7	19,2	9,5	4,0	20,9	3,2	1,9	0,0	1,8	100,0	(Nd <sub>0,27</sub> La <sub>0,25</sub> Ce <sub>0,12</sub> Y <sub>0,07</sub> Pr <sub>0,05</sub> Sm <sub>0,03</sub> Gd <sub>0,02</sub> Ca <sub>0,07</sub> Pb <sub>0,01</sub> ) <sub>0,89</sub> P <sub>1,05</sub> O <sub>4</sub>	(Nd,La,Ce,)PO <sub>4</sub>	Nd-монацит
	12-617-1	1687	32,9	1,3	4,4	23,2	1,5	5,2	27,4	3,9	0,0	0,0	0,0	100,0	(Nd <sub>0,38</sub> La <sub>0,32</sub> Y <sub>0,08</sub> Pr <sub>0,07</sub> Sm <sub>0,05</sub> Ge <sub>0,01</sub> Ca <sub>0,05</sub> ) <sub>0,96</sub> P <sub>1,01</sub> O <sub>4</sub>	(Nd,La,Ce,)PO <sub>4</sub>	Nd-монацит

## Се-алланит

Название объекта	Хунтынья						
№ образца	13-1240-1						
Спектр/Элемент	1741	1742	1751	1752	1753	1754	1757
SiO <sub>2</sub>	35,2	34,4	34,6	34,3	34,3	35,7	32,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,5	19,4	19,5	19,3	20,5	19,6	17,5
K <sub>2</sub> O	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
CaO	13,8	14,5	13,8	14,7	14,0	14,9	14,5
TiO <sub>2</sub>	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
MnO	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	0,8	0,8
FeO	13,7	13,6	13,0	12,7	12,3	13,4	13,9
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9	4,4	3,7	3,7	4,0	3,5	4,1
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,8	10,0	10,2	9,8	10,4	9,6	9,7
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	0,0	0,9	0,8	1,0	0,0	0,7
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,6	2,7	3,1	2,9	2,7	2,4	2,2
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8
сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Спектр	Эмпирическая формула			Формула		Название минерала	
1741	(Ca <sub>1,32</sub> Mn <sub>0,07</sub> Ce <sub>0,32</sub> La <sub>0,12</sub> Nd <sub>0,07</sub> ) <sub>1,93</sub> (Al <sub>2,1</sub> Fe <sub>1,05</sub> K <sub>0,05</sub> ) <sub>3,2</sub> [Si <sub>2,1</sub> O <sub>7</sub> ]O(OH)			CaCeAl <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)		Се-алланит	
1742	(Ca <sub>1,53</sub> Mn <sub>0,08</sub> Ce <sub>0,35</sub> La <sub>0,15</sub> Nd <sub>0,08</sub> ) <sub>2,19</sub> (Al <sub>2,2</sub> Fe <sub>0,29</sub> ) <sub>2,49</sub> [Si <sub>2,0</sub> O <sub>7</sub> ]O(OH)			CaCeAl <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)		Се-алланит	
1751	(Ca <sub>1,37</sub> Mn <sub>0,08</sub> Ce <sub>0,3</sub> La <sub>0,12</sub> Nd <sub>0,1</sub> Pr <sub>0,02</sub> ) <sub>1,99</sub> (Al <sub>2,1</sub> Fe <sub>1,0</sub> ) <sub>3,1</sub> [Si <sub>2,0</sub> O <sub>7</sub> ]O(OH)			CaCeAl <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)		Се-алланит	
1752	(Ca <sub>1,2</sub> Mn <sub>0,05</sub> Ce <sub>0,27</sub> La <sub>0,1</sub> Nd <sub>0,07</sub> Pr <sub>0,01</sub> ) <sub>1,7</sub> (Al <sub>3,1</sub> Fe <sub>1,0</sub> Sc <sub>0,01</sub> ) <sub>4,1</sub> [Si <sub>2,0</sub> O <sub>7</sub> ]O(OH)			CaCeAl <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)		Се-алланит	
1753	(Ca <sub>1,38</sub> Mn <sub>0,06</sub> Ce <sub>0,34</sub> La <sub>0,13</sub> Nd <sub>0,08</sub> Pr <sub>0,03</sub> ) <sub>2,02</sub> (Al <sub>2,2</sub> Fe <sub>0,95</sub> ) <sub>3,1</sub> [Si <sub>2,0</sub> O <sub>7</sub> ]O(OH)			CaCeAl <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)		Се-алланит	
1754	(Ca <sub>1,45</sub> Mn <sub>0,06</sub> Ce <sub>0,31</sub> La <sub>0,11</sub> Nd <sub>0,07</sub> ) <sub>2,0</sub> (Al <sub>2,1</sub> Fe <sub>1,02</sub> ) <sub>3,12</sub> [Si <sub>2,1</sub> O <sub>7</sub> ]O(OH)			CaCeAl <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)		Се-алланит	
1757	(Ca <sub>1,45</sub> Mn <sub>0,06</sub> Ce <sub>0,64</sub> La <sub>0,13</sub> Nd <sub>0,06</sub> Pr <sub>0,02</sub> ) <sub>1,99</sub> (Al <sub>1,92</sub> Fe <sub>1,08</sub> Cr <sub>0,19</sub> Mg <sub>0,06</sub> Sc <sub>0,01</sub> ) <sub>3,26</sub> [Si <sub>2,0</sub> O <sub>7</sub> ]O(OH)			CaCeAl <sub>2</sub> Fe(SiO <sub>4</sub> )(Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )O(OH)		Се-алланит	

**ПРИЛОЖЕНИЕ 9.** Содержания химических элементов ( $10^{-3}$  мас.%) метасоматитов рудопроявления Большая Турупья по результатам приближенно-количественного эмиссионного спектрального (ПКЭСА) анализа

проба/ элемент	14-623	14-623-1	14-623-2	14-623-3	14-623-4	14-623-5	14-623-6	14-623-7	14-623-8	14-623-9	14-623-10	14-623-11
Cu	1,5	1,0	0,5	1,0	1,5	1,0	3,0	1,0	1,0	5,0	1,5	0,7
Zn	20,0	20,0	15,0	40,0	18,0	10,0	50,0	30,0	40,0	40,0	30,0	9,0
Pb	10,0	0,5	5,0	4,0	0,7	<0,2	20,0	1,0	20,0	20,0	1,0	0,9
Sn	1,8	0,4	2,0	1,8	0,4	0,15	20,0	0,3	1,5	1,5	0,15	<0,1
Ag	<0,005	<0,005	0,006	0,005	<0,005	<0,005	0,007	<0,005	0,005	0,02	<0,005	<0,005
Mo	0,2	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1
Be	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	0,2	2,0	0,15	4,0	5,0	0,15	0,1
Cr	0,4	0,5	<0,3	0,3	<0,3	<0,3	1,0	0,3	0,7	<0,3	0,3	2,0
Ni	0,4	1,0	0,4	0,6	1,0	1,0	1,8	0,7	1,0	0,4	2,0	0,6
Co	<0,5	1,5	<0,5	<0,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	<0,5	0,5	0,6
Sr	10,0	30,0	20,0	<10,0	50,0	30,0	30,0	30,0	50,0	20,0	20,0	15,0
Ba	50,0	70,0	40,0	40,0	70,0	60,0	60,0	40,0	70,0	60,0	15,0	40,0
Ti	50,0	600,0	30,0	30,0	500,0	700,0	400,0	700,0	500,0	100,0	200,0	400,0
V	1,0	10,0	0,5	1,0	5,0	10,0	10,0	10,0	10,0	7,0	10,0	4,0
Mn	100,0	180,0	15,0	15,0	60,0	150,0	40,0	150,0	150,0	180,0	60,0	100,0
Sc	0,2	1,0	0,3	<0,2	0,5	1,5	1,5	1,0	1,5	0,5	0,9	1,5
P	60,0	300,0	60,0	<60,0	700,0	200,0	100,0	500,0	100,0	60,0	70,0	70,0
Ge	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	100,0	0,15	0,2	<0,1	<0,1	<0,1
Bi	0,15	<0,1	0,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,15	<0,1	<0,1
Nb	60,0	15,0	70,0	100,0	4,0	2,0	100,0	5,0	40,0	70,0	<0,5	0,6
Zr	50,0	20,0	60,0	100,0	15,0	15,0	400,0	18,0	180,0	180,0	9,0	10,0
Li	<1,0	1,0	<1,0	<1,0	3,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	2,0
Ce	<10,0	40,0	<10,0	50,0	<10,0	10,0	30,0	<10,0	50,0	50,0	<10,0	10,0
Y	5,0	2,0	5,0	5,0	1,8	2,0	10,0	2,0	10,0	10,0	1,0	1,5
Yb	0,4	0,2	0,5	0,4	0,18	0,2	1,0	0,15	1,0	1,0	0,1	0,1

Анализы выполнены в аналитической лабораторий УГГУ