

Санкт-Петербургский государственный университет

ЗУБРИЦКИЙ Артём Сергеевич

Выпускная квалификационная работа

**Петрографические особенности щелочно-ультраосновных пород массива Репоярви,  
Северная Карелия**

Уровень образования: магистратура

Направление 05.03.01 «Геология»

Основная образовательная программа ВМ.5515 «Геология»

Научный руководитель:

к.г.-м.н., доц. Алфимова Н. А.

Санкт-Петербург

2022

<b>Содержание</b>	
Введение .....	3
Структурно-геологическое положение массива Репоярви.....	4
Материалы и методы исследования .....	8
Петрографические особенности пород .....	9
Геохимические особенности пород .....	17
Геохимические особенности минералов .....	22
Обсуждение результатов .....	28
Заключение.....	35
Список литературы.....	36
Приложение 1. Описания шлифов .....	37
Приложение 2.....	66
Приложение 3.....	67
Приложение 4.....	68
Приложение 5.....	80

## Введение

В ходе геологоразведочных работ (ГДП 200) на листе Q-36-VII по геохимическим и геофизическим аномалиям в районе озера Репояври был установлен массив щелочно-ультраосновных пород, который позже был вскрыт бурением. Этот массив является первым за многие годы найденным объектом подобного генезиса на Северо-Западе РФ. Поэтому главным объектом настоящего исследования стали интрузивные тела щелочно-ультраосновных пород массива Репояври.

Цель работы заключается в создании комплексной петрографической характеристики щелочно-ультраосновных пород массива Репояври. Для ее достижения в рамках настоящего исследования были поставлены следующие задачи:

1. Классифицировать исследуемые породы на основании детальной петрографической характеристики.
2. Установить характер распределения петрогенных оксидов и элементов-примесей в исследуемых породах.
3. Проследить эволюцию кристаллизации минеральных фаз исследуемых пород с использованием геохимических и петрографических данных.
4. Установить геохимические характеристики слагающих породы минеральных фаз, а также выделить минералы-коллекторы РЗЭ.
5. Провести сравнительную характеристику массива Репояври с референсными массивами региона по комплексу петрографических, геохимических и минералогических данных, для определения места исследуемых пород в региональной картине.

Автор выражает благодарности Надежде Аркадьевне Алфимовой за советы и неоценимую помощь в процессе написания данной работы, Анатолию Вячеславовичу Матреничеву за предоставление геологических материалов и Дмитрию Владимировича Доливо-Добровольскому за содействие в фотографировании шлифов.

## Структурно-геологическое положение массива Репоярви

Массив Репоярви расположен в северной части Карельской гранит-зеленокаменной области (ГЗО) Балтийского щита в пределах зоны ее сочленения с Беломорским подвижным поясом. В пределах Карельской ГЗО в указанной области находятся Алакурттинский блок среднелопийского возраста и сформировавшийся в верхнем лопии Тикшеозерско-Пебозерский зеленокаменный пояс. (рис. 1)

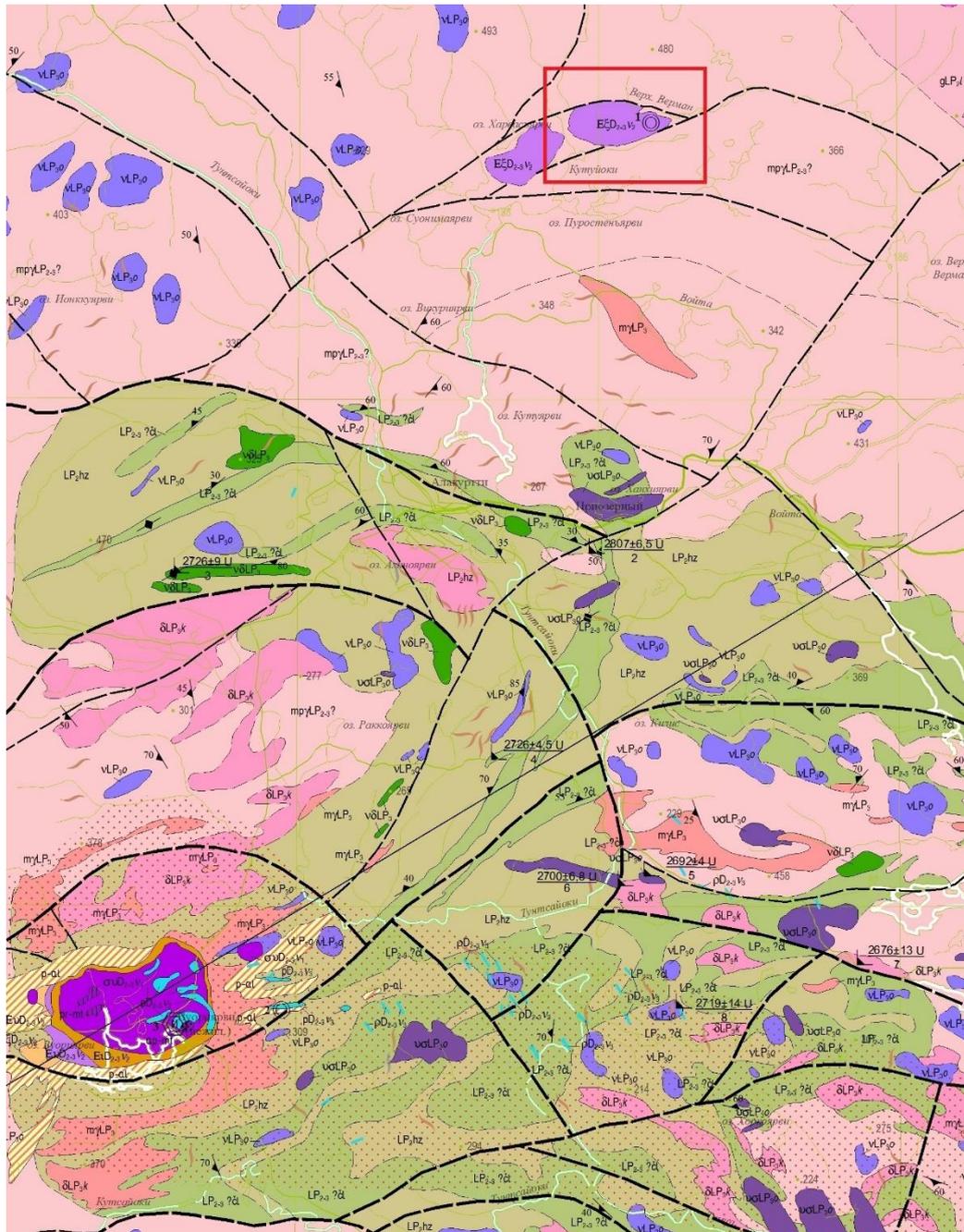


Рис. 1. Фрагмент листа Q-36-VII геологической карты Российской Федерации. Красным прямоугольником обозначен массив Репоярви. По материалам (Матреничев, 2019).

В строении данной части выделяют два структурных этажа: лопийский и фанерозойский, первый из них подразделяется на два структурных яруса: нижне-среднелопийский и верхнелопийский.



Рис. 2. Схема тектонического районирования листа Q-36-VII. Красным кружком обозначена скважина №3. По материалам (Матреничев, 2019)

Лопийский структурный этаж сложен протоконтинентальной корой с наложенными супракрустальными структурами Тикшеозерско-Пебозерского ЗКП и позднелопийскими интрузиями. Нижне-среднелопийский структурный ярус представлен мигматит-плагиогранитовыми образованиями Алакурттинского блока с реститами позднеархейских биотитовых гнейсов и амфиболитов. (рис. 2)

Верхнелопийский структурный ярус сформирован преимущественно образованиями Тикшеозерско-Пебозерского ЗКП. Стратиграфически они относятся к челозерской (LP<sub>3čl</sub>) и хизоварской (LP<sub>2-3hz</sub>) толщам тикшеозерской серии. Породы хизоварской толщи (LP<sub>2-3hz</sub>) слагают низы тикшеозерской серии и сложена метаосадочными породами – грубополосчатыми двуполевошпатовыми биотит-амфиболовыми гнейсами. Их полосчатая текстура проявлена вследствие чередования преимущественно полевошпатовых и кварц-биотитовых или кварц-биотит-амфиболовых прослоев. В наименее темноцветных

разновидностях проявлены реликты первичной осадочной структуры и текстуры. В результате выделения цирконов из образований данной толщи было получено два дискордантных значения возраста -  $2763 \pm 6$  и  $2820 \pm 20$  Ма. Нижний контакт пород толщи с образованиями фундамента чаще всего перекрыт четвертичными отложениями, на обнаженных участках тектонизирован. Мощность толщи более 1000 м. (Матреничев, 2019)



Рис. 3. Парагнейсы хизоварской толщи с полосчатой текстурой. Фото (Матреничев, 2019).

Челозерская толща в пределах территории (LPзч) сложена гранитизированными амфиболитами, гранатовыми амфиболитами и амфиболовыми сланцами. (рис. 4) В опорном разрезе толщи дополнительно выделяются полевошпатовые амфиболиты, в которых сохраняются реликты структурно-текстурных признаков, характерных для вулканитов. Значительно менее распространены метатUFFы, представленные гранат-амфиболовыми, биотит-амфиболовыми и биотит-хлорит-актинолитовыми плагиосланцами. Контакты с породами хизоварской толщи резкие, часто подвергнуты тектонизации. Мощность составляет от 10 до 400 м. (Матреничев, 2019)



Рис. 4. Амфиболиты челозерской толщи. Фото (Матреничев, 2019)

Также к верхнелопийскому структурному ярусу в пределах Алакурттинского блока относятся кислые-средние интрузивы Кухтозерского комплекса. (Матреничев, 2019)

Фанерозойский структурный этаж представлен исключительно магматическими образованиями, внедрившимися в метаморфические толщи Алакурттинского блока и Тикшеозерско-Пебозерского ЗКП: массивы Вуориярви и Репоярви. (Матреничев, 2019)

Массив Вуориярви приурочен к ослабленной зоне глубинных разломов на западной оконечности Тикшеозерско-Пебозерского ЗКП. Формирование его по цирконам из карбонатитов массива Салланлатва происходило около  $372 \pm 3$  Ма. Характеризуется трехфазным строением. К первой фазе внедрения относятся оливиниты, (нефелиновые) пироксениты, апатит-форстерит-магнетитовые породы, ко второй – различные фойдолиты: мельтейгиты, малиньиты, ийолиты, уртиты, нефелиновые и щелочные сиениты, а также перовскит-титаномагнетитовые и апатит-форстерит-магнетитовые руды, к третьей – карбонатиты, образующие отдельные мелкие тела. (Матреничев, 2019; Афанасьев, 2011)

Массив Репоярви, породам которого и посвящено настоящее исследование, приурочен к пересечению разломов северо-восточного и северо-западного простирания в пределах Алакурттинского блока. Вмещающими породами для него являются маигматит-плагиограниты и гнейсы кестеньгского комплекса. По результатам геофизических исследований площадь массива Репоярви составляет около  $1 \text{ км}^2$ , форма вытянутая в субширотном направлении, погружение происходит в западном направлении. На дневную поверхность породы массива не выходят, документированы лишь единичные находки окатанных глыб пироксенитов, габброидов и перидотитов. (Матреничев, 2019)

### **Материалы и методы исследования**

Для проводимого исследования по керну скважины 3 было отобрано 23 образца, соответствующих макроскопически различным породам. Петрографические исследования проводились на кафедре региональной геологии СПбГУ с использованием микроскопа Olympus. Для них было сделано 14 шлифов и 11 прозрачно-полированных шлифов (ППШ), также было изучено 16 ППШ, предоставленных Северо-Западным ПГО. Изученные шлифы были сфотографированы в ИГГД РАН при содействии Д.В. Доливо-Добровольского. ППШ также были использованы для электронно-зондового микроанализа, проводившегося в два этапа. На первом этапе в РЦ «Геомодель» с использованием сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N с аналитической энергодисперсионной приставкой было проанализировано 46 участков ППШ, включающих 671 спектр излучения, получены электронные изображения данных участков и химические составы в искомым точках образцов. Дополнительно к этому 6 образцов были опробованы и ИГГД РАН на растровом электронном микроскопе JEOL 6510 с микрозондовой системой JED-2200 с получением 129 спектров излучения.

Анализ петрогенных элементов выполнен на базе ФГБУ «ВСЕГЕИ» с использованием рентенофлуоресцентного метода, анализ микроэлементов выполнен там же методом индуктивно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием. Всего для валового геохимического анализа было использовано 13 образцов.

### **Петрографические особенности пород**

Исследуемые породы характеризуются высоким (более 4%) содержанием щелочных металлов и низким, на уровне основных-ультраосновных пород, содержанием кремнезема. При этом высокая щелочность достигается в них преимущественно за счет аномального содержания биотита при практически полном отсутствии нефелина и других фельдшпатоидов. Поэтому данные породы не вписываются в принятые подразделения петрографического кодекса и для них была предложена следующая классификация: сперва, породы были разделены на мелано-, мезо- и лейкократовые по признаку относительного содержания в них темноцветных минералов (пироксенов, амфиболов и биотита), затем внутри каждой группы были выделены разновидности пород в зависимости от конкретного минерального состава и микроструктурных особенностей.

Таким образом, в группе меланократовых были выделены следующие разновидности пород:

1. Гиганто- и крупнозернистые пироксен-биотит-апатитовые породы (образцы 5.7, 9.8, 19.0, 27.3, 38.3, 147.5). Породообразующими минералами в них являются пироксены (преимущественно это диопсид, часто с примесью эгиринового минала, реже встречаются авгит и гиперстен). Зерна имеют коротко- либо длиннопризматическую форму, часто корродированы, поверх интенсивно развиваются амфиболы (преимущественно арфведсонит), содержание которых в породе может достигать первых десятков процентов, и биотит. В качестве включений присутствуют мелкие зерна апатита. Биотит представлен двумя разновидностями. Во-первых, это крупные идиоморфные пластинки с сильным плеохроизмом от золотистого до насыщенно-коричневого цвета и четко прослеживающейся спайностью. Во-вторых, это преимущественно мелкозернистые агрегаты ксеноморфных пластинок, биотит здесь темно-коричневый, практически не плеохроирующий, без видимой спайности. Две данные разновидности наблюдаются в различных пропорциях, однако практически всегда с преобладанием первой. Часто развивается по прочим темноцветным минералам. Апатит. Представлен идиоморфными столбчатыми, длиннопризматическими и гексагональными кристаллами разных размеров, образующими как отдельные зерна, так и агрегаты. Часто встречаются в виде включений в темноцветных минералах. Многие зерна характеризуются игольчатыми ориентированными вращающимися целестина, алланита. Вокруг зерен часты каймы, состоящие из эпидота-алланита. Содержание апатита в породе может достигать 15-20%. Второстепенными минералами являются плагиоклазы от альбита

до олигоклаза, характеризующиеся ксеноморфной формой, расположением в интерстициях между прочими зернами, небольшими размерами, островной или сплошной пелитизацией; также КПШ, обладающие сходными с плагиоклазами морфологическими особенностями, часто образующими пертиты. Акцессорные минералы представлены титанитом, образующим идиоморфные дипирамидальные зерна, часто метамиктные, лейкоксеном, эпидотом, алланитом, целестином. Чаще всего данные минералы находятся в виде включений в пироксенах или апатите. Рудные минералы в этих породах представлены мелкими преимущественно ксеноморфными выделениями магнетита, пирита, ильменита, часто образующими скопления или сливные массы. Согласно подразделениям петрографического кодекса данные породы наиболее схожи с рядом якупирангит-мельтейгит со смещением в сторону чистого якупирангита.

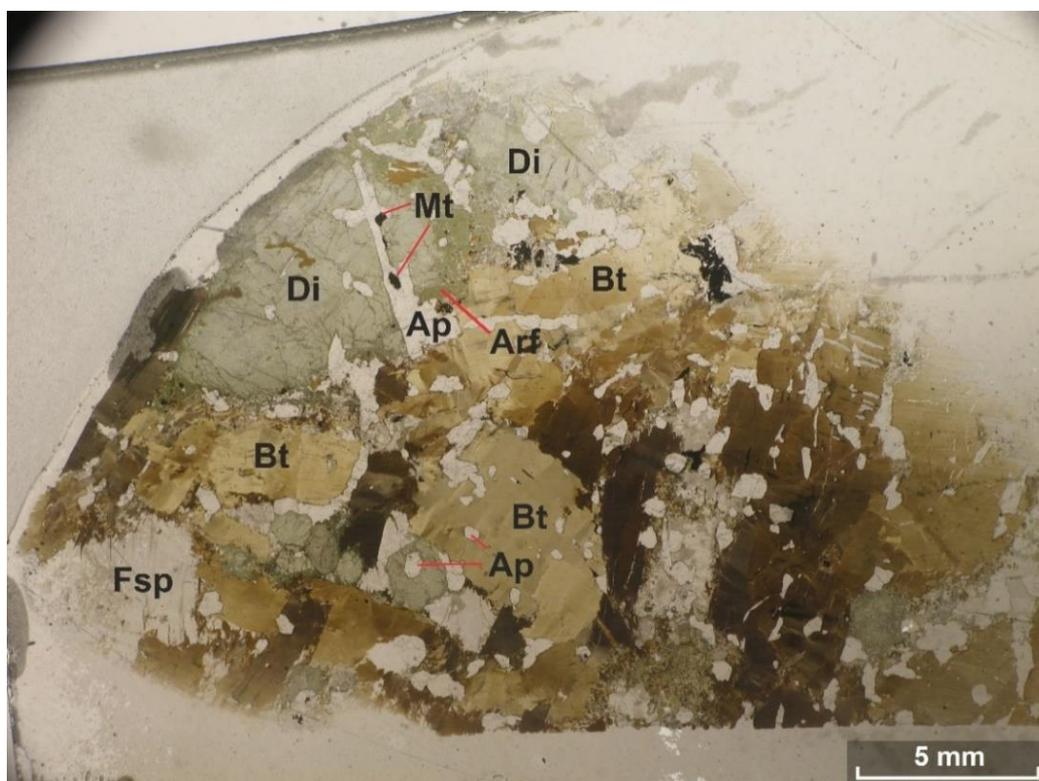


Рис. 5. Гигантозернистая пироксен-биотит-апатитовая порода в проходящем свете.

Фото автора.

2. Крупнозернистые пироксен-биотит-полевошпатовые породы (образцы 85.0, 94.3, 102.3, 106.8). В отличие от пород, описанных выше, данная разновидность характеризуется преимущественно крупнозернистой структурой, а также некоторыми изменениями в минеральном составе. Во-первых, это содержание полевых шпатов более 10%, при этом пониженная (до полного отсутствия) доля

апатита, чуть более низкое содержание темноцветной составляющей (порядка 60-70%). Во-вторых, в данных породах пироксены присутствуют в двух ярко различных разновидностях – в виде диопсида, описанного выше, и феррогиперстена, характеризующегося буровато-коричневой окраской, сильным плеохроизмом от розоватого до зеленоватого, выделяющегося в виде идиоморфных призматических зерна с сильной трещиноватостью и корродированными краями. Данные зерна подвержены интенсивной амфиболитизации до практически полного замещения арфведсонитом, также развита островная биотитизация. В породах содержится в примерно равных с диопсидом количествах. Пироксены и биотит по своим характеристикам здесь ничем не отличаются от аналогичных минералов в первой разновидности пород. Полевые шпаты в данных породах представлены как натриевыми плагиоклазами, так и КПШ (ортоклазом и микроклином). Зерна вплоть до крупных (около 1.5 мм в поперечнике), однако все еще ксеноморфны и располагаются исключительно в интерстициях между зернами. Содержание находится в пределах от 10 до 20%. Апатит сходен с описанным выше, однако содержание его заметно ниже, хотя в некоторых породах и остается прежним. Также распространены рудные минералы, слагающие до 5% породы, представлены преимущественно мелкими ксеноморфными зернами, в т.ч. в виде включений. Из подразделений Петрографического кодекса данные породы наиболее сходны с породами ряда якупирангит-мельтейгит, при этом максимально приближены к мельтейгиту.

3. Сланцеватые пироксен-(амфибол)-биотит-полевошпатовые породы (образцы 88.8, 129.6). Главным критерием выделения данной разновидности пород является их сланцеватая текстура, определяемая чередованием темноцветных и светлых разностей. Структура преимущественно мелкозернистая с отдельными более крупными зернами. Темноцветные разности сложены пироксеном, амфиболом, биотитом и апатитом. Пироксены представлены авгитом, встречающимся в виде идиоморфных короткопризматических зерен, очень сильно корродированных, с заметным плеохроизмом в оттенках зеленого. Крайне высокая степень амфиболитизации, в отдельных породах пироксены полностью замещены арфведсонитом. Арфведсонит представлен в виде преимущественно мелких идиоморфных зерен, а также участков пироксенов густо-зеленой окраски с интенсивным плеохроизмом. Суммарно данные минералы слагают 55-60% породы. Биотит обычно выделяется в форме мелких пластинок, часто длиннопризматических, обладает темно-коричневым цветом, интенсивным

плеохроизмом в оттенках коричневого. Часто развивается по авгиту и арфведсониту. Апатит в описываемых породах также приурочен к темноцветным разностям и их границам. Представлен обычно в виде агрегатов мелких идиоморфных гексагональных зерен, иногда образующих цепочки. Части ориентированные по спайности включения, как и в иных разновидностях пород. Содержание от 10 до 15%. Лейкократовые разности сложены преимущественно ксеноморфными мелкими зернами натриевых плагиоклазов и ортоклаза-микроклина. Пелитизация крайне слабая, однако широко представлены структуры распада твердых растворов. Содержание в породе доходит до 20%. Из акцессорных минералов встречаются монацит, циркон. Также в количестве нескольких процентов присутствуют рудные минералы (преимущественно магнетит) в виде мелких ксеноморфных зерен, образующих вытянутые параллельно сланцеватости цепочки. По своему минеральному составу данные породы наиболее сходны с мельтейгитами в дефинициях Петрографического кодекса.

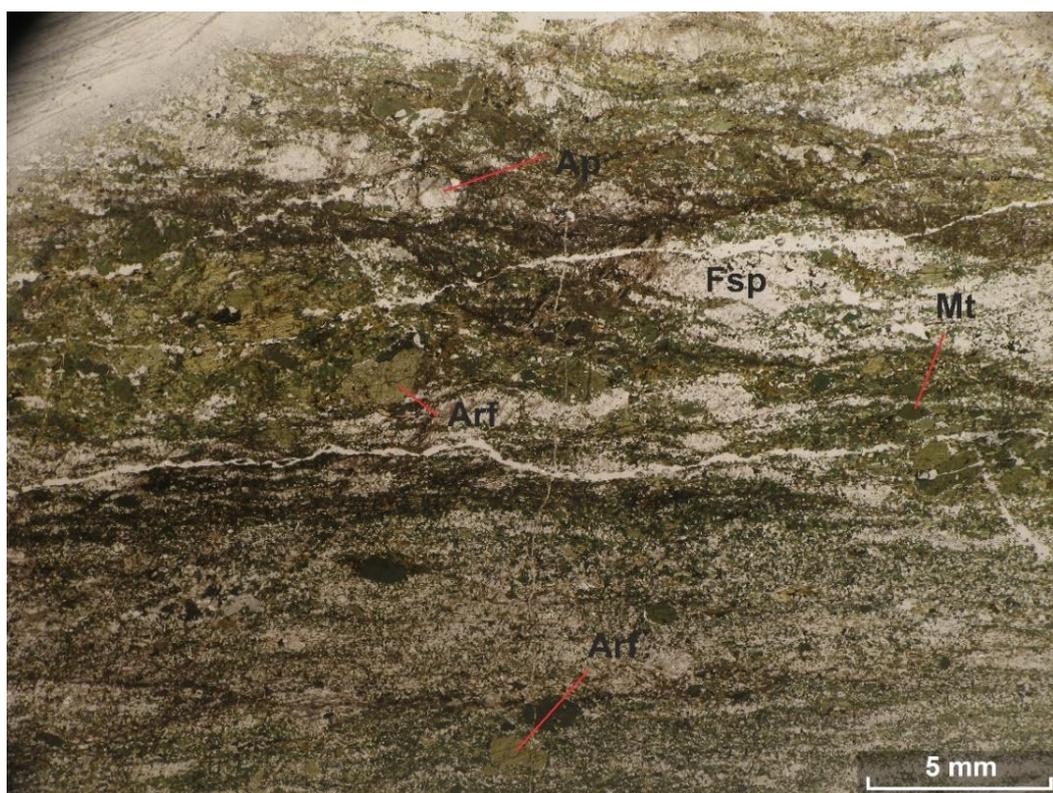


Рис. 6. Сланцеватая пироксен-(амфибол)-биотит-полевошпатовая порода в проход. Фото автора

Мезократовые породы характеризуются примерно равным соотношением темноцветных и лейкократовых минералов. Среди них выделяются две разновидности, отличающиеся содержаниями натриевых плагиоклазов и КПШ. Первая (образцы 19.1,

61.0, 136.5-1) характеризуется полным отсутствием плагиоклазов и содержанием КПШ примерно на уровне 40-50%. Вторая (образцы 68.0, 74.7) – примерно равным соотношением этих минералов. КПШ представлен крупными гипидиоморфными и мелкими ксеноморфными зернами, с простыми двойниками пертитовыми вростками и разной степени пелитизацией. Плагиоклаз же представлен исключительно мелкими ксеноморфными зернами, часто пелитизированными, сосюритизированными. Апатит в данных породах слагает от 10 до 20% породы. Представлен идиоморфными столбчатыми, призматическими, гексагональными зернами с эпидот-алланитовыми каймами обрастания и ориентированными включениями. Часто присутствует в пойкилитовых вростках в темноцветных минералах. Размеры от мелких до относительно крупных. Темноцветные минералы представлены диопсидом, арфведсонитом, развивающимся поверх первого, биотитом. В качестве аксессуаров присутствуют лейкоксен, титанит. Также замечены рудные минералы, чье содержание находится в пределах первых процентов. Наиболее полно данные породы соотносятся с щелочными сиенитами Петрографического кодекса.

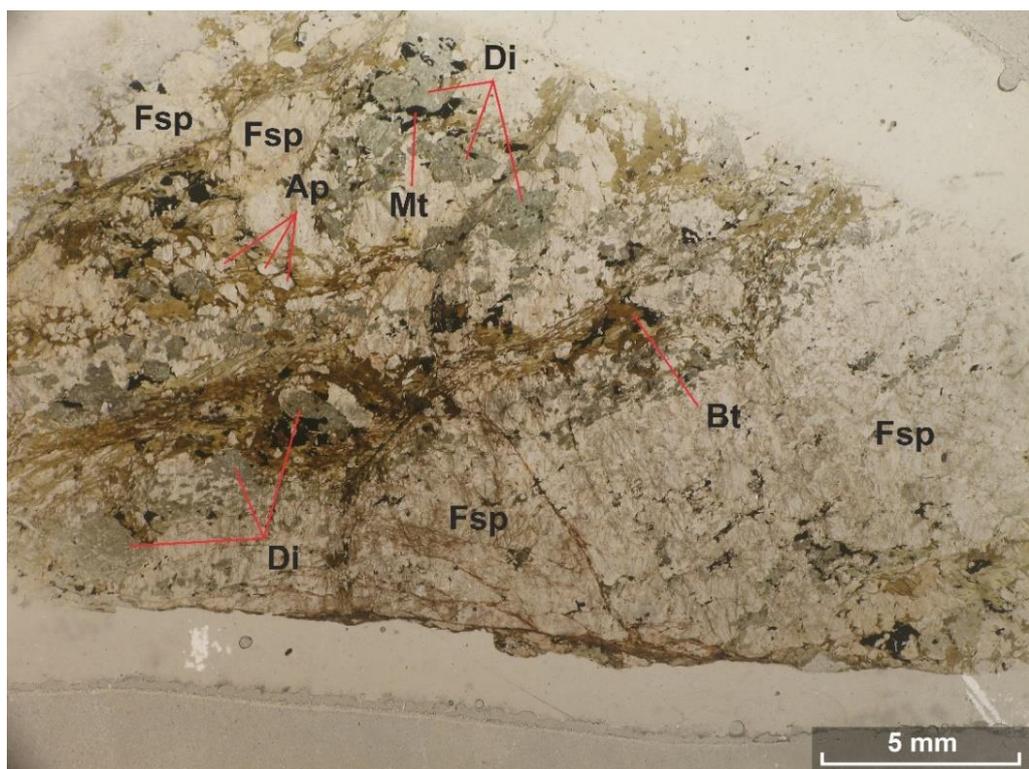


Рис. 7. Мезократовая разноморфная пироксен-биотит-ортоклазовая порода в проходящем свете. Фото автора.

Лейкократовые разновидности характеризуются содержанием темноцветных минералов на уровне до 30%. Среди этих пород выделяются следующие разновидности:

1. Ортоклазовые порфиры (образцы 22.7, 41.9, 55.0, 136.5, 142.5). Данные породы, относящиеся, вероятно, к жильным фациям, отличаются, прежде всего, порфировой структурой с полевыми шпатами в роли главных породообразующих минералов. В качестве порфировых вкрапленников представлены преимущественно зерна ортоклаза. Помимо этого, данный минерал встречается и в качестве мелких ксеноморфных зерен в основной массе породы вместе с натриевым плагиоклазом. Оба минерала часто подвергнуты интенсивной пелитизации, характерны структуры распада твердого раствора. Содержание в породе КПШ 45-55%, содержание плагиоклазов – обычно 20-25%, однако встречаются и практически бесплагиоклазовые разновидности. Содержание кварца в данных породах варьирует от 0 до примерно 20%. Характеризуется ксеноморфными разноразмерными зернами в основной массе породы. Приурочен к наиболее ярко выраженным жильным фациям. Диопсид представлен зернами с весьма сильной корродированностью, что затрудняет определение первичных морфологических особенностей. Присутствуют единичные зональные кристаллы, внешние части которых по своим свойствам более сходны с авгитом. Часто сильно амфиболитизирован, по некоторым дополнительно развивается биотит. Содержание в породе не превышает 15%. Биотит представлен преимущественно в виде мелких интенсивно плеохроирующих пластинок неправильной формы, иногда образующих ориентированные скопления. Развивается как по темноцветным минералам, так и в основной массе. Содержание достигает 20%. Апатит представлен в виде мелких идиоморфных столбчатых, длиннопризматических и гексагональных зерен. Часто с каймами обрастания эпидот-алланитового состава. Содержание в породе обычно составляет первые проценты, однако может переходить и в разряд аксессуарных. Среди прочих аксессуарных выделяются титанит, лейкоксен. Рудных минералов значительно меньше, чем в мезо- и меланократовых породах. Они выделяются лишь в виде отдельных мелких ксеноморфных зерен и не образуют скоплений.

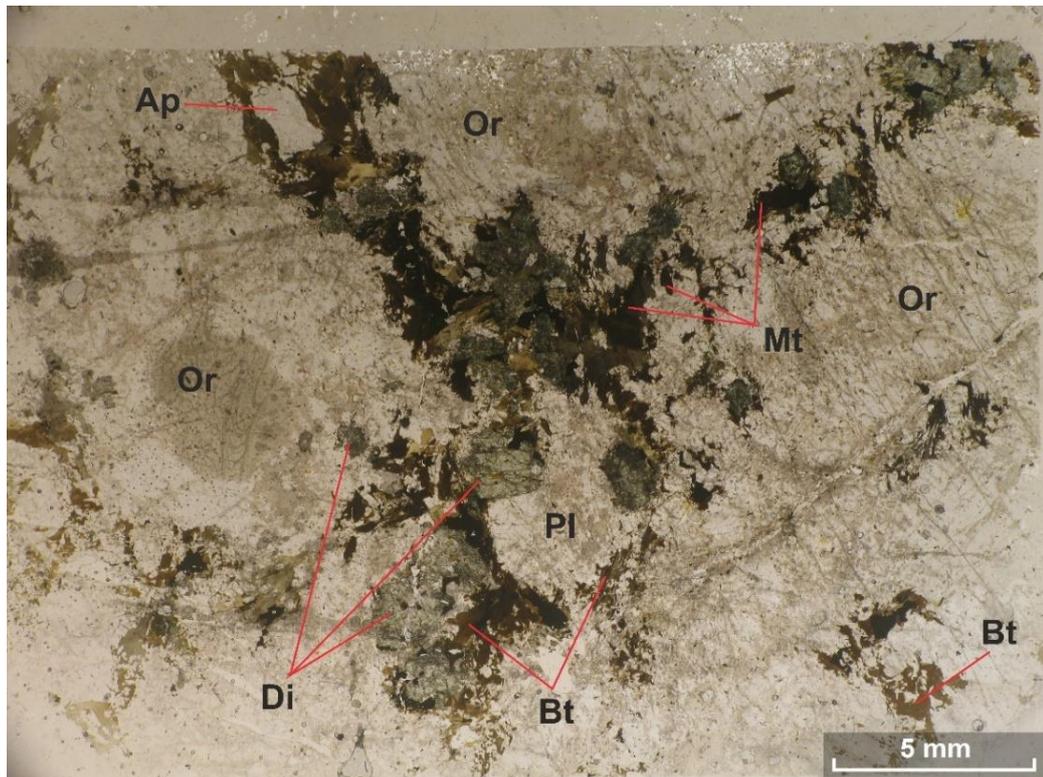


Рис. 8. Ортоклазовый порфир в проходящем свете. Фото автора.

2. Карбонат-полевошпатовые породы (образцы 128.5, 128.5-1). Расположены в одном интервале. Характеризуются наличием областей карбонатной и полевошпатовой минерализации. Карбонаты представлены кальцитом и доломитом, встречаются в виде мелкозернистых масс ксеноморфных зерен или же крупных-гигантских идиоморфных ромбических зерен, иногда весьма сильно выветрелых. Также, в качестве вторичных минералов, развиваются по кальциевым плагиоклазам. Содержание в породах составляет 20-30%. КППШ представлены в основном ортоклазом с разной степенью идиоморфности. Характерны простые двойники, частая пелитизация. Содержание порядка 10-30%. Плагиоклазы преимущественно кальциевые, представлены ксеноморфными зернами разных размеров с полисинтетическим двойникованием и сильной сосюритизацией. Содержание: от 15 до 40%. Кварц присутствует либо в карбонатных зонах, либо на границах двух зон. В первом случае присутствует в виде гигантских идиоморфных зерен, во втором в виде разномзернистой ксеноморфной массы. Содержание до 20%. Среди второстепенных минералов выделяются апатит (мелкие идиоморфные зерна в полевошпатовых областях, до 5% породы) и хлорит (крупные ксеноморфные пластинки, до 10-15% породы). Акцессории представлены титанитом и алланитом. Рудные наблюдаются в виде мелких ксеноморфных зерен в полевошпатовой части породы, их содержание не превышает первых процентов.

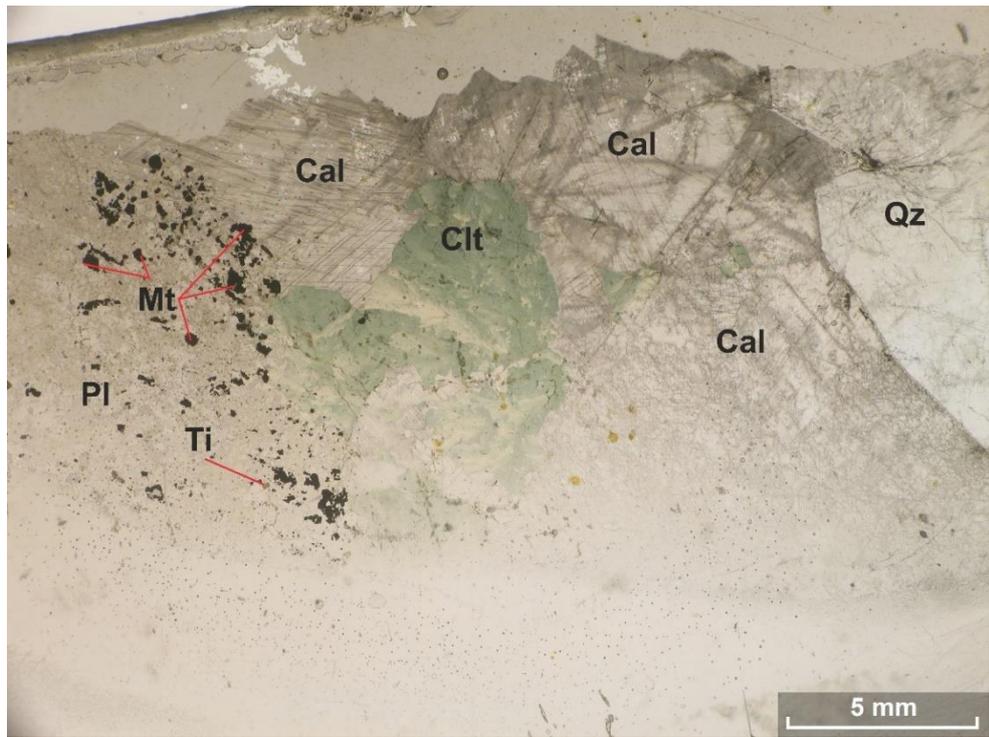


Рис. 9. Карбонат-полевошпатовая порода в проходящем свете. Фото автора.

## Геохимические особенности пород

### Петрогенные элементы

Представительные анализы различных видов пород массива Репоярви приведены в приложении 2. Здесь стоит оговориться, что образцы 128.5 и 136.5 для всех геохимических исследований были отнесены к меланократовым по причине того, что петрографические образцы были взяты из жильных образований, в то время как геохимические образцы относятся к вмещающим породам, представляющим собой крупнозернистые пироксен-биотит-апатитовые породы. Сравнительный анализ составов мелано-, мезо- и лейкократовых пород позволяет выявить следующие закономерности:

1. Содержания  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  прямо коррелируют с изменением пород от мелано- к лейкократовым. Так, средневзвешенные содержания этих оксидов в меланократовых породах составляют (в масс. %):  $\text{SiO}_2=38.66\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=11.10\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O}=1.60\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=3.37\%$ . Для мезократовых пород эти значения составляют (в масс. %):  $\text{SiO}_2=49.84\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=14.82\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O}=2.76\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=5.23\%$ . Для лейкократовых (в масс. %):  $\text{SiO}_2=61.83\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3=15.88\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O}=3.56\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}=6.38\%$ .
2. Обратная корреляция от меланократовых к лейкократовым породам характеризует вариации содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ общ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Их средневзвешенные содержания в меланократовых породах составляют (в масс. %):  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ общ=13.76%,  $\text{MgO}=8.80\%$ ,  $\text{CaO}=13.63\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5=4.22\%$ . В мезократовых породах (в масс. %):  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ общ=10.52%,  $\text{MgO}=4.97\%$ ,  $\text{CaO}=6.18\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5=2.30\%$ . В лейкократовых (в масс. %):  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ общ=5.08%,  $\text{MgO}=1.71\%$ ,  $\text{CaO}=2.86\%$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5=0.50\%$ .

С целью классификации исследуемые породы были вынесены на диаграмму TAS (рис. 10). Таким образом, меланократовые породы попали в диапазон ультраосновных-основных нормальнощелочных-щелочных пород. Мезократовые породы, а также лейкократовый образец, не относящийся к жильным фациям, попали в область монцодиоритов и фойдовых монцодиоритов, а лейкократовые породы жильных фаций – в область сиенитов и кварцевых монцонитов.

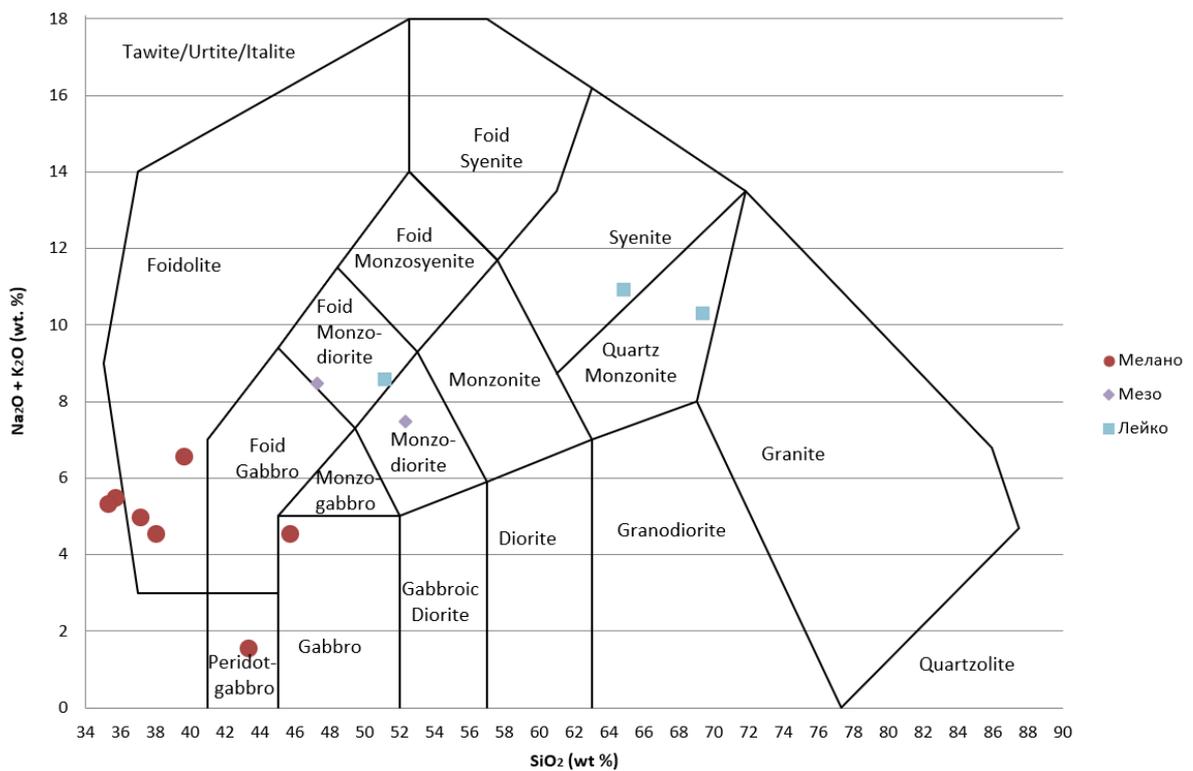


Рис. 10. Точки составов пород массива Репоярви на TAS-диаграмме (Middlemost, 1994).

Затем точки составов исследуемых пород были вынесены на диаграммы Феннера для прослеживания эволюции их кристаллизации. (рис. 11) Тренд для кремния обусловлен последовательной кристаллизацией диопсида и биотита для меланократовых пород, диопсида, биотита и полевых шпатов для мезократовых пород, полевого шпата и кварца для лейкократовых пород. Тренд алюминия обусловлен кристаллизацией биотита для меланократовых пород, биотита и полевых шпатов для мезократовых пород, полевых шпатов для лейкократовых пород. Тренд титана обусловлен кристаллизацией  $Ti$ -содержащих авгита и биотита для меланократовых пород, биотита и титанита для мезократовых пород. Тренд кальция обусловлен кристаллизацией диопсида и апатита для мезократовых пород. При переходе к мезократовым породам кристаллизующиеся минералы те же, однако доля их значительно снижается, что определяет форму наблюдаемого уступа. Для лейкократовых пород тренд определяет кристаллизация карбонатов и отчасти апатита. Натриевый тренд обусловлен последовательным возрастанием доли кристаллизующихся полевых шпатов, калиевый, помимо этого, на этапе формирования мелано- и мезократовых пород характеризуется еще и кристаллизацией биотита. Тренд фосфора определяется постепенно снижающейся долей кристаллизующегося апатита. Таким образом, исходя из данных петрогенной геохимии, кристаллизация происходила по следующей схеме: изначально кристаллизовались пироксены и апатит, затем к ним добавлялся биотит, по мере продвижения к мезократовым породам росла доля кристаллизующихся полевых шпатов,

падала доля темноцветных минералов и апатита. По мере кристаллизации лейкократовых пород преобладающие доли кристаллизующихся фаз приходились на полевые шпаты, кварц и карбонаты.

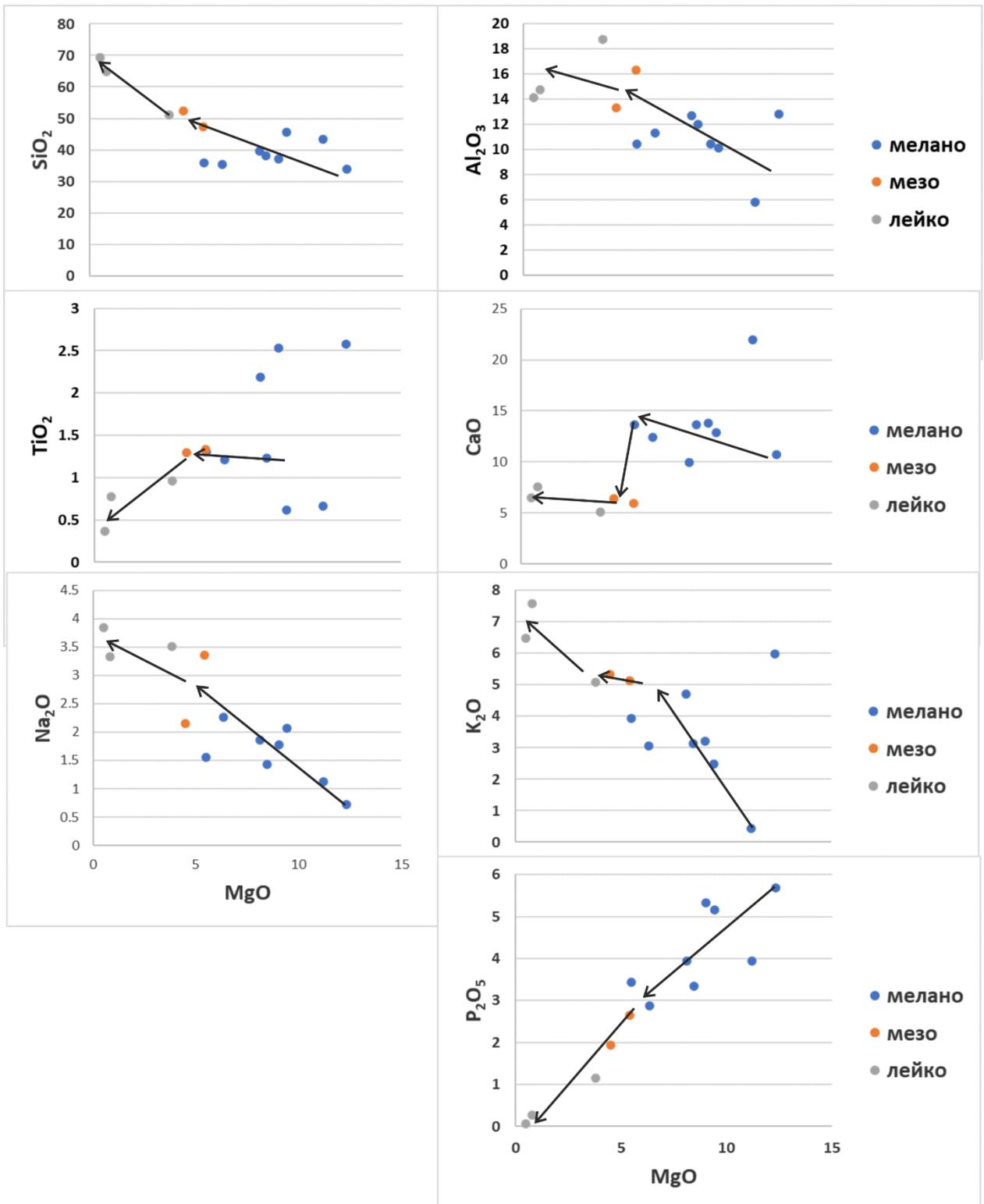


Рис. 11. Фигуративные точки составов пород массива Репоярви на диаграммах Феннера.

Черными стрелками указаны тренды изменения содержания элементов.

## Элементы-примеси

Представительные значения содержаний элементов примесей в породах массива Репоярви приведены в приложении 3. Распределение микроэлементов в исследуемых породах отображено на графике, представленном на рисунке 12.

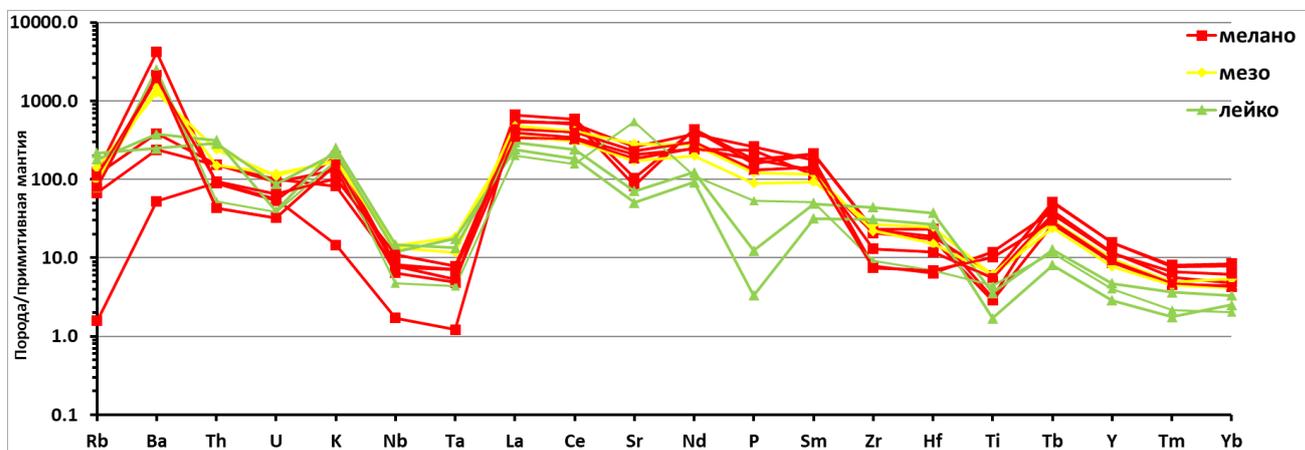


Рис. 12. График распределения микроэлементов в породах массива Репоярви. Значения нормированы к примитивной мантии по (Sun & McDonough, 1989).

Для меланократовых пород массива характерна положительная бариевая аномалия, отрицательные тантал-ниобиевая, цирконий-гафниева и титановая аномалии. Первая связана с наличием бариевых минералов-аксессуаров: барита и целестина, anomalно низкие содержания Ta и Nb являются следствием отсутствия в породах перовскита, являющегося характерным концентратором этих элементов. Минимумы Zr и Hf объясняются отсутствием циркона, а Ti – отсутствием высокотемпературных титансодержащих минералов. Также заметно повышенное содержание легких РЗЭ, концентрирующихся в аксессуориях-коллекторах, более подробно рассматриваемых в соответствующей главе.

Мезократовые породы характеризуются теми же бариевой, тантал-ниобиевой, цирконий-гафниева и титановой аномалиями. Бариевая аномалия в этих породах связана уже с появлением значительного количества полевых шпатов, в которых Ba выступает в качестве элемента-примеси. Zr-Hf аномалия менее ярко выражена, что говорит о незначительном присутствии в породах соответствующих минералов-концентраторов. Ti минимум также проявлен слабее, что объясняется появлением титанита. Как и в меланократовых породах, в мезократовых наблюдаются повышенные концентрации легких РЗЭ.

Лейкократовые породы характеризуются пониженными относительно мелано- и мезократовых содержаниями РЗЭ, что связано с меньшим содержанием минералов-концентраторов. Также из отличий можно назвать отсутствие в полевошпатовых разновидностях бариевой аномалии, наличие стронциевого максимума в карбонат-полевошпатовых породах, ввиду вхождения данного элемента в состав карбонатов, резкую отрицательную аномалию фосфора в связи со значительным понижением содержания апатита в породах. Zr-Hf аномалия отсутствует.

Нормализованные к хондриту значения содержаний РЗЭ в породах массива представлены на рисунке 13. Все породы характеризуются повышенным содержанием легких РЗЭ относительно тяжелых. Коэффициент  $(La/Yb)_N=21-245$ , для мезо- и меланократовых пород значения составляют 66-245, для лейкократовых – 21-38. Наиболее низкие общие концентрации РЗЭ характерны для лейкократовых пород, мезо- и меланократовые показывают одинаково высокие значения.

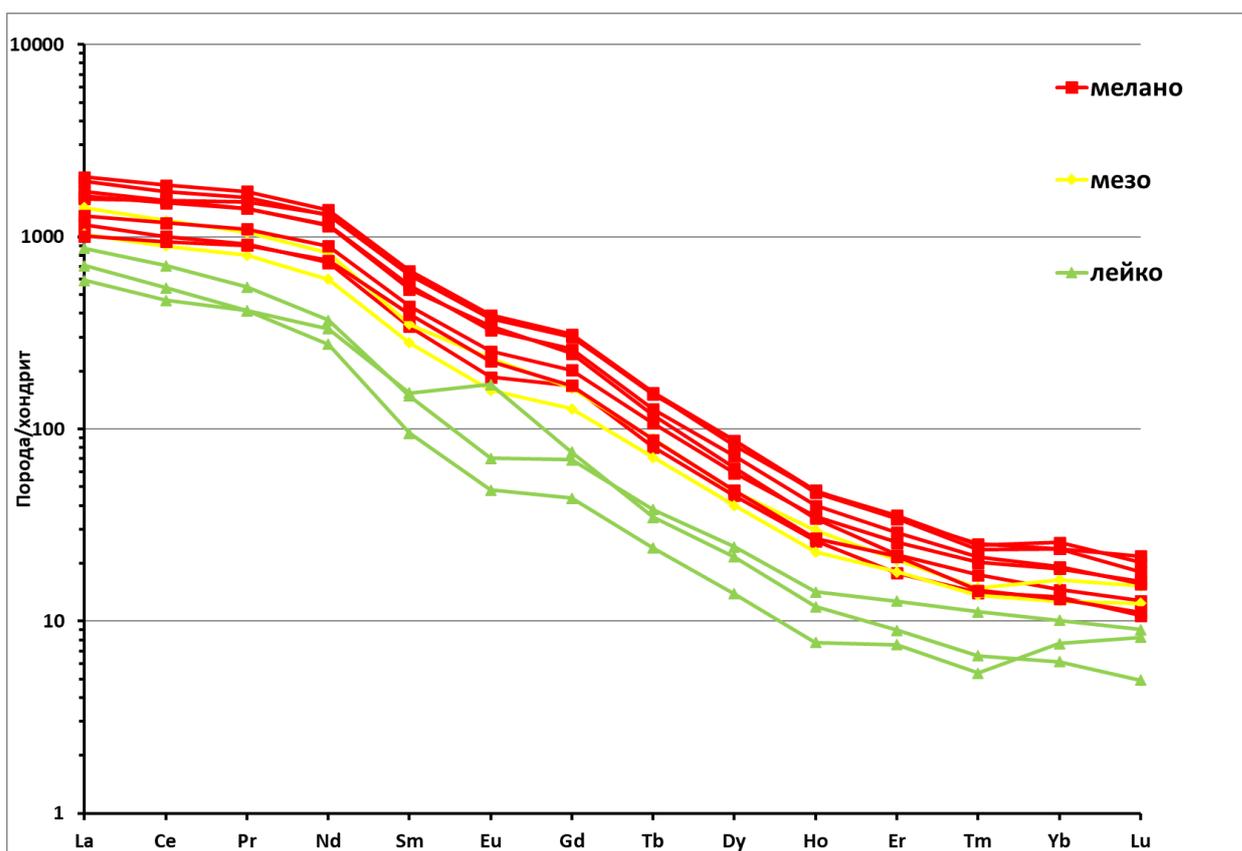


Рис. 13. График распределения РЗЭ в породах массива. Нормировано по (Anders, 1989).

### Геохимические особенности минералов

Клинопироксены. В меланократовых породах подавляющее большинство представлено диопсидом со средним составом  $Wo_{50}En_{36}Fs_{14}$ . В то же время некоторые области зональных кристаллов пироксена сложены уже авгитом состава  $Wo_{28}En_{57}Fs_{15}$ . Пироксены, встречающиеся в мезократовых породах, также относятся к диопсиду, однако отличаются более низкими содержаниями кальция и более высокими – железа. Средний состав –  $Wo_{49}En_{35}Fs_{16}$ . Авгит в данных породах характеризуется небольшим повышением количества железа. В лейкократовых породах пироксены разделяются на диопсид и авгит. Средний состав –  $Wo_{40}En_{41}Fs_{19}$ . Во всех разновидностях присутствуют небольшие примеси Ti, Mn, Na в количествах, не превышающих 2%. (табл. 4, 5)

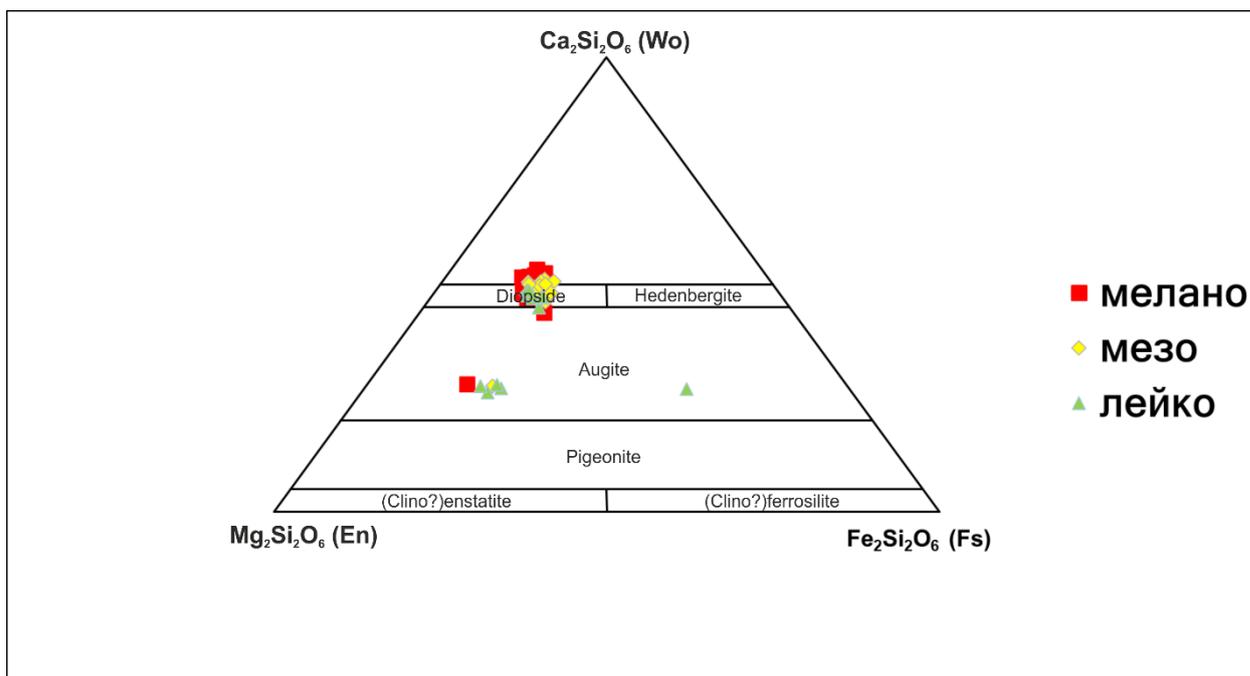


Рис. 14. Пироксены массива Репоярви на дискриминационной диаграмме. Диаграмма построена по материалам (Morimoto, 1988).

Биотит. Минералы серии биотита характеризуются примерно равным содержанием FeO и MgO на уровне 13-16%, т.е. относятся к промежутку между Mg-Биотитом и Fe-биотитом. Содержание титана достаточно высокое, находится в пределах 3-5%. Часто, особенно в лейкократовых породах присутствует примеси натрия и марганца до 1 масс. %. Среди анионов выделяются Cl и гидроксил-группа, при этом F отсутствует. (табл. 4, 5) Для подтверждения генезиса биотита в исследуемых породах была построена треугольная дискриминационная диаграмма (рис. 15). На ней видно, что точки составов биотита попадают на границу между полем первичного и измененного в ходе вторичных процессов биотита, что говорит о том, что биотит в породах не является новообразованным.

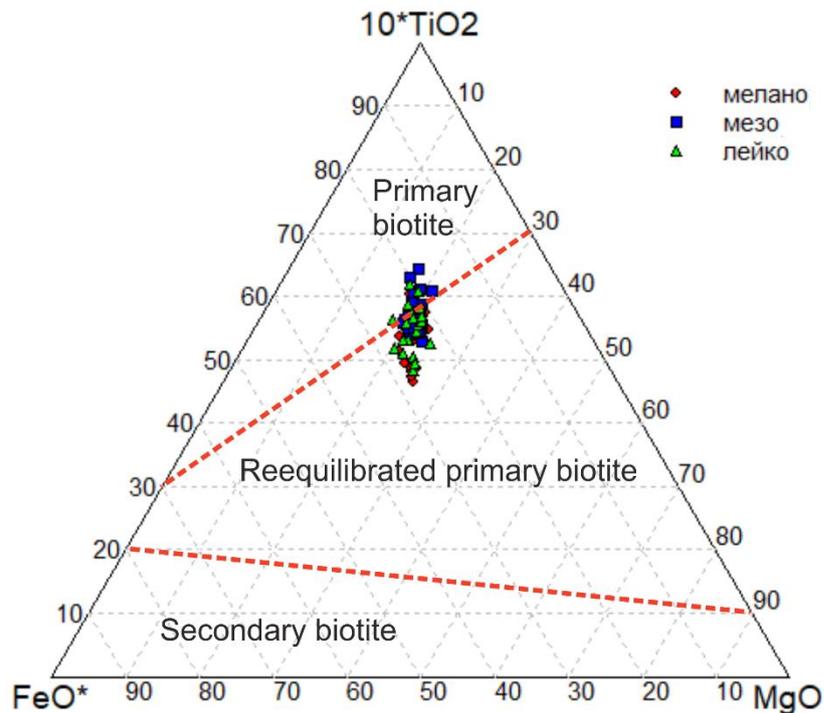


Рис. 15. Треугольная дискриминационная диаграмма для биотита массива Репоярви.  $FeO^* = FeO_{total} + MnO$ . Составлена по материалам (Iveson et al., 2016; Nachit et al., 2005).

Полевые шпаты. Как видно из рисунка 16, полевые шпаты пород массива Репоярви подразделяются на две группы. Первая включает преимущественно калиевые полевые шпаты с содержанием ортоклазового минала в пределах 67-94% при полном отсутствии анортитового. При этом наблюдается отчетливое повышение содержания этого минала от меланократовых к лейкократовым породам. В данных полевых шпатах также почти постоянно присутствует гиалофановый минал в количестве до 3%. Вторая группа включает в себя кислые плагиоклазы ряда олигоклаз-альбит от границы олигоклаза с андезином до чистого альбита. При этом часто присутствует ортоклазовый минал в количестве первых процентов. Здесь также наблюдается изменение состава в сторону более кислого от меланократовых к лейкократовым породам.

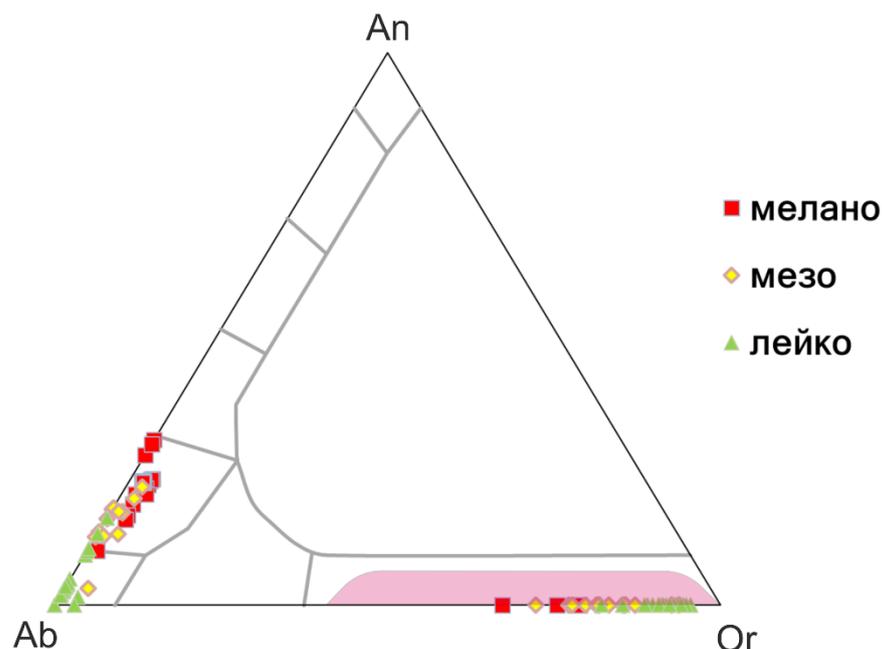


Рис. 16. Полевые шпаты массива Репоярви на классификационной диаграмме. Лиловым полем обозначены составы полевых шпатов хибинитов, фойяитов и риччорритов Хибин, по данным (Арзамасцев и др., 2002).

Апатит. Апатит в исследуемых породах характеризуется относительной химической однородностью. (табл. 4, 5) Преимущественно, это фторапатит, хлорапатит встречается в лейкократовых полевошпатовых породах. Для обоих видов характерны небольшие примеси гидроксил-аниона. В катионном составе преобладает кальций, повсеместно (за исключением карбонатных лейкократовых пород) наблюдается небольшая (в пределах 1%) примесь стронция. Примеси РЗЭ в апатите не выявлены.

Минералы-концентраторы РЗЭ в породах массива Репоярви представлены алланитом  $((CaREE)(Al_2Fe^{2+})(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH))$ , монацитом  $(REE(PO_4))$ , паризитом  $(CaREE_2(CO_3)_3F_2)$ , анкилитом  $(REESr(CO_3)_2(OH) \cdot H_2O)$  и титанитом. (табл. 4, 5) Алланит является наиболее часто встречающимся REE-минералом. Он характерен для меланократовых и мезократовых пород, встречается в каймах вокруг зерен апатита (рис. 17), также присутствует во вкрапленниках в апатите и пироксене, иногда приурочен к магнетитовой и титанитовой фазам. В лейкократовых породах редок встречается в виде отдельных зерен. Характеризуется преобладанием Ce (2-13%), присутствием La (1-6%) и Nd (до 3%). Иногда дополнительно включает примеси Sm и Th.

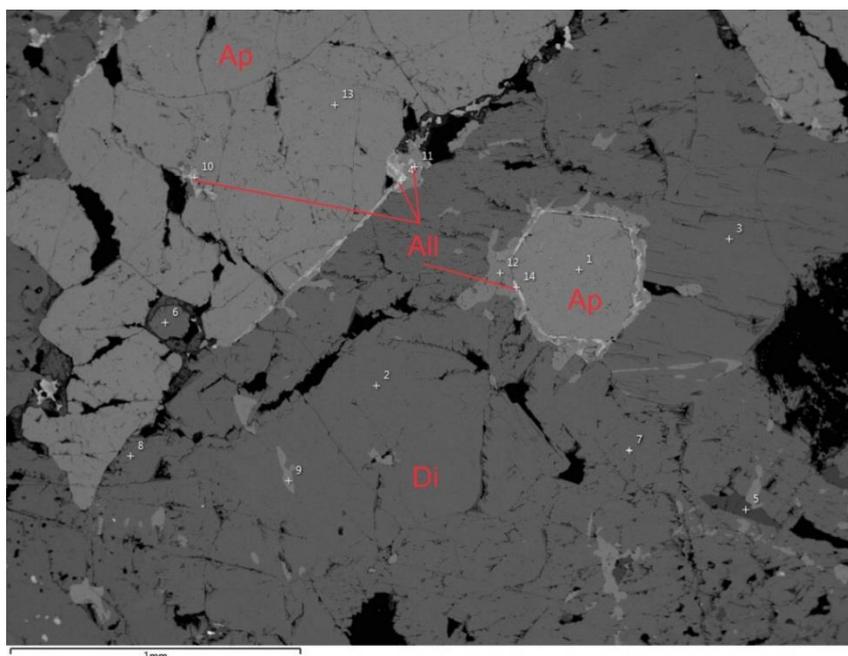


Рис. 17. Алланит во вкрапленниках в апатите и в каймах вокруг апатита. BSE-изображение.

Монацит равномерно распределен по различным типам пород. В меланократовых находится во вкрапленниках в апатите и в каймах вокруг этого минерала (рис. 18). В лейко- и мезократовых породах выделяется также в виде отдельных зерен (рис. 18) или вкрапленников в титаните. Состав монацита достаточно однороден: преобладает Ce с содержанием 28-35%, также постоянно присутствуют La (10-23%) и Nd (6-20%), также присутствуют примеси Ca, Pr, Sm, Th, не превышающие 2-3%.

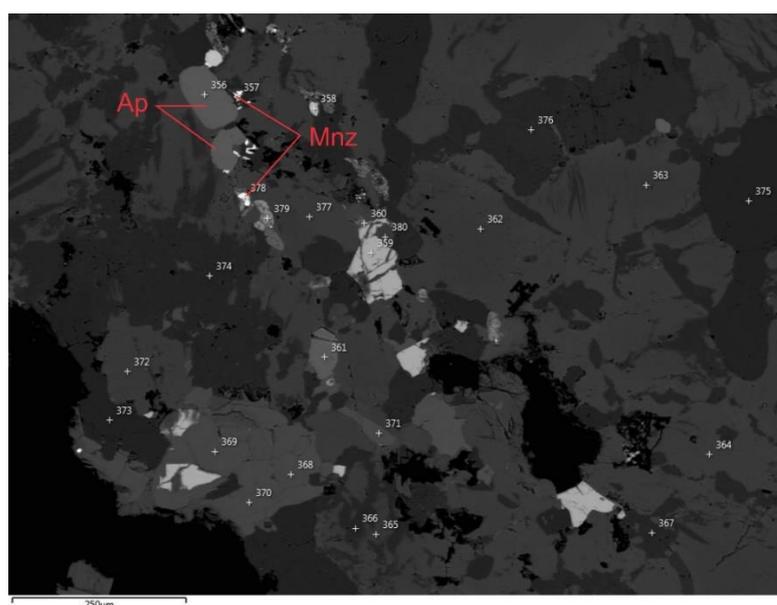


Рис. 18. Монацит в каймах вокруг зерен апатита и в виде отдельных зерен. BSE-изображение.

Анkilит весьма редок, приурочен преимущественно к меланократовым породам, где образует отдельные зерна или же выделяется в каймах вокруг апатита (рис. 19). В лейкократовых породах единичные зерна встречаются во вкрапленниках в титаните. Для анkilита, приуроченного к апатиту или в виде отдельных зерен, характерно преобладание Ce (21-26%), также в нем присутствуют La (7-9%), Nd (11-12%), Pr (2-3%). Для анkilита, приуроченного к титаниту, характерно следующее распределение РЗЭ: La – 23-24%, Ce – 18-19%, Nd – 2-3%.

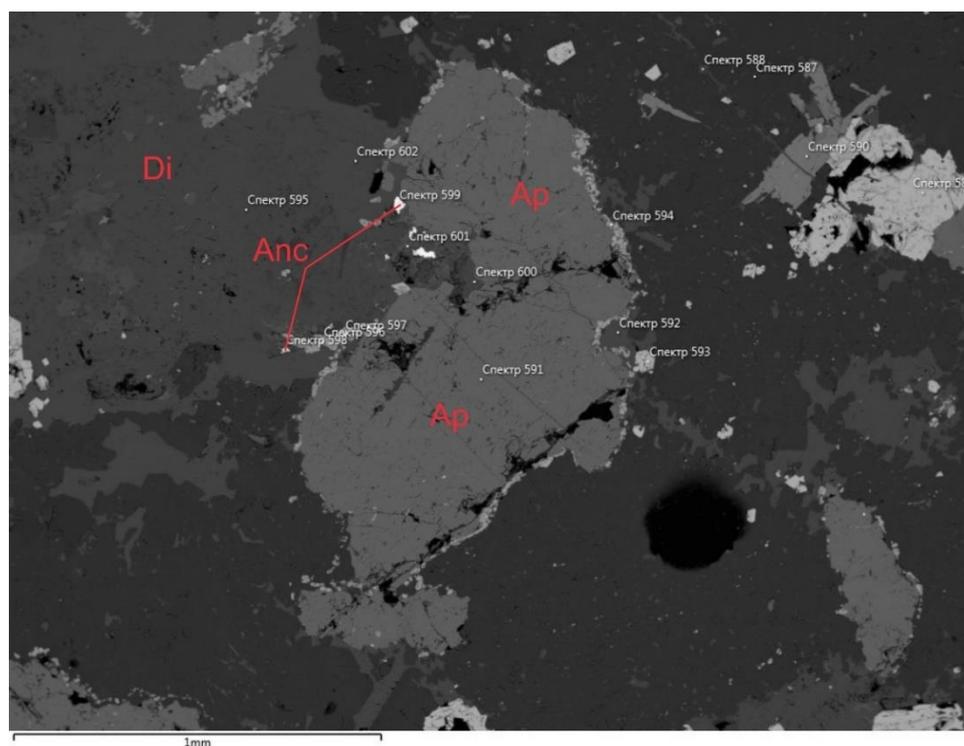


Рис. 19. Анkilит в виде вкрапленника в диопсиде и в кайме вокруг апатита. BSE-изображение.

Паризит встречается в виде единичных зерен в карбонат-полевошпатовых породах (рис. 20). РЗЭ в данном минерале представлены: La (7-8%), Ce (16-17%), Pr (2-3%), Nd (15-16%), Sm (2-3%), Gd (1-2%).

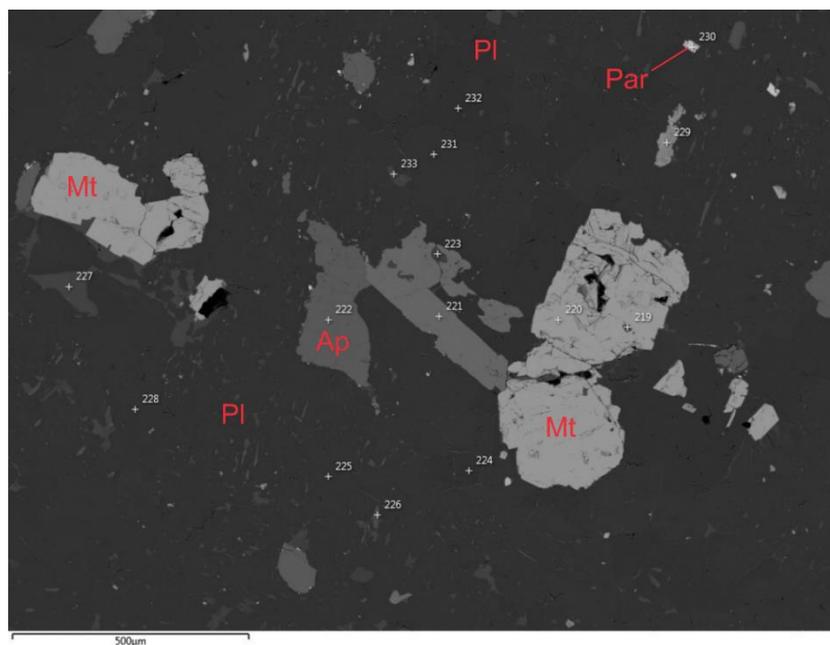


Рис. 20. Паризит в виде отдельного зерна. BSE-изображение.

Титанит присутствует в виде отдельных крупных зерен (рис. 21) в мезократовых и лейкократовых породах. РЗЭ в титаните представлены преимущественно Се и Nd (с преобладанием первого), содержание их оксидов составляют 1-2 масс. %, однако в некоторых случаях наблюдается распад твердого раствора в результате чего в зернах появляются разности с низким содержанием кальция и содержанием Се в пределах 18-20%, La – в пределах 11-13%, Nd – в пределах 3-5%. Также в редких случаях присутствуют разновидности титанита с преобладанием Nd.

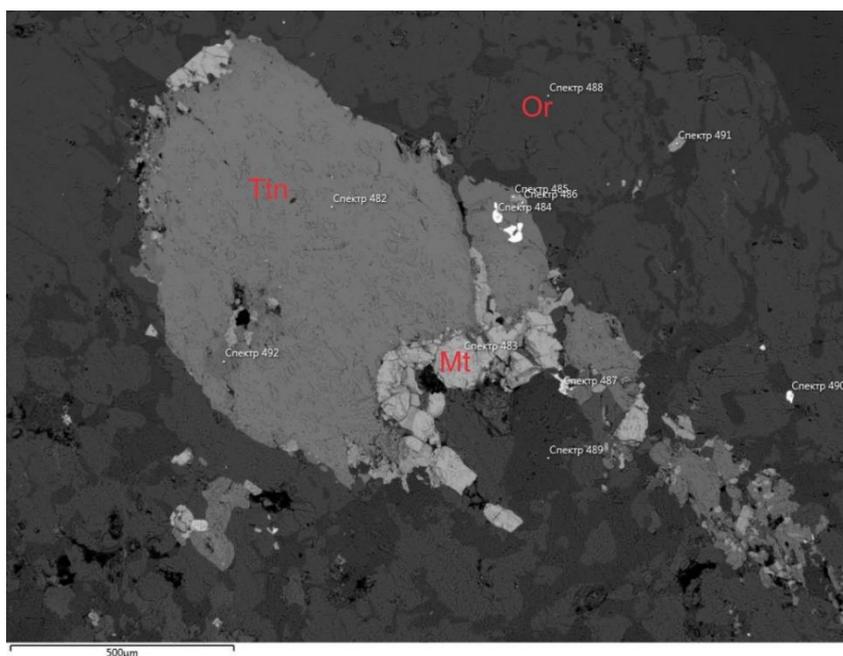


Рис. 21. Титанит в виде отдельного зерна. BSE-изображение.

### Обсуждение результатов

В северо-восточной части Балтийского щита существует несколько массивов, сформировавшихся в ходе девонской магматической активизации (380-360 Ma) (Kramm et al., 1993), в составе которых присутствуют щелочно-ультраосновные серии. Данные массивы являются уникальными объектами, интересными с точки зрения поиска новых минералов, ежегодно открываемых минералогами. Кроме того, слагающие данные массивы породы служат источником важных полезных ископаемых: апатита, железной руды, Ta-Nb. (Афанасьев, 2011). Также они характеризуются повышенными концентрациями РЗЭ, которые на сегодняшний день являются весьма перспективными для добычи.

Данные массивы по своим минералогическим, петрографическим и геохимическим характеристикам делятся на две серии: щелочно-ультраосновных пород с карбонатитами (ЩУК) и щелочно-ультраосновных пород в комплексах агпайтовых нефелиновых сиенитов (ЩУХ). Первые наиболее полно представлены в массивах Африканда, Ковдор и Vuoriaarvi, вторые – в Хибинском и Ловозерском массивах. (Арзамасцев и др., 2013)

**Петрографический состав.** На этапе петрографических исследований было проведено сравнение минерального состава мелано- и мезократовых пород массива Репоярви с породами щелочно-ультраосновных серий типовых массивов Северной Карелии и Кольского полуострова, приведенными в таблице 1. Из исследования были исключены породы референсных комплексов с преобладанием в составе оливина и мелилитов – оливиниты и мелилитолиты, так как данных минералов в породах массива Репоярви обнаружено не было. Из таблицы следует, что меланократовые породы массива Репоярви наиболее схожи с пироксенитами Хибинского массива, отличия заключаются в отсутствии нефелина, повышенном содержании апатита и пониженном – магнетита в исследуемых породах. Также значительно выше содержание полевых шпатов. Помимо этого, меланократовые породы массива сходны с пироксенитами Африканды и Vuoriaarvi, однако здесь различия уже более существенны: в породах этих двух массивов практически полностью отсутствует слюда, в значимых количествах содержится перовскит, отсутствующий в породах Репоярви. Для массива Vuoriaarvi содержание апатита значительно ниже, а для Африканды наблюдаются повышенные содержания магнетита. Мезократовые породы по набору минералов также максимально сходны с пироксенитами Хибин, но в последних отсутствуют полевые шпаты, в то время как исследуемые породы характеризуются их содержанием в пределах 40-50%.

Таблица 1. Минеральный состав образцов щелочно-ультраосновных пород типовых массивов Кольского полуострова и массива Репоярви.

Массив	Порода	Содержание, %							
		Срх	Ne	Mic	Prv	Ap	Ttn	Mag	Прочие
Ковдор	Мельтейгит	65-77	5-20	1-10	<1	0-5	0-3	1-7	Amph 5
	Ийолит	37-58	35-55	0-3	-	2	0-1	0-3	Cal 5
	Сиенит нефелиновый	20	35	10	-	1	3	1	Fsp 30
Салмагора	Пироксенит	75	5	3	5	1	-	6	
Африканда	Пироксенит	60-90	0-14	-	2-13	0-17	0-1	0-15	Grт 8, Cal 1
	Фойдолит с Mel	60	15	5	1	3	1	5	Mel 15
	Мельтейгит	75	10	5	1	3	2	5	
Вуориярви	Пироксенит	66-84	0-5	0-2	10-12	0-1	-	10-18	
	Мельтейгит	65	30	-	-	2	1	1	
Салланлатва	Ийолит	35-50	40-52	1-2	-	1-10	0-2	0-5	Cal 1-8
Хибины	Пироксенит	39-67	2-5	15-30	-	0-6	1-2	5-10	Amph 14-18
	Мельтейгит	60-66	11-23	0-10	-	2-5	3-7	5-8	Fsp 0-3
	Ийолит	21-50	20-47	0-30	0-1	1-3	3-9	1-19	Fsp 2-14
Репоярви	Рх-Vt-Ар-породы	25-65	-	15-25	-	10-20	0-2	0-5	Amph 10-30, Pl 0-5
	Рх-Vt-Fsp-породы	20-70	-	10-30	-	0-15	<1	0-5	Amph 10-35, Fsp 10-20
	Рх-(Amph)-Vt-Fsp-породы	10-20	-	10-15	-	2-10	1-3	0-3	Amph 35-50, Fsp 15-20
	Рх-Vt-Or-породы	10-40	-	5-15	-	10-20	<1	0-2	Or 40-50, Amph 5-20, Pl 0-5
	Рх-Vt-Fsp-породы	10-40	-	5-15	-	10-20	<1	0-3	Or 20-25, Amph 5-20, Pl 20-25

Примечание: Срх – клинопироксен, Mic – слюда, Ne – нефелин, Prv – перовскит, Ap – апатит, Mag – магнетит, Ttn – титанит, Amph – амфибол, Cal – кальцит, Or – ортоклаз, Pl – плагиоклаз, Fsp – полевошпат. С использованием материалов (Арзамасцев и др., 2013)

**Химический состав.** Содержания петрогенных элементов в исследуемых породах резко отличается от средневзвешенного состава щелочно-ультраосновной серии Кольской провинции. Так, меланократовые породы массива Репоярви характеризуются пониженным содержанием  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , повышенным содержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . При этом аномальны содержания таких компонентов, как  $\text{Na}_2\text{O}$  (1.6% у исследуемых пород, 2.97% для средневзвешенного состава),  $\text{K}_2\text{O}$  (3.37% у исследуемых пород, 1.87% для средневзвешенного состава),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (4.22% для исследуемых пород, 1.2% для средневзвешенного состава). (рис. 22) Данные средневзвешенного состава пород взяты по материалам (Арзамасцев и др., 2013).

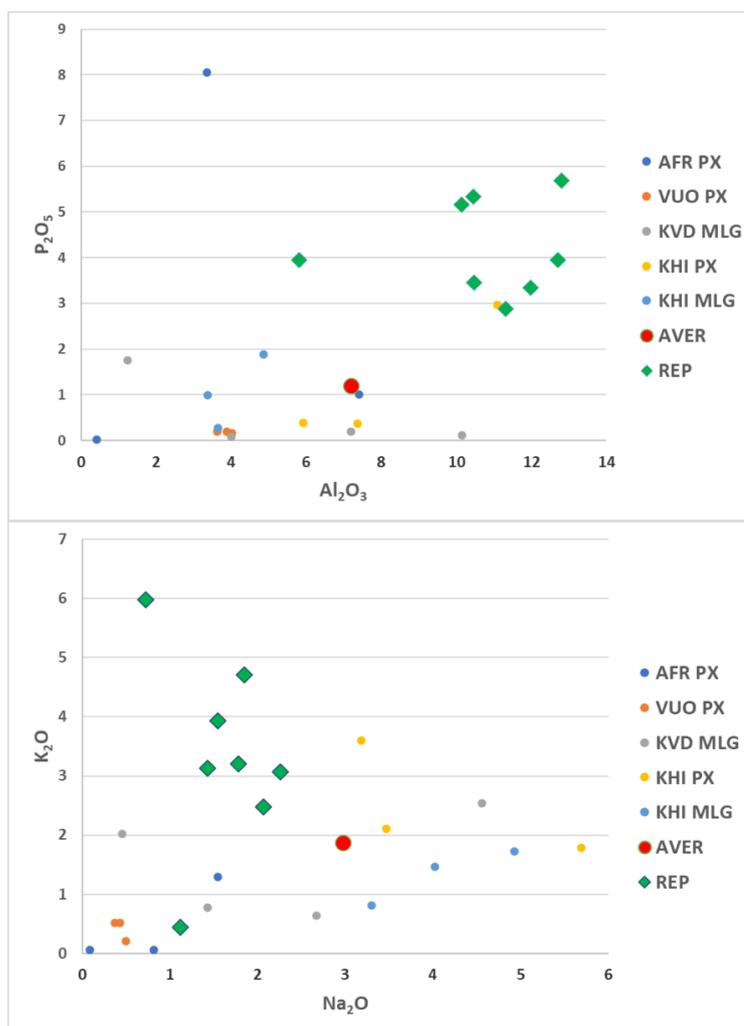


Рис. 22. Бинарные диаграммы  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{P}_2\text{O}_5$  (вверху) и  $\text{Na}_2\text{O}$  -  $\text{K}_2\text{O}$  для пород массива Репоярви и референсных комплексов. AFR PX – пироксениты массива Африканда, VUO PX – пироксениты массива Вуориярви, KVD MLG – мельтейгиты массива Ковдор, KHI PX – пироксениты Хибинского массива, KHI MLG – мельтейгиты Хибинского массива, AVER – средневзвешенные значения для пород щелочно-ультраосновной серии, REP – породы массива Репоярви. С использованием материалов (Арзамасцев и др., 2013).

При сравнении полученных для исследуемых пород диаграмм Феннера с вариациями составов пород ЩУХ и ЩУК (рис. 23) заметно, что все поля составов относятся к низкомагнезиальным частям серий и по своим геометрическим характеристикам соответствуют общей картине для щелочно-ультраосновных пород. Значительная часть составов попадает в общее поле распространения пород ЩУК и ЩУХ, однако отдельные участки составов (преимущественно меланократовых разновидностей) попадают в области распространения исключительно пород ЩУК. Такая картина наблюдается для  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ . В случае алюминия и щелочей наблюдается схожесть исследуемых пород как с ЩУК, так и с ЩУХ. Отдельно стоит отметить распределение  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Породы массива Репоярви характеризуются аномально высокими содержаниями данного компонента, в несколько раз превышающими представленные на диаграммах. Наиболее близко находятся значения содержания  $\text{P}_2\text{O}_5$  в породах серии ЩУК. Таким образом, наиболее полно вариации составов петрогенных компонентов попадают в области ЩУК, за исключением  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ , по вариациям содержания которых исследуемые породы могут соотноситься как с ЩУК, так и с ЩУХ.

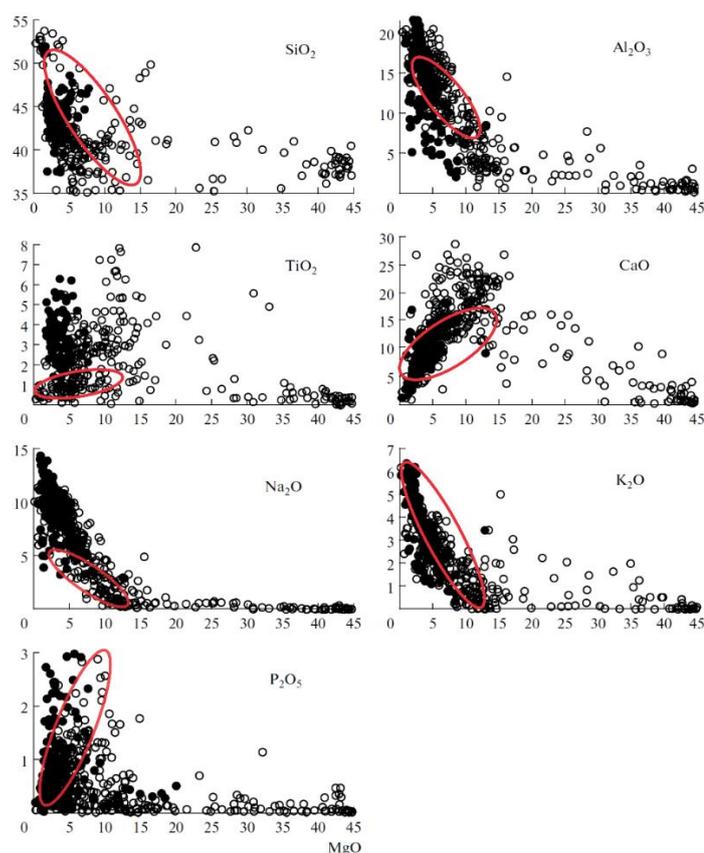


Рис. 23. Вариации составов исследуемых пород (обозначены красными эллипсами) на диаграммах вариации состава петрогенных оксидов для пород серий ЩУК (незалитые круги) и ЩУХ (залитые круги). С использованием материалов (Арзамасцев и др., 2013).

В характере распределения микроэлементов в породах массива Репоярви (рис. 12) и породах щелочно-ультраосновных серий региона также наблюдаются определенные различия. Так, для пироксенитов ЩУК характерна положительная аномалия содержаний Ta-Nb, связанная с кристаллизацией перовскита, в то время как в породах ЩУХ распределение данных аномалий не содержит аномалий, т.е. отсутствует определенный минерал-концентратор. (Арзамасцев и др., 2013). В исследуемых же породах отрицательная аномалия Ta-Nb свидетельствует о том, что данные элементы накапливались в одной минеральной фазе (предположительно, перовските), однако она в составе пород отсутствует. Еще одним отличием является распределение крупноионных литофильных элементов (LILE): для щелочно-ультраосновной серии характерно повышение их содержания по мере увеличения доли кристаллизующихся полевых шпатов, т.е. достигают максимальных значений в нефелиновых сиенитах. Исключение составляет Sr, накапливающийся также в апатите и мелилите, чей максимум приходится на мелилитовые породы. (Арзамасцев и др., 2013) В случае массива Репоярви для Rb действительно наблюдается повышение к лейкократовым породам, однако Ba уже не показывает подобной четкой тенденции, что связано с его присутствием в виде самостоятельных минеральных фаз (барит, целестин) во всех типах пород массива Репоярви, а также вхождением в состав КПШ, присутствующего, в отличие от ЩУК и ЩУХ, не только в лейкократовых, но также в мезо- и меланократовых породах. Максимумы содержаний стронция приходятся на меланократовые и карбонат-полевошпатовые лейкократовые породы, а минимум характерен для полевошпатовых лейкократовых пород. Связано это с тем, что в исследуемых породах основным концентратором Sr является апатит, в то время как в полевых шпатах его содержание весьма незначительно.

На графике распределения РЗЭ (рис. 24) видно, что форма распределения РЗЭ для пород массива Репоярви схожа с породами серии ЩУК, т.е. также характеризуется повышенным содержанием легких РЗЭ относительно тяжелых. Коэффициент  $(La/Yb)_N$  для пироксенитов серии ЩУК составляет 59-521, а для пироксенитов серии ЩУК – 31.4-53. (Арзамасцев и др., 2013) По концентрации РЗЭ породы массива Репоярви также соответствуют пироксенитам серии ЩУК (массивы Африканда и Вуориярви). Еще одним важным свойством является изменение содержаний РЗЭ от ранних дериватов к поздним: для пород ЩУК характерно уменьшение концентраций, в то время как для ЩУХ – увеличение. Как и в породах ЩУК, для лейкократовых пород массива Репоярви характерно пониженное содержание РЗЭ относительно мезо- и меланократовых.

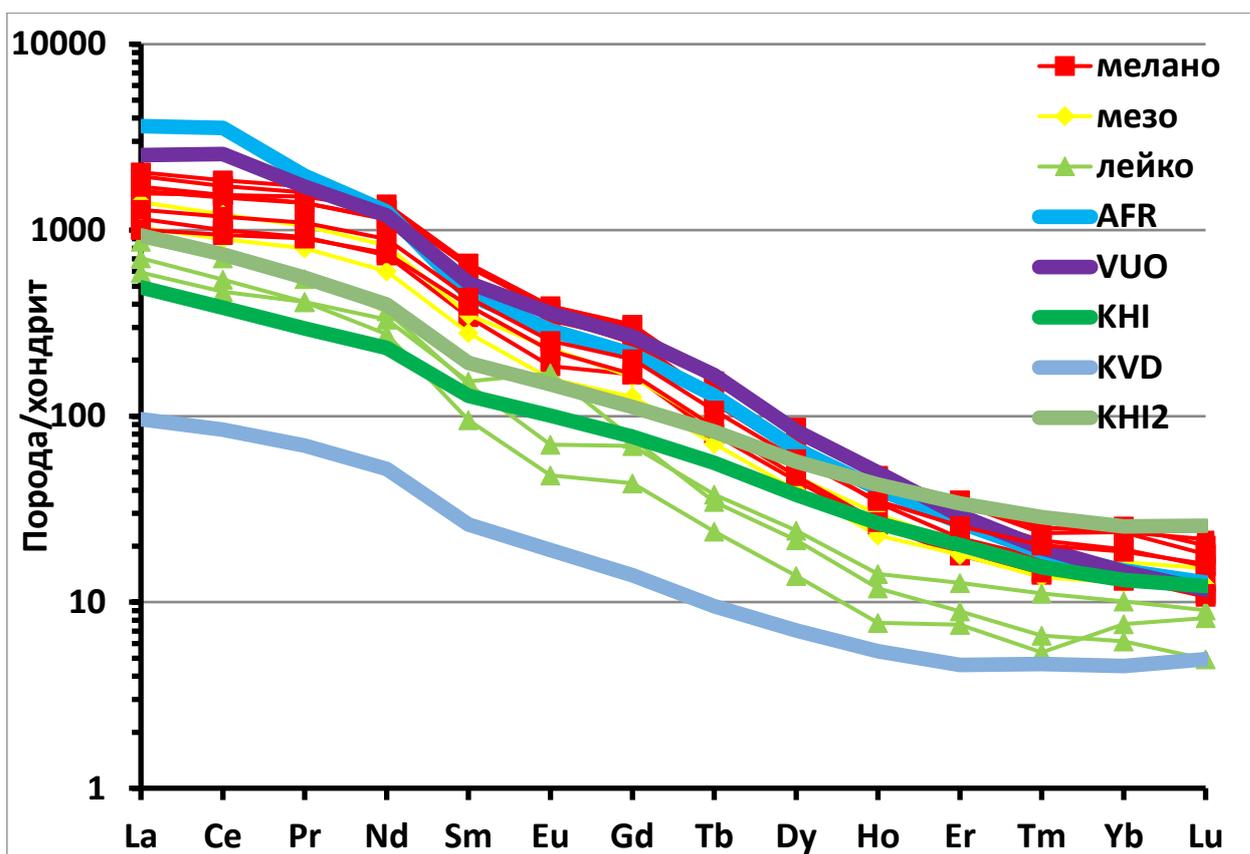


Рис. 24. График распределения РЗЭ в породах массива Репоярви и породах выборочных массивов Кольского полуострова. Жирные линии – средние содержания РЗЭ в породах различных массивов: AFR – пироксениты массива Африканда, VUO – пироксениты массива Вуориярви, KHI – пироксениты Хибинского массива, KVD – мельтейгиты Ковдорского массива, KHI2 – мельтейгиты Хибинского массива, с использованием данных (Арзамасцев и др., 2013). Нормировано по (Anders, 1989).

**Геохимия минералов.** Также было произведено сравнение химических составов породообразующих минералов и минералов-коллекторов РЗЭ.

Диопсид массива Репоярви по своему составу, в целом, соответствует клинопироксену ранних кумулатов ультраосновной щелочной серии. От пироксенов Хибинского массива его отличает отсутствие в составе Sr и РЗЭ, также значительно меньшее содержание эгиринового минала. Бiotит в сравнительном анализе не участвовал, т.к. в щелочно-ультраосновных сериях он отсутствует. Сравнивая распределение полевых шпатов массива Репоярви с Хибинским массивом (рис. 13), можно отметить, что КПШ исследуемых пород попадает в область полевых шпатов хибинитов, фойяитов и ричесорритов Хибин, однако в этом массиве отсутствуют натриевые плагиоклазы. Для ультраосновных пород серии ЩУК полевые шпаты не характерны.

В ультраосновных породах серии ЩУК (массивы Вуориярви, Африканда, Ковдор) единственными концентраторами РЗЭ являются апатит и перовскит. В ультраосновных породах серии ЩУХ (Хибины, Ловозеро) – апатит и титанит. Для фойдолитов ЩУК характерно наличие первичных перовскита, апатита и титанита, содержащих РЗЭ, для аналогичных пород серии ЩУХ – апатита и титанита. (Арзамасцев и др., 2013)

Для пород массива Репоярви характерна иная картина распределения РЗЭ. Перовскита в составе пород нет вовсе, титанит присутствует в меньших количествах, чем описано в референсных объектах. Апатит же, хотя и является породообразующим минералом, но не содержит редкоземельные элементы. Концентрации основных РЗЭ в апатите ЩУК составляют 320 – 3000 ppm, для ЩУХ – 1500 – 500 ppm (Арзамасцев и др., 2013), однако в ходе микронзондового анализа в исследуемых апатитах РЗЭ выявлено не было, что позволяет предполагать, что данный минерал коллектором этих элементов не является.

РЗЭ в породах массива Репоярви концентрируются преимущественно в отдельных минеральных фазах (рис. 17-20), расположенных в основном по краям зерен апатита. Выявленное различие может являться результатом природных процессов, подтверждающих уникальность пород массива Репоярви. Однако нельзя исключать возможность, что различия возникли вследствие разрешающей способности видов анализа: определение содержания РЗЭ А. Арзамасцевым проводилось методом LA-ICP-MS (Арзамасцев и др., 2013), тогда как в данном исследовании минеральные фазы были детально изучены с помощью EMPA.

## Заключение

В результате исследования, проведенного в рамках выпускной квалификационной работы, были сделаны следующие выводы.

1. По своим петрографическим характеристикам породы массива Репоярви не вписываются в установленные для щелочно-ультраосновных пород подразделения Петрографического кодекса. Они были классифицированы по доле темноцветных минералов на меланократовые, мезократовые и лейкократовые. Внутри первого типа были выделены гиганто- и крупнозернистые Pх-Vt-Ар породы, крупнозернистые Pх-Vt-Fsp породы и сланцеватые Pх-(Amph)-Vt-Fsp породы. Внутри второго типа были выделены разнозернистые Pх-Vt-Or породы и разнозернистые Pх-Vt-Fsp породы. Внутри третьего типа – Or- порфиры и Carb-Fsp породы.
2. Геохимические характеристики пород соответствуют их петрографическому разделению. От меланократовых и лейкократовым породам последовательно уменьшаются содержания Fe, Mg, Ca, P, Ba, Sr, REE последовательно возрастают содержания Si, Al, Na, K, Zr, Hf. Кристаллизация минералов в исследуемых породах проходила по схеме: пироксены-апатит – биотит – полевые шпаты.
3. Подавляющее большинство пироксенов в изученных породах относятся к диопсиду, минералы серии биотита относятся к его железистым разновидностям и являются первичными. Полевые шпаты представлены двумя рядами: ортоклаза и кислых плагиоклазов. Апатит представлен преимущественно фтористой разновидностью с практически отсутствующими примесями в позиции кальция. Минералы-коллекторы РЗЭ представлены преимущественно алланитом и монацитом, приуроченными к краям зерен апатита. Из прочих минеральных фаз обнаружены паризит, анкилит и титанит.
4. По минеральному составу породы массива Репоярви наиболее близки к пироксенитам серии ЩУХ (Хибинский массив), в то время как по содержаниям породообразующих элементов и по минералам-концентраторам РЗЭ, сильно отличаются и от ЩУХ и от ЩУК. Распределение РЗЭ и несовместимых элементов в породах массива Репоярви сходно с РЗЭ-спектрами ЩУК (массивы Африканда и Вуориярви). Таким образом породы изученного массива не могут быть в полной мере отнесены ни к ЩУК, ни к ЩУХ и, вероятно, представляют собой промежуточную разновидность.

### Список литературы

1. Арзамасцев, А. А. Геохимические индикаторы эволюции щелочно-ультраосновных серий палеозойских массивов Фенноскандинавского щита / А. А. Арзамасцев, Л. В. Арзамасцева // Петрология. – 2013. – Т. 21. – С. 277-308.
2. Арзамасцев, А. А. Минеральные ассоциации пород сиенит-карбонатитовой интрузии Лиллебукт (Северная Норвегия) как индикаторы условий ее образования / А. А. Арзамасцев, Л. В. Арзамасцева, С. В. Кузьмин // Записки Российского Минералогического общества. – 2002. – Т. 1. – С. 47-63.
3. Афанасьев, Б. В. Минеральные ресурсы щёлочно-ультраосновных массивов Кольского полуострова / Б. В. Афанасьев. – СПб: Изд-во «Роза ветров», 2011. – 224 с.
4. Матрёничев, А. В. Геологический отчет о результатах работ по контракту №15-1/17-1 от 13 апреля 2017 г. «Выполнение геолого-съёмочных работ в пределах листа Q-36-VII (Панаярвинская площадь)» / А. В. Матрёничев. – СПб, 2019. – 212 с.
5. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание второе, переработанное и дополненное. – Санкт-Петербург: Издательство ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
6. Anders, E. Abundances of the elements: Meteoritic and solar / E. Anders // *Geochimica et Cosmochimica acta*. – 1989. – Vol. 53. – P. 197-214.
7. Iveson, A. A. Magmatic–hydrothermal fluids and volatile metals in the Spirit Lake pluton and Margaret Cu–Mo porphyry system, SW Washington, USA / A. A. Iveson, J. D. Webster, M. C. Rowe1, O. K. Neill // *Contrib. Mineral Petrol.* – 2016. – Vol. 171. – P. 20.
8. Kramm, U. The Kola Alkaline Province of the CIS and Finland: Precise Rb-Sr ages define 380-360 Ma age range for all magmatism / U. Kramm, L.N. Kogarko, V.A. Kononova, H. Vartiainen // *Lithos*. – 1993. – Vol. 30. – Pp. 33-44.
9. Middlemost, E. A. K. Naming materials in the magma / igneous rock system / E. A. K. Middlemost // *Earth-Science Reviews*. – 1994. – Vol. 37. – P. 315-324
10. . Morimoto, N. C. Nomenclature of pyroxenes / N. C. Morimoto // *American Mineralogist*. – 1988 – Vol. 73. – Pp. 1123–1133
11. Nachit, H. Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites / H. Nachit, A. Ibhi, E. H. Abia, M. B. Ohoud // *C. R. Geoscience*. – 2005. – Vol. 337. – Pp. 1415-1420.
12. Sun, S.-s. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / S.-s. Sun, W. F. McDonough // *Geological Society, London, Special Publications*. – 1989. – Vol. 42. – P. 313-345.

## Приложение 1. Описания шлифов

### 5.7 Крупнозернистая пироксен-биотит-апатитовая порода

Порода обладает крупнозернистой (с отдельными гигантскими зернами пироксена и биотита) гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов. Минеральный состав:

Ar

Идиоморфные изометричные или длиннопризматические кристаллы с ориентированными включениями, ожелезнением по трещинам. Также образуют зернистые массы в интерстициях. Размеры от 0.1 до 3.8 мм.

Содержание 15%.

Di

Идиоморфные короткопризматические зерна, бледно-зеленые, не плеохроируют. Коррозионные границы, замещение арфведсонитом по краям, вдоль трещин, местами полное, биотитизация. По краям также развивается лейкоксен. Размеры от 0.3 до 2.4 мм.

(Есть крайне бледные разновидности с более высоким двупреломлением – возможно, иные сечения либо другой пироксен.)

Содержание: 40%.

Vt

2 разновидности

А) Светлый с сильным плеохроизмом от золотистого до насыщенного коричневого. Образует гипидиоморфные пластинки разных размеров с четко прослеживающейся спайностью.

Б) Тёмно-коричневый со слабым плеохроизмом, спайность нечеткая. Выделяется в форме ксеноморфных срастаний мелких зерен.

*Данные описания будут использованы в последующих илифах, где необходимо.*

Размеры от 0.02 до 1.8 мм. Соотношение  $a/b=40/60$

Содержание 15%.

Arf

Вторичный по диопсиду.

Содержание 20%.

Лейкоксен

Зернистые массы, приуроченные к краям диопсида и рудных минералов.

Содержание 1%.

Рудные

Ксеноморфные зерна от 0.01 до 0.5 мм.

Содержание 4%.

### **9.8 Гигантозернистая пироксен-биотит-апатитовая порода**

Порода обладает гигантозернистой гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов.

Минеральный состав:

Vt

Форма выделения: крупные пластинки (до 2.4\*2.0 мм), мелкозернистые агрегаты (примерно 0.1\*0.02 мм – 0.2\*0.1 мм); плеохроизм от темно-коричневого до светло-золотистого; включения Ar и Pl.

Содержание 40%.

Di

Идиоморфные короткопризматические кристаллы, иногда с корродированными гранями. Светло-зеленый с очень слабым плеохроизмом. Размеры до 6.6\*5.0 мм. По трещинам и по краям замещается Arf, иногда Vt. Включения Ar.

Содержание 30%.

Ar

Призматические (до столбчатых) и изоморфные гексагональные зерна размером до 0.8 мм в поперечнике. Частые каймы вокруг зерен, предположительно, эпидота. Также присутствуют ориентированные включения, предположительно, REE-минералов.

Содержание 25%.

Fe-Нур

Коричневатые идиоморфные призматические зерна со слабым плеохроизмом. Дисперсия осей индикатрисы.

Содержание менее 1%.

Pi

Ксеноморфные зерна в интерстициях, также встречено крупное идиоморфное зерно (4\*3.2 мм). Часты полисинтетические двойники по альбитовому закону. Пелитизация. Размеры от 0.2\*0.3 мм до 1.2\*1.6 мм.

Содержание 3%.

Рудные

Ксеноморфные зерна от 0.02 мм в поперечнике до 0.6\*1.6 мм. Иногда в виде прорастаний и включений в апатите. Присутствуют в каймы вторичного изменения.

Содержание 2%.

### **19.0 Гигантозернистая пироксен-биотит-апатитовая порода**

Порода обладает гигантозернистой гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов.

Минеральный состав:

Di

Идиоморфные сильно корродированные зерна с очень слабым плеохроизмом, но не погасающие полностью. Много мелких включений апатита. Участковое замещение арфведсонитом и биотитом. Размеры от 0.2 до 1.6 мм.

Содержание 24%.

Arg

Вторичный по авгиту.

Содержание 30%.

Vt

Аналогично 5.7. Содержание разновидностей примерно одинаковое.

Содержание 30%.

Ap

Гипидиоморфные/ксеноморфные зерна в интерстициях между темноцветами. Крупные зерна преимущественно ксеноморфны, в то время как мелкие обладают большим идиоморфизмом, последние часто в агрегатах и во включениях в диопсиде. Развито ожелезнение по трещинам. Размеры от 0.04 до 0.6 мм.

Содержание 7%.

Лейкоксен

Зернистые массы, приуроченные к краям зерен авгита.

Содержание 2%.

Рудные

Ксеноморфные зерна разных размеров.

Содержание 4%.

N. В. В одном из углов шлифа присутствует жила состоящая из гипидиоморфных зерен ортоклаз-пертита (размеры от 0.2 до 0.8 мм) и ксенокристов авгита и биотита (разновидность А) в основной массе из мелких (0.06-0.1 мм) зерен кислого плагиоклаза.

### **19.1 Разнозернистая пироксен-биотит-ортоклазовая порода**

Порода обладает разнозернистой гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. При этом идиоморфны также порфиновые вкрапленники ортоклаза. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов. Минеральный состав:

Arf

Идиоморфные ромбические зерна густо-зеленой окраски с сильным плеохроизмом. Полностью не погасает. Частично замещен биотитом. Размеры от 0.03 до 0.4 мм.

Содержание 10%.

Di

Обломки бледно-зеленых зерен с очень слабым плеохроизмом. Почти полностью замещены арфведсонитом. Размеры от 0.02 до 0.2 мм.

Содержание 5%.

Vt

Соотношение  $a/b=70/30$ . Размеры от 0.02 до 0.8 мм.

Содержание 30%.

Or

Ксеноморфные зерна разных размеров, часты пертиты, местами пелитизация. Как порфиновые вкрапленники, так и мелкие зерна в основной массе. Размеры от 0.02 до 0.6 мм.

Содержание 45%.

Ap

Идиоморфные гексагональные и короткопризматические зерна. Ориентированные включения, эпидот-биотитовые (?) каймы вокруг крупных зерен и по трещинам. Размеры от 0.02 до 1.4 мм.

Содержание 7%.

Титанит

Мелкие (0.02 мм) зерна коричневатых цытобы с очень высокими цветами интерференции.

Рудные

Ксеноморфные зерна разных размеров.

Содержание 3%.

## **22.7 Ортоклазовый порфир**

Порода характеризуется порфировой структурой с полевошпатовой основной массой и порфировыми вкрапленниками ортоклаза. Структура также гипидиоморфнозернистая с преобладающим идиоморфизмом КПШ. По краям зерен темноцветов заметны явные структуры растворения. Текстура породы неоднородная, что обусловлено чередованием зерен с разными размерами. Минеральный состав:

Or

Крупные идиоморфные зерна с пертитамы, включениями рудных и кварца. Развивается серицитизация и пелитизация. Размеры от 1 до 4 мм.

Содержание 40%.

Aug

Сильно корродированные зерна, частично замещенные арфведсонитом и гидрослюдами. Размеры от 0.1 до 0.6 мм.

Содержание 5%.

Qz

Ксеноморфные зерна в основной массе и в интерстициях между зернами ортоклаза и авгита. Размеры от 0.06 до 0.1 мм в о.м., до 0.8 мм в интерстициях.

Содержание 25%.

Pl

Гипидиоморфные и ксеноморфные зерна в основной массе, иногда пелитизированные. Размеры от 0.06 до 0.5 мм.

Содержание 25%.

Vt

Тип А. Отдельные пластинки неправильной формы до 0.1 мм в поперечнике. Часто приурочены к авгиту или рудным.

Рудные

Ксеноморфные и гипидиоморфные зерна до 0.8 мм в поперечнике, чаще до 0.1 мм.

Содержание 5%.

Титанит

Зернистые массы с размерами зерен до 0.01 мм.

Er

Медово-желтые мелкие (до 0.1 мм) зерна, развивающиеся по авгиту.

Ar

Идиоморфные изометричные зерна в основной массе или вкрапленниках в ортоклазе.  
Размеры до 0.06 мм.

### **27.3 Гигантозернистая пироксен-биотит-апатитовая порода**

Структура породы меняется от крупнозернистой до мелкозернистой. Соотношение этих частей – 40/60 соответственно. Также она характеризуется преобладающим иноморфизмом пироксена и апатита. Текстура неоднородная, что обусловлено постепенным изменением размерности зерен.

Di

Идиоморфные короткопризматические зерна со слабым плеохроизмом от бледно-зеленого до бледно-коричневого, иногда встречается неполное погасание. Часто образует пойкилитовые кристаллы с апатитом и рудными в виде вростков. По краям и по трещинам развиваются арфведсонит и биотит.

Размеры от 0.2 до 3.2 мм.

Содержание 40%.

Arf

Вторичный по диопсиду.

Содержание 20%.

Vt

Аналогичен **5.7**. Соотношение  $a/b=70/30$ . Встречаются радиально-лучистые агрегаты.  
Размеры от 0.1 до 2.4 мм.

Содержание 25%.

Ne

Идиоморфные или гипидиоморфные гексагональные и короткопризматические зерна. Встречается в пойкилитовых вростках в пироксенах. Ориентированные включения

цеолитов. По трещинам развит биотит. Часто железистые каймы вокруг зерен. В интерстициях иногда ксеноморфен. Размеры от 0.04 до 0.8 мм.

Содержание 10%.

Or

Ксеноморфные зерна в интерстициях между другими зернами. Зерна однородные, без пертитов и двойников, местами сильно пелитизированные. Размеры от 0.08 до 1.6 мм.

Содержание 5%.

Рудные

Ксеноморфные зерна разного размера.

### **34.3 Биотит-апатитовая порода**

N. В. Порода была подвергнута интенсивному вторичному изменению, вероятно, из-за внедрения карбонатной жилы. Примерно 30% породы занято тонкокристаллической массой, развивающейся, вероятно, по темноцветным минералам.

Ar

Гипидиоморфные и идиоморфные призматические и изометричные зерна, местами сильно корродированные. Ориентированные включения цеолитов, канкринита, местами начальная стадия шпреуштейнизации. Вокруг часто вторичные каймы.

Размеры от 0.1 до 1.4 мм.

Содержание 20%.

Vt

Соотношение  $a/b=40/60$ . Гигантские пластинки (на участках, примыкающих к карбонатной жиле), зернистые агрегаты, ксеноморфные выделения. Вероятно, заместил пироксен и амфибол. Размеры до 2.4 мм.

Содержание 40%.

Clt

Ксеноморфные пластинки, часто в срастаниях с биотитом. Вторичный. Размеры 0.2-0.3 мм.

Рудные

Присутствуют как идиоморфные зерна, так и цепочки, срастания ксеноморфных зерен.

Содержание 5%.

P1

Отдельные крупные (до 1.2 мм) идиоморфные короткопризматические зерна из карбонатной жилы. Широкие альбитовые двойники, интенсивная сосюритизация.

В основной части породы – мелкие ксеноморфные зерна, заполняющие интерстиции. Средний размер 0.5 мм.

Содержание 5%.

### **38.8 Гигантозернистая пироксен-биотит-апатитовая порода**

Порода обладает гигантозернистой гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов.

Минеральный состав:

Aeg-Di

Гигантские идиоморфные призматические кристаллы с корродированными краями (участково). Сильный плеохроизм (от зеленого до коричневого) при бледной окраске. Сильно амфиболитизирован. Размеры от 0.3 до 4 мм.

Содержание 50%.

Arf

Вторичный по эгирин-диопсиду.

Содержание 30%.

Ar

Идиоморфные и гипидиоморфные изоморфны, столбчатые и бипирамидальные зерна. Часто образуют пойкилитовые вроски в эгирин-диопсиде. Вторичные каймы вокруг зерен. Размеры от 0.01 до 1 мм.

Содержание 20%.

P1

Ксеноморфные зерна в интерстициях.

Размеры до 0.06 мм.

Ер

Вторичные ксеноморфные зерна по эгирин-диопсиду.

Размеры от 0.02 до 0.06 мм.

#### **41.9 Ортоклазовый порфир**

Порода характеризуется порфировой структурой с полевошпатовой основной массой и порфировыми вкрапленниками ортоклаза. Структура также гипидиоморфнозернистая с преобладающим идиоморфизмом КПШ. Текстура породы неоднородная, что обусловлено чередованием зерен с разными размерами. Минеральный состав

Or

Гигантские идиоморфные кристаллы, а также мелкие ксеноморфные зерна в основной массе. Сильная пелитизация. Размеры от 0.06 мм до 4.6 мм.

Содержание 55%.

P1

Ксеноморфные зерна в основной массе. Развито полисинтетическое двойникование, пелитизация. Размеры от 0.06 до 0.3 мм.

Содержание 25%.

Qz

Срастания ксеноморфных зерен. Часто в залеченных трещинах. Средний размер 0.4 мм.

Содержание 17%.

Vt

Отдельные мелкие зерна типа Б. Размеры до 0.2 мм.

Содержание 3%.

#### **55.0 Ортоклазовый порфир**

Порода характеризуется порфировой структурой с полевошпатовой основной массой и порфировыми вкрапленниками ортоклаза. Структура также гипидиоморфнозернистая с преобладающим идиоморфизмом КПШ. По краям зерен темноцветов заметны явные структуры растворения. Текстура породы неоднородная, что обусловлено чередованием зерен с разными размерами. Минеральный состав

Vt

Аналогично **5.7**. Размеры от 0.02 до 1.2 мм.

Содержание 10%.

Di

Сильно корродированные зерна бледно-зеленых цветов с очень слабым плеохроизмом. Покрывают скрытокристаллическими глинистыми агрегатами. Амфиболитизированы. Средние размеры 1.6 мм.

Содержание 15%.

Kfs

Занимает основную часть породы. Крупнозернистые агрегаты ксеноморфных кристаллов. Пертиты, обширная пелитизация. Пойкилитовые вроски апатита.

Содержание 60%.

Ap

Идиоморфные изометричные зерна с ориентированными включениями и мелкие гипидиоморфные зерна в агрегатах. Размеры от 0.08 до 0.9 мм.

Содержание 11%.

Рудные

Ксеноморфные зерна разных размеров. Размеры от 0.02 до 1.6 мм.

Содержание 7%.

### **61.0 Разнозернистая пироксен-биотит-ортоклазовая порода**

Порода характеризуется разнозернистой (при этом разный размер зерен характерен для каждого минерального вида) гипидиоморфнозернистой (с преобладающим идиоморфизмом КПШ и диопсида) структурой. Текстура породы неоднородная, пятнистая

вследствие нахождения крупных зерен КПШ и диопсида в биотит-полевошпатовой основной массе. Стоит отметить, что одна часть породы значительно отличается по структурно-текстурным особенностям: среднезернистая однородная полевошпатовая порода. Минеральный состав:

Vt

Сходно с 5.7, включая размеры.

Содержание 15%.

Di

Сильно корродированные зерна, практически полностью замещенные скрытокристаллическими массами вторичных минералов. Размеры от 0.4\*0.2 до 2.2\*1.2 мм.

Содержание 20%.

Ap

Короткопризматические ксеноморфные и гипидиоморфные зерна с ориентированными по спайности включениями. Изоморфные мелкие (до 0.1 мм) зерна в виде пойкилитовых вкрапленников в авгите, КПШ и биотите. Также в виде столбчатых гипидиоморфных зерен.

Размеры – в среднем 0.4\*0.6 мм.

Содержание 25%.

Kfs

Сливная масса, состоящая из разных по размеру (от 0.02 до 1мм) ксеноморфных зерен. Каолинитизация, пертитизация, простое двойникование.

Содержание 45%.

Рудные

Ксеноморфные зерна разных размеров (от 0.03 до 0.6 мм).

Содержание 5%.

### **68.0 Разнозернистая пироксен-биотит-полевошпатовая порода**

Порода характеризуется разнозернистой (при этом разный размер зерен характерен для каждого минерального вида) гипидиоморфнозернистой (с преобладающим идиоморфизмом КПШ и диопсида) структурой. Текстура породы неоднородная, пятнистая

вследствие нахождения крупных зерен КПШ и диопсида в биотит-полевошпатовой основной массе. Минеральный состав:

Di

Идиоморфные короткопризматические зерна со слабым плеохроизмом в оттенках бледно-зеленого. Некоторые полностью не гаснут. Пойкилитовые кристаллы. Вторичные арфведсонит и биотит, местами корродированные границы. Размеры от 0.14 до 2 мм.

Содержание 25%.

Argf

Вторичный по диопсиду.

Содержание 5%.

Vt

Крупные пластинки, ориентированные линейные агрегаты мелких зерен. Соотношение  $a/b=85/15$ .

Размеры от 0.01 до 1.2 мм.

Содержание 15%.

Ap

Отдельные идиоморфные изометричные или короткопризматические зерна с ориентированными включениями, а также цепочки мелких гексагональных зерен. Иногда в пойкилитовых вросках. Размеры от 0.08 до 0.6 мм.

Содержание 12%.

Or-Mi

Разнозернистая масса ксеноморфных зерен, пелитизированных, часто с пертитами. Размер пертитов достигает 0.5-1 мм. Размер зерен от 0.04 до 1.9 мм.

Содержание 30%.

Pl

Находится в то же зернистой массе, что и КПШ. Характерны альбитовые двойники, сосюритизация, пелитизация. Размеры от 0.04 до 0.4 мм. Одно зерно достигает 3.2 мм в поперечнике.

Содержание 10%.

Рудные

Отдельные сливные массы.

Содержание 3%.

#### **74.7 Разнозернистая пироксен-биотит-полевошпатовая порода**

Порода характеризуется разнозернистой (при этом разный размер зерен характерен для каждого минерального вида) гипидиоморфнозернистой (с преобладающим идиоморфизмом КПШ и диопсида) структурой. Текстура породы неоднородная, пятнистая вследствие нахождения крупных зерен КПШ и диопсида в биотит-полевошпатовой основной массе.

Di

Идиоморфные призматические зерна, местами сильно корродированные. Плеохроизм очень слабый либо отсутствует. Активно замещается арфведсонитом и биотитом. Размеры от 0.1 до 1.4 мм.

Содержание 20%.

Arf

Вторичный по диопсиду.

Содержание 3%.

Vt

Пластинки неправильной формы, относящиеся к типу А. Образуют протяженные цепочки. Размеры от 0.02 до 0.6 мм.

Содержание 10%.

Ar

Идиоморфные гексагональные, столбчатые и короткопризматические зерна с ориентированными включениями, вокруг каймы эпидота. Также присутствует в виде ксеноморфных кристаллов в агрегатах – вероятно, вторичный Размеры от 0.04 до 0.6 мм.

Содержание 20%.

P1

Зернистая масса из ксеноморфных кристаллов в пространстве между иными зернами. Альбитовые двойники, местами сосюритизация, пелитизация. Размеры от 0.06 до 0.4 мм.

Содержание 25%.

Or-Mi

Формы нахождения аналогичны плагиоклазу. Микроклиновые решетки, простые двойники. Размеры от 0.06 до 1 мм.

Содержание 20%.

Лейкоксен

Цепочки и зернистые массы. Размеры зерен до 0.1 мм.

Рудные

Отдельные ксеноморфные зерна.

Содержание 2%.

### **85.0 Крупнозернистая пироксен-биотит-полевошпатовая порода**

Порода обладает крупнозернистой (с отдельными гигантскими зернами пироксена и биотита) гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов. Минеральный состав

Aug

Идиоморфные призматические зерна, местами сильно корродированны, без плеохроизма, полностью не гаснут, возможны простые двойники. Сильно амфиболитизированы, биотитизированы. Размеры от 0.3 до 1.2 мм.

Содержание 30%.

Arg

Вторичный по авгиту.

Содержание 15%.

Vt

Очень много мелкозернистых агрегатов, однако встречаются и крупные пластинки. В агрегатах наблюдается четкая ориентировка зерен. Размеры от 0.01 до 0.9 мм. Соотношение  $a/b=9/10$ .

Содержание 30%.

Ap

Встречается в виде агрегатов мелких идиоморфных гексагональных или короткопризматических зерен или в виде отдельных крупных короткопризматических зерен. Ориентированные включения цеолитов. Размеры от 0.04 до 0.8 мм.

Содержание 7%.

Or-Mi

Исключительно в интерстициях. Крупные ксеноморфные зерна или группы малых гипидиоморфных зерен. Часто встречается Mi-решетка, пертиты. Интенсивно пелитизирован. Размеры от 0.01 до 1.6 мм.

Содержание 13%.

Pl

Отдельные крупные гипидиоморфные и ксеноморфные зерна, пелитизированные, сосюритизированные. Размеры до 0.5 мм.

Содержание 2%.

Рудные

Отдельные ксеноморфные зерна или крупные сливные массы.

Содержание 3%.

### **88.8 Сланцеватая пироксен-(амфибол)-биотит-полевошпатовая порода**

Порода обладает мелкозернистой структурой с отдельными крупными зернами пироксена и замещающего его арфведсонита и сланцеватой текстурой, с отчетливым чередованием лейко- и меланократовых разностей. Минеральный состав:

Vt

Пластинки с корродированными краями, с интенсивным плеохроизмом от светло-желтого до насыщенного оранжево-коричневого. Также развивается по авгиту и арфведсониту. Размеры от 0.03 до 0.8 мм.

Содержание 18%.

Arf

Обломки гипидиоморфных зерен, также есть определенно вторичные, развивающиеся, предположительно, по авгиту. Сильный плеохроизм в оттенках зеленого. Размеры от 0.06 до 2.2 мм. Зерна в 1.5-2 мм – продукты полного замещения пироксенов.

Содержание 35%.

Aug

Отдельные обломки зерен, идиоморфные короткопризматические. Заметный плеохроизм от зеленого до коричневатого. Сильная амфиболитизация, крупные зерна полностью замещены арфведсонитом. Размеры от 0.06 до 2 мм.

Содержание 20%.

Ar

Приурочены к меланократовым частям и их границам. Идиоморфные изометричные зерна, образуют цепочки. Также в виде пойкилитовых вростков в авгите. Размеры от 0.04 до 0.4 мм.

Содержание 15%.

Pi

Гипидиоморфные и ксеноморфные зерна, слагающие лейкократовую часть породы. Двойники, слабая пелитизация и сосюритизация. Размеры от 0.02 до 0.2 мм.

Содержание 10%.

Монацит

Насыщенно коричневые идиоморфные зерна. Размер около 0.1 мм.

Содержание 2%.

Циркон

Вероятно, обломочные зерна. Приурочены к меланократовой части. Размеры от 0.1 до 0.2 мм.

Рудные

Отдельные мелкие ксеноморфные зерна.

### **94.3 Крупнозернистая пироксен-биотит-полевошпатовая порода**

Порода обладает крупнозернистой (с отдельными гигантскими зернами пироксена и биотита) гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов. Минеральный состав

Ti-Aug

Идиоморфные призматические зерна с сильно корродированными краями. Сильный плеохроизм от розоватого до слабо-зеленоватого. Полностью не погасает. Вторичные изменения по трещинам, в т. ч. слабая амфиболитизация. Размеры от 0.1 до 1.2 мм.

Содержание 25%.

Di

Идиоморфные призматические сильно корродированные зерна бледно-зеленого цвета с отсутствием плеохроизма. Часто образуют пойкилитовые кристаллы. Частичная биотитизация и амфиболитизация. Размеры от 0.14 до 2.8 мм.

Содержание 32%.

Vt

Крупные пластинки, часто в сростаниях с пироксенами. Соотношение  $a/b=70/30$ . Размеры от 0.06 до 3.2 мм.

Содержание 20%.

Ap

Идиоморфные и гипидиоморфные гексагональные и призматические зерна, более изометричные находятся в пойкилитовых вростках, менее изометричные – в интерстициях

между темноцветами. Ориентированные включения стронцианита. Вокруг зерен иногда эпидотовые вторичные каемки менее 0.01 мм в поперечнике. Размеры от 0.06 до 2.4 мм.

Содержание 15%.

Or-Mi

Ксеноморфные формы выделения, заполняют интерстиции между иными зернами. Микроклиновые решетки, пелитизация. Размеры от 0.05 до 1.2 мм.

Содержание 10%.

Рудные

Ксеноморфные зерна с размерами до 0.8 мм.

Содержание 3%.

### **102.3 Крупнозернистая пироксен-биотит-полевошпатовая порода**

Порода обладает крупнозернистой (с отдельными гигантскими зернами пироксена и биотита) гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов. Минеральный состав

Ap

Идиоморфные зерна в виде гексагонов и коротких призм. Ориентированные включения. Также присутствует в виде вкрапленников в титан-авгите и биотите. Размеры от 0.1 до 1.8 мм.

Содержание 20%.

Ti-Aug

Идиоморфные крупные зерна с очень сильным плеохроизмом, нет погасания. Встречаются и менее титанистые зерна, в которых данные свойства проявлены не так сильно. Сильная трещиноватость, развитие по краям арфведсонита, гидрослюд. Участковое замещение биотитом. Местами полностью замещен арфведсонитом. Размеры от 0.3 до 2.6 мм.

Содержание 20%.

Arg

Вторичный по титан-авгиту.

Содержание 30%.

Vt

Аналогичен **5.7**. Соотношение  $a/b=95/5$ . Размеры от 0.06 до 2.4 мм.

Содержание 20%.

Or-Mi

Сплошные сливные массы в интерстициях между иными зернами. Пертиты, пелитизация и серицитизация. Множество разноориентированных включений. Размеры до 2 мм.

Содержание 10%.

Рудные

Отдельные мелкие ксеноморфные зерна.

### **106.8 Крупнозернистая пироксен-биотит-полевошпатовая порода**

Порода обладает крупнозернистой (с отдельными гигантскими зернами пироксена и биотита) гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов. Минеральный состав

Ap

Идиоморфные гексагональные, длинно- и короткопризматические зерна. Ориентированные включения, эпидотизация по трещинам, эпидота. Размеры от 0.1 до 3 мм.

Содержание 20%.

Vt

Сходно с **5.7**. Размеры от 0.06 до 2.2 мм.

Содержание 15%.

Ti-Aug

Сходно с **102.3**. Размеры от 0.04 до 2 мм.

Содержание 30%.

Arf

Вторичный по титан-авгиту.

Содержание 10%.

Og-Mi

Сходно с **102.3**. Размеры до 3 мм.

Содержание 20%.

Рудные

Ксеноморфные зерна, в т.ч. в виде включений.

Содержание 5%.

#### **128.5 Карбонат-полевошпатовая порода**

Порода, вероятно, жильная, состоит из карбонатной и полевошпатовой частей.

Clf

Крупные и гигантские пластинки неправильной формы на границе двух частей породы.

Содержание 15%.

Carb

Крупные-гигантские идиоморфные зерна с полисинтетическими двойниками.

Содержание 30%.

Og

Крупные гипидиоморфные зерна, слагающие основную массу полевошпатовой части породы.

Содержание 30%.

Pl

Мелкие ксеноморфные зерна в полевошпатовой части.

Содержание 14%.

Qz

Также несколько гигантских зерен в карбонатной части.

Ap

Идиоморфные столбчатые и гексагональные преимущественно мелкие зерна. Чаще всего встречаются на границе частей породы либо в полевошпатовой части.

Содержание 5%.

Титанит

Идиоморфные мелкие зерна, приуроченные к полевошпатовой части и границе с карбонатами.

Содержание 2%.

Рудные

Гипидиоморфные мелкие-средние зерна преимущественно в полевошпатовой части.

Содержание 4%.

### **128.5-1 Карбонат-полевошпатовая порода**

Carb

Представлены в виде мелкозернистой массы и сильно выветрелых ксеноморфных зерен. Вторичные. Также развиваются в виде землистой массы по плагиоклазам.

Содержание 20%.

Pl

Ксеноморфные зерна разного размера, с полисинтетическим двойникованием, сильно сосюритизированы, местами пелитизированы. Размеры от 0.04 до 0.4 мм.

Содержание 40%.

Or-Mi

Единичные ксеноморфные зерна. В отличие от плагиоклаза двойникование простое, сосюритизация отсутствует. Видны микроклиновые решетки. Размеры около 0.1 мм.

Также представлен обломками (?) идиоморфных призматических зерен в карбонатном матриксе. Зерна свежие, без следов вторичного изменения, без ориентированных включений. Размеры от 0.04 до 1.4 мм.

Содержание 30%.

Qz

Образует отдельную зону между карбонатами и полевыми шпатами. Представлен обломками (?) идиоморфных призматических зерен в карбонатном матриксе. Зерна свежие, без следов вторичного изменения, без ориентированных включений. Размеры от 0.04 до 1.4 мм.

Содержание 20%.

Ap

Гипидиоморфные зерна в плагиоклазовой массе либо на границе с нефелином. Возможно, обломочные, т.к. сильно корродированные грани. Присутствуют эпидотовые каймы. Размеры от 0.1 до 0.6 мм.

Содержание 5%.

Эпидот-алланит

Идиоморфные бочонкообразные зерна зеленовато-медового цвета. Размеры от 0.02 до 0.4 мм.

Хлорит

Отдельные агрегаты светло-зеленых пластинок. Вторичный.

Рудные

Ксеноморфные зерна разного размера.

Содержание 5%.

### **129.6 Сланцеватая пироксен-(амфибол)-биотит-полевошпатовая порода**

Порода обладает мелкозернистой структурой с отдельными крупными зернами пироксена и замещающего его арфведсонита и сланцеватой текстурой, с отчетливым чередованием лейко- и меланократовых разностей. Минеральный состав:

Arf

Идиоморфные зерна густо-зеленого цвета с интенсивным плеохроизмом. Полностью не погасают. Слагают основную мелкозернистую массу меланократовых разностей, также присутствуют единичные крупные зерна с вторичными биотитом и глинистыми минералами. Размеры от 0.02 до 1.2 мм.

Содержание 57%.

Vt

Соотношение  $a/b=20/80$ . Преимущественно длиннопризматические пластинки. Размеры от 0.02 до 0.3 мм.

Содержание 10%.

Ar

Идиоморфные и гипидиоморфные изоморфные и реже короткопризматические зерна. С ориентированными включениями. Размеры от 0.06 до 0.1 мм.

Содержание 10%.

Or

Ксеноморфные зерна, слагающие основную массу лейкократовых разностей. Пертиты, пелитизация. Размеры от 0.02 до 0.4 мм.

Содержание 20%.

Рудные

Отдельные мелкие ксеноморфные зерна.

Содержание 3%.

### **136.5 Ортоклазовый порфир**

Di

Идиоморфные короткопризматические зерна, сильно корродированные, с аномально бледной окраской (в сравнении с прочими образцами). Слабый плеохроизм. Часто замещается биотитом. Размеры от 0.02 до 0.6 мм.

Содержание 20%.

Or

Гигантские идиоморфные призматические зерна с корродированными краями, а также мелкозернистые ксеноморфные массы, слагающие основную часть породы. Пертиты, простые двойники, пелитизация. Размеры от 0.03 до 1.4\*5 мм.

Содержание 45%.

Qz

Ксеноморфные зерна в основной массе. Размеры от 0.02 до 0.4 мм.

Содержание 20%.

Ap

Отдельные мелкие идиоморфные длиннопризматические зерна. Размеры от 0.03 до 0.2 мм.

Содержание 2%.

Vt

Светлые ксеноморфные пластинки со слабым плеохроизмом. Размеры от 0.01 до 0.8 мм.

Содержание 7%.

Титанит

Идиоморфные коричневые зерна с плеохроизмом, вторичные каймы. Размеры от 0.04 до 0.3 мм.

Содержание 3%.

Рудные

Ксеноморфные зерна разных размеров

Содержание 3%.

### **136.5-1 Разнозернистая пироксен-биотит-ортоклазовая порода**

Di

Светло-зеленые сильно корродированные зерна практически без плеохроизма. По краям развивается биотит. Размеры от 0.06 до 1 мм.

Содержание 15%.

Vt

Очень сильно плеохроирующие таблички неправильной формы. Некоторые погасают не полностью. Часто образуют ориентированные скопления зерен. Размеры от 0.01 до 1.4 мм.

Содержание 20%.

Or

Ксеноморфные, реже гипидиоморфные (для крупных зерен) зерна разных размеров. Часто пелитизированы, возможны пертитовые вроски и простые двойники. Размеры от 0.02 до 1.4 мм.

Содержание 50%.

Ap

Ксенокристы (?) идиоморфные столбчатые зерна с неровными краями. Эпидотовые каймы. Также встречаются в виде агрегатов ксеноморфных зерен разной размерности. Размеры от 0.06 до 0.4 мм.

Содержание 9%.

Титанит

Густоокрашенные коричневые идиоморфные призматические и столбчатые кристаллы. Слабый плеохроизм, вторичные каймы. Размеры от 0.1 до 0.8 мм.

Содержание 3%.

Рудные

Ксеноморфные зерна разных размеров.

Содержание 3%.

### **142.5 Ортоклазовый порфир**

Порода характеризуется порфировой структурой с полевошпатовой основной массой и порфировыми вкрапленниками ортоклаза. Структура также гипидиоморфнозернистая с преобладающим идиоморфизмом КПШ. По краям зерен темноцветов заметны явные структуры растворения. Текстура породы неоднородная, что обусловлено чередованием зерен с разными размерами. Минеральный состав

Di

Идиоморфные сильно корродированные зерна с развивающимися поверх арфведсонитом и биотитом. Размеры от 0.1 до 2 мм.

Содержание 10%.

Argf

Вторичный по диопсиду.

Содержание 5%.

Vt

Мелкие (до 0.1\*0.2 мм) идиоморфные призматические (в т.ч. длиннопризматические) пластинки по авгиту и арфведсониту. Светлоокрашенные.

Крупные ксеноморфные пластинки в основной массе до 0.6\*1.4 мм. Также светлоокрашенные.

Содержание 10%.

Or

Крупные и гигантские гипидиоморфные зерна. Пертиты, серицитизация, пелитизация. Границы неровные. Размеры от 0.4 до 1.2 мм.

Содержание 50%.

Pt

Встречается в двух разновидностях. 1. Крупные (как ортоклаз) кристаллы, гипидиоморфные. С альбитовыми двойниками. 2. Мелкие гипидиоморфные и ксеноморфные зерна, слагающие основную массу. Средний размер 0.06 мм.

Содержание 20%.

Ar

Идиоморфные гексагональные, длинно- (до столбчатых) и короткопризматические зерна. Характерны ориентированные по спайности включения стронцианита и REE-минералов. Иногда каймы эпидота. Сеть трещин, по которым развивается ожелезнение. Иногда цепочки зерен. Размеры 0.1-0.6 мм.

Содержание 5%.

Титанит

Зернистые массы, часто приурочены к авгиту.

Эпидот

Зернистые массы в каймах авгита и нефелина.

Рудные

Ксеноморфные зерна и агрегаты в трещинах и интерстициях. Средний размер около 0.2 мм.

Содержание 3%.

#### **147.5 Гигантозернистая пироксен-биотит-апатитовая порода**

Порода обладает гигантозернистой гипидиоморфнозернистой структурой с преобладающим идиоморфизмом зерен пироксенов и апатита. Также, между пироксеном-амфиболом и биотитом присутствуют участковые структуры прорастания, между пироксеном и амфиболом – структуры замещения. Текстура породы неоднородная, пятнистая, обусловленная взаиморасположением темноцветных и прозрачных минералов.

Минеральный состав:

Di

Идиоморфные зерна со слабым плеохроизмом, полностью не гаснут. Характерны отдельные пойкилокристаллы. По краям и вокруг включений развивается арфведсонит. Участковая биотитизация. Границы корродированные. Размеры от 0.2 до 3.6 мм.

Содержание 40%.

Arf

Вторичный по диопсиду.

Содержание 10%.

Vt

Сходен с **5.7**. Соотношение  $a/b=70/30$ . Размеры от 0.02 до 1.4 мм.

Содержание 20%.

Ap

Находится как в форме отдельных идиоморфных зерен, так и в интерстиционных мелкозернистых агрегатах, где все зерна также весьма идиоморфны. Размеры от 0.04 до 0.8 мм.

Содержание 20%.

Р1

Ксеноморфные выделения в интерстициях между иными зернами. Полисинтетические двойники, сосюритизация, пелитизация. Размеры от 0.02 до 0.4 мм.

Содержание 5%.

Лейкоксен

Ксеноморфные мелкие зерна и агрегаты близ рудных и авгита. Размеры до 0.06 мм.

Содержание 1%.

Рудные

Ксеноморфные зерна размером от 0.02 до 0.5 мм.

Содержание 4%.

## Приложение 2

Таблица 2. Содержания петрогенных оксидов в породах массива Репоярви (масс. %)

Скважина	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Глубина, м	9.8	38.8	88.8	125.5	129.6	147.5	128.5	136.5	22.7	41.9	55	19.1	61
Тип	мелано	лейко	лейко	лейко	мезо	мезо							
SiO <sub>2</sub>	33.96	43.4	45.74	35.78	38.1	37.18	35.36	39.72	69.41	64.9	51.17	47.29	52.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.8	5.817	10.15	10.47	11.99	10.46	11.32	12.71	14.15	14.74	18.75	16.3	13.33
TiO <sub>2</sub>	2.583	0.6663	0.6219	1.301	1.234	2.528	1.209	2.191	0.3662	0.7723	0.96	1.337	1.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	12.56	10.55	10.03	15.98	15.33	14.03	16.47	15.11	3.191	3.867	8.187	11.13	9.907
MnO	0.1098	0.2443	0.1651	0.1183	0.2334	0.1366	0.159	0.1783	0.0199	0.0425	0.0735	0.1528	0.1028
MgO	12.33	11.19	9.423	5.496	8.451	9.03	6.358	8.125	0.5049	0.8115	3.822	5.431	4.502
CaO	10.73	21.99	12.84	13.65	13.66	13.8	12.4	9.979	1.103	2.303	5.162	5.968	6.391
Na <sub>2</sub> O	0.7233	1.122	2.067	1.549	1.428	1.78	2.26	1.853	3.842	3.334	3.505	3.357	2.155
K <sub>2</sub> O	5.973	0.4408	2.474	3.928	3.126	3.203	3.065	4.714	6.47	7.589	5.085	5.123	5.334
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5.68	3.941	5.163	3.445	3.341	5.332	2.883	3.939	0.0725	0.2677	1.157	2.655	1.937
ППП	0.959	0.534	1.25	7.77	2.55	1.61	8.07	0.613	0.18	0.234	1.06	0.596	2.13
Сумма	98.4	99.9	99.92	99.49	99.44	99.08	99.55	99.13	99.31	98.86	98.94	99.35	99.47
V	0.0282	0.0145	0.0122	0.0284	0.0264	0.0289	0.0275	0.0289	<0.005	0.0058	0.0176	0.0198	0.0157
Cr	<0.002	0.0022	0.0161	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Ba	1.172	0.033	0.1692	0.2826	0.364	0.6358	0.2867	0.5779	0.2144	0.3117	0.8046	0.4918	0.3951

### Приложение 3

Таблица 3. Содержания элементов-примесей в породах массива Репоярви (ppm)

Скважина	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Образец	9.8	38.8	88.8	125.5	128.5	129.6	136.5	147.5	19.1	61	22.7	41.9	55
Тип	мелано	мезо	мезо	лейко	лейко	лейко							
Rb	78.9	1.00	42.9	73.7	65.6	49	69.5	50.4	62.2	90.2	138	115	49.7
Sr	5540	1750	4370	2200	2050	3880	4880	3870	6000	3670	1060	1500	11410
Y	52.6	70.9	39.6	71.3	58.3	70.8	51.7	41.5	44.2	35.3	13	21.5	18.4
Zr	87.8	258	232	252	257	216	146	83.4	248	297	347	495	103
Nb	5.84	1.22	5.37	4.58	4.74	3.44	7.9	5.59	9.61	10.3	8.42	10.5	3.36
Ba	29290	366	1670	2670	2800	8590	13400	14880	10890	8930	1740	2630	18120
La	381	370	270	457	402	480	302	236	332	242	166	204	139
Ce	904	932	604	1040	934	1120	714	569	733	540	327	427	281
Pr	125	135	81.6	142	125	153	97.7	80.5	94	71.2	36.7	48.8	36.7
Nd	516	588	331	583	522	623	405	341	374	272	125	166	150
Sm	78.5	94.8	50.2	92.9	82.2	97.6	64	58	51.6	41.2	14	21.8	22.6
Eu	19.3	21.1	10.4	21	18.3	21.9	14.2	12.6	13	8.9	2.69	3.94	9.55
Gd	48.5	59.8	33	59.2	51.1	61	39.8	33.1	32	25	8.57	13.6	14.9
Tb	4.27	5.48	2.91	5.55	4.59	5.61	3.89	3.18	3.22	2.58	0.87	1.38	1.26
Dy	15.2	21.1	10.9	19.9	17.6	21.1	14.3	11.6	11.5	9.7	3.36	5.9	5.23
Ho	1.9	2.59	1.45	2.63	2.22	2.66	1.95	1.5	1.65	1.27	0.43	0.79	0.66
Er	3.51	5.4	2.83	5.62	4.6	5.42	4.08	3.45	3.29	2.86	1.2	2.02	1.42
Tm	0.42	0.57	0.34	0.6	0.52	0.61	0.49	0.35	0.36	0.33	0.13	0.27	0.16
Yb	2.37	3.87	2.18	4.16	3.12	3.86	3.04	2.12	2.67	2.06	1.24	1.64	1
Lu	0.31	0.53	0.26	0.49	0.38	0.44	0.39	0.27	0.37	0.3	0.2	0.22	0.12
Hf	1.97	7.15	5.35	5.84	5.93	4.83	3.66	2.14	4.68	7.61	8.28	11.5	2.14
Ta	0.29	0.05	0.29	0.2	0.37	0.13	0.32	0.22	0.48	0.76	0.72	0.55	0.18
Pb	20.9	61.1	25.4	24.7	19.2	16.1	22.9	151	41.7	39	43	50.2	41
Th	7.5	7.64	12.8	13	12.7	16.7	7.89	3.64	12.7	20.2	24.2	26.6	4.42
U	1.13	1.17	2.09	1.96	2.02	1.77	1.37	0.68	2.48	2.34	1.81	0.83	0.8

## Приложение 4

Таблица 4. Результаты ЕМРА-анализы, выполненного в РЦ «Геомодель». Содержания указаны в массовых %.

Образец	Тип	Порода	Номер	Минерал	F	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	CoO	CuO	ZnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	VaO	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>	HfO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Σ		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	1	апатит	0			0.69	42.41				0	54.1								0.88												98.07		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	2	арфведсонит	2.13	11.8	11.75	42.06					0	1.5	11.4	0.96			15.3															96.93		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	3	арфведсонит	2.12	11.6	11.6	41.94					0	1.5	11.4	0.84			14.6															95.62		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	4	арфведсонит	0.14	1.15	18.05	33.8							13.7				12.6							5.27	9.44	3						97.18		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	5	плаггиолиз	7.47		22.65	57.89					0.5	4.18									2.44											95.13		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	6	арфведсонит	2.03	12.6	10.48	44.09					0	1.3	11.9	1.03				14.5					25.7									97.92		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	7	целестин					38					2.31									26.3											91.79		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	8	арфведсонит	2.12	12	10.96	42.53					1.5	11.5	1.08				14.7															96.27		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	9	титанит			1.87	30.33						28	37.2				0.98															96.32		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	10	алланит			21.32	36.68					18.5						11				2.16		1.16	3.21	1.97							96.01		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	11	алланит			23.51	37.24						20.3					10.6				2		0.33	1.8	1.29							97.09		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	12	титанит			2.17	31.19						28.9	37.6				0.86															100.71		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	13	апатит	0			0.56	44.6				0	56									0.87		4.1	8.81	0.51	2.51						101.98		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	14	алланит	0		1.27	17.71	33.25					14					11.3				0.82		0.86	2.4	1.38							95.7		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	15	апатит	0		0.35	21.56	36.16				0	53.7					11.3				2.17												95.7	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	16	алланит	0			0.34	44.87				0	55									0.81		0.55	2.26	1.41								101.06	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	17	апатит	0		0.48	21.05	36.04				19.4						11.9				1.96												95.02	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	18	алланит	0		0.83	17.61	51.68				1.9	6.2									1.37		3.23									82.84		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	19	плаггиолиз	6.81		26.71	50.28				0.7	0	0.6	11																			96.07		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	20	плаггиолиз	8.42		24.28	62.17						14									2.49												96.07	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	21	плаггиолиз	2.37	12.5	12.1	44.3					1.6	11.9	1.2				16.5															102.24		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	22	арфведсонит	2.14	12.4	11.26	43.62					0	1.5	12.1	0.96			15.4															102.42		
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	23	арфведсонит	2.09	11.4	11.75	42.83					0	1.5	12	1.02			15.6																98.08	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	24	диопсид	1.24	13.4	2.26	54.4						22.8					8.98																101.53	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	25	диопсид	0.94	12.6	1.95	52.09					0	23.1					7.84																97.81	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	26	арфведсонит	2.21	11.1	11.8	41.23					0	1.5	11.8	1.1			15.4				2.54												96.07	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	27	плаггиолиз	7.84		23.59	59.65					0.5	4.28																					98.38	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	28	апатит	0			0.44	42.44				0	53.1									0.8												96.74	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	29	алланит	0.25	1	15.62	31.39					0	12.4				0.54	9.66						4.35	8.68	0.76	2.8							87.4	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	30	арфведсонит	2.11	11.1	10.72	40.51					0	1.5	11.4	1.19			15.3																93.82	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	31	арфведсонит	0.36	23.44	37.55							21.6					10.2						1.01	0.52									94.7	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	32	плаггиолиз	8.35		24.5	63.25					0.5	4.4									2.32												103.36	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	33	арфведсонит	2.2	12	11.2	43.11					0	1.5	11.9	1.15			16.3																99.23	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	34	арфведсонит	2.09	11.4	11.75	42.83					0	1.5	12	1.02			15.6																98.08	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	35	арфведсонит	1.06	13.3	1.74	54.26					0	23.1					8.15																101.53	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	36	титанит			2.43	31.06						28.4	36.9				10.9																99.87	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	37	алланит			0.7	20.11	34.21					16.3									2.56				0.78	4.12	4.51						91.55	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	38	плаггиолиз	8.49		23.62	62.06					0.4	3.55																					100.69	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	39	алланит	0		0.62	20.57	35.61				0	18.4					12																93.28	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	40	арфведсонит	2.16	11.6	11.51	42.04					0	1.4	11.9	1.14			15.5																97.26	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	41	плаггиолиз	8.19		22.84	60.58					0.3	3.84									2.8												98.6	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	42	циркон			2.39	37.58						4.47																						102.1
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	43	апатит	0			0.86	43.1				0	54																					98.73	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	44	плаггиолиз	8.52		24.16	62.88					0.5	4.34																					100.39	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	45	целестин					41					2.61											27.3										99.93	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	46	апатит	0			0.31	44.7				0	56.2									0.89												102.07	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	47	арфведсонит	1.86	11	10.94	41.26					0	1.5	11.7	1.3			15.4																95.03	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	48	арфведсонит	1.65	13	8.21	47.98					0	1.1	15.6	0.87			13.8																102.14	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	49	титанит			2.43	32.08						28.7	37.2				1.23																101.64	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	50	плаггиолиз	7.46		23.94	58.7					0.5	4.15																					97.92	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	51	целестин			3.71	6.44				31		5.7					2.88						17.1	1.85									92.63	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	52	алланит	0.23	0.95	18.66	33.74					0	14.4					11.5				1.63		4.12	7.85	2.36								95.43	
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	53	алланит			22.5	35.7						19.7					10.4																	94.8
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	54	алланит			1.12	18.63	32.79					14.5																						93.7
38.8	мелано	Рх-Вт-Ар-порода	55	арфведсонит	2.02	12	11.79	41.91					0	1.5	11.																					

Таблица 4. Результаты ЕМРА-анализы, выполненного в РЦ «Геомодель». Содержания указаны в массовых %. (продолжение)

Образец/Тип	Порода	Номер	Минерал	F	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	CoO	NiO	ZnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</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>	HfO <sub>2</sub>	PbO	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Сумма			
38.8 мезано	Рх-Вт-Ар-порода	61	плагноклаз	6.06	26.12	49.18	1.4	0	0.5	11.9																								95.24		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	62	магнетит																91.4															91.44		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	63	манганильменит															19.4	28															99.88		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	64	биотит	15.1	15.18	38.45			9.7	4.34								13																95.71		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	65	циркон			33.96												1.97			64.02										1.8			101.75		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	66	апатит	0					44.43									15.4																99.89		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	67	биотит		14.8	13.95	37.39		9.3	4.01																								94.87		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	68	плагноклаз	8.77	24.02	63.31			0.4	3.93											0.33													100.41		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	69	апатит	0		0.74	42.43		0	54.3																								97.82		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	70	алланит		1.29	14.56	30.82		10.7									13.8							6.54	12.86	1.19	2.35						94.06		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	71	алланит		0.74	15.38	31.63		12.4									11.5						3.27	8.43	1.06	2.82							87.21		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	72	апатит	0		0.75	42.78		54.3												0													97.81		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	73	арфведсонит		2.26	11.3	11.69	42.26		1.9	11.6	1.68						0.48	16.6															99.77		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	74	биотит		0.28	15.2	14.35	38.14		9.7	4.34							0.43	14.7															97.22		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	75	КПШ	1.5	19.57	63.13			13																									99.75		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	76	алланит	0	0.77	18.68	34.59		15.1									0.27	13.2					1.85	7.19	1.09	4.26							97.06		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	77	магнетит															92.6																92.57		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	78		3.37	15.32	25.28												42.3																86.26		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	79	магнетит															91.7																91.7		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	80	алланит		0.91	14.78	31.36		13									12						3.88	9.47	1.18	3.27							89.73		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	81		0.28	5.4	15.33	27.75		0.3	0.47								0.55	37.8															87.86		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	83	биотит	0.1	15	14.13	38.24		9.7	4.3								0.38	15.4															97.19		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	95	плагноклаз	9.45		23	64.93		0.3	3.56																								101.24		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	96	КПШ	1.99	19.43	62.69			12												1.37													99.43		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	97	плагноклаз	9.37	22.13	63.29			3.06																										97.85	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	98	алланит		1.01	14.54	32.72		10.4	0.78								0.6	11.2					4.04	8.21	0.5	3.05							87.03		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	99	алланит		0.87	14.95	31.6		11.5										11.3					3.39	9.55	1.29	3.54							88.01		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	100	манганильменит							53.3								26.2	20.5															100.05		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	101		0.16	3.12	15.64	25.13		0.34									0.44	42.7															87.48		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	102	магнетит															91.8																91.8		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	103	биотит	15.1	13.7	37.75			9.7	4.14								15.4																	95.74	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	104	апатит	0		0.61	43.44		0	55.4											0.51														100	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	105	плагноклаз	9.44	22.98	64.82			3.62																										100.85	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	106	КПШ	1.88	19.33	63			13														2.21												96.95	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	107	апатит	0		0.84	41.92		54												0.18														96.93	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	108	магнетит																92.2																92.22	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	109	манганильменит							51.7																									100.2	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	110	диопсид	1.64	11.5	2.66	52.78			21.5								19.9	28.6																100.3	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	111	биотит	0	15	13.96	38.16		9.9	4.72								0.62	9.66																96.73	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	112	КПШ	1.66	19.32	62.81			13														2.15												98.49	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	113	плагноклаз	9.47	22.93	64.29			0.3	3.53																									100.54	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	114	КПШ	1.85	19.49	63.32			13												1.25														101.35	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	115	диопсид	1.15	12.5	1.42	53.14			22.7								0.56	8.93																100.44	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	116	диопсид	1.32	12.1	2.22	52.67			21.9								0.48	9.86																100.5	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	118	диопсид	1.45	11.5	2.64	53.17			22.2								0.56	10.3																101.98	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	119	биотит	0	15.1	14.12	38.24		9.7	4.33								0.45	15																96.89	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фср-порода	120	апатит	0						53.5																										96.12

Таблица 4. Результаты атомно-спектральных анализов, выполненных в РЦ «Геомодель». Содержание указаны в массовых %. (продолжение)

Образец/Тип	Порода	Номер	Минерал	F	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	CoO	CuO	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	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>	HfO <sub>2</sub>	PbO	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Σ		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	121	арфведсонит	1.96	10.5	10.83	40.17	1.7	11	1.6							0.39	16																94.14		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	122	биотит	0.14	15.5	13.97	38.4	9.2									0.31	14.9																96.31		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	123	алланит	0.91	15.63	33.55											11.9	11.4																88.21		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	124	эпитим	0			0.86	43.27																										99.57		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	125	КПШ	1.42	19.07	62.77						13										1.44	2.27											100.01		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	126	плагноклаз	9.74	23.17	65.16						3.29																						101.37		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	127	магнетит																															91.39		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	128	биотит	0.19	13.9	14.39	37.95					9.6					0.45	13.9																95.45		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	129	алланит	0.91	15.67	32.34						11.9					13.2																	87.86		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	130	арфведсонит	2.2	11	11.74	42.74					1.8					0.37	16.8																99.81		
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	131	магнетит																																93.69	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	132	эпитим	0			0.53	44.24									0.29																		100.64	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	133	эпитим	0			0.32	43.97									0.55																		100.08	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	134	алланит				15.35	29.66				0																							83.51	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	135	алланит	0.83	15.28	31.87						0					11.9																		87.41	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	136	биотит	15.4	13.78	38.29						9.4					0.36	15.4																	96.66	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	137	биотит	0	15.3	13.28	36.85					8.6					0.37	14.6																	92.74	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	138	КПШ	1.8	19.56	62.39						12																							100.03	
19.1 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	139	плагноклаз	9.41	23.32	64.57											1.59																		102.46	
136.5 лейко	Ог-порфир	140	циркон	1.09			32.23																												97.09	
136.5 лейко	Ог-порфир	141	манганильменит														6.95	37.1																	98.78	
136.5 лейко	Ог-порфир	142	титанит	0.79	29.86																															97.47
136.5 лейко	Ог-порфир	143	титанит	1.37	30.32																															98.3
136.5 лейко	Ог-порфир	144	титанит	0.8	29.75																															97.38
136.5 лейко	Ог-порфир	145	титанит	0.89	29.34																															96.89
136.5 лейко	Ог-порфир	146	титанит	1.17	29.91																															97.64
136.5 лейко	Ог-порфир	147	ильменит	0.69	29.48																															95.7
136.5 лейко	Ог-порфир	148	титанит	0.69	29.48																															95.49
136.5 лейко	Ог-порфир	149	циркон	32.25																																95.27
136.5 лейко	Ог-порфир	150	диопсид	0.89	12.3	1.08	53.78										0.57	10.2																	101.17	
136.5 лейко	Ог-порфир	151	КПШ	1.95	18.51	65.56						14																								99.64
136.5 лейко	Ог-порфир	152	плагноклаз	9.98	21.74	65.02																														99.41
136.5 лейко	Ог-порфир	153	магнетит	5.54																																80.95
136.5 лейко	Ог-порфир	154	магнетит																																	92.14
136.5 лейко	Ог-порфир	155	диопсид	0.93	12.4	1.24	50.94										0.67	10.2																	97.02	
136.5 лейко	Ог-порфир	156	диопсид	0.48	17.6	1.04	55.73																													98.02
136.5 лейко	Ог-порфир	157	диопсид	0.74	16.4	2.56	52.68										0.51	11.4																	96.13	
136.5 лейко	Ог-порфир	158	КПШ	1.12	17.23	65.16						14																								97.42
136.5 лейко	Ог-порфир	159	титанит	1.22	29.68																															96.15
136.5 лейко	Ог-порфир	160	барит	33																																91.54
136.5 лейко	Ог-порфир	161	диопсид	1	12.6	0.39	53.36										0.62	9.15																	99.02	
136.5 лейко	Ог-порфир	162	циркон	32.63																																98.4
136.5 лейко	Ог-порфир	163	горит	24.27																																90.73
136.5 лейко	Ог-порфир	164	циркон	29.01																																34.3
136.5 лейко	Ог-порфир	165	магнетит																																	86.61
136.5 лейко	Ог-порфир	166	КПШ	1.49	18.5	65.12						13																								89.52
136.5 лейко	Ог-порфир	167	диопсид	0.72	13.2	0.41	53.93										0.52	8.87																	98.3	
136.5 лейко	Ог-порфир	168	диопсид	0.95	12	0.93	52.71										0.51	9.89																	100.47	
136.5 лейко	Ог-порфир	169	КПШ	0.96	18.08	63.68						14																								98.88
136.5 лейко	Ог-порфир	170	магнетит	4.88																																96.95
136.5 лейко	Ог-порфир	171	пирит	132																																79.83
136.5 лейко	Ог-порфир	172	диопсид	17.5	1.34	54.89											62.7																		196.21	
136.5 лейко	Ог-порфир	173	плагноклаз	9.38	22.29	64.46											9.71																		95.56	
136.5 лейко	Ог-порфир	174	магнетит																																	99.32
136.5 лейко	Ог-порфир	175	барит	34																																92.21
136.5 лейко	Ог-порфир	176	эпитим	0				0.82	42.84			0																								97.75
136.5 лейко	Ог-порфир	177	титанит	1.91	30.1																															97.94
136.5 лейко	Ог-порфир	178	биотит	0.12	14.9	13.41	37.83					9.4					0.39	14.9																	95.13	
136.5 лейко	Ог-порфир	179	диопсид	1.04	12.3	1.85	52.46																													98.78
136.5 лейко	Ог-порфир	180	биотит	0.14	15.1	13.24	37.7																													



Таблица 4. Результаты ЭМРА-анализы, выполненного в РЦ «Геомодель». Содержания указаны в массовых %. (продолжение)

Образец/Тип	Порода	Номер	Минерал	F	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	CoO	CuO	ZnO	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	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>	HfO <sub>2</sub>	PbO	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Сумма			
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	241	алланит		0.75	14.15	31.65					9.97	0.75	11.1				11.1							3.78	9.78	1.12	4.08							87.13			
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	242	алланит		1.2	15.14	31.94					11.5	0.56	14.3				14.3							7.76	11.33		2.21								95.92		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	243	магнетит															9.16																		91.63		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	244	алланит	0.19	2.06	14.45	29.69			0		7.98	0.44	0.41	0.34	11	0.41	13.6						4.07	8.42		3.4									84.72		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	245	алланит									10.4	0.64	0.34	11	14.35	32.72	0.34	11					4.44	9.62		0.76	3.3								87.45		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	246	алланит		0.92	15.34	32.08					12.6	0.6	0.43	14.1		0.43	14.1						5.3	9.68		3.38									94.38		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	247	магнетит											89.2			89.2																			89.24		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	248			1.43	30.68	46.95	11						3.83			3.83																			93.55		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	249	плагиоклаз	9.59	1.94	19.2	61.54				0.4	0.27	0.78	5.49			5.49																			98.44		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	250	плагиоклаз	11.31			21.03	68.59																													101.71	
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	251	магнетит											91.9			91.9																			91.85		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	252	кальцит		0.77							48.9		0.68	0.78		0.68	0.78																		93.61		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	253	алланит		1.46	15.67	31.81					11.6		12.6			12.6					60.87			7.55	11.38		1.61					1.17			98.01		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	254	цирюн				1.22	33.03				0.79		0.93			0.93																			83.86		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	255	алланит		0.64	14.18	31.85					9.56	0.64	0.53	10.7		0.53	10.7						3.16	7.77		4.87									87.68		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	256	алланит									11.1	0.54	0.48	12.1		0.48	12.1						3.34	8.01		4.72									89.88		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	257	алланит								0	11.8	0.5	0.54	13.5		0.54	13.5						3.22	8.3		5.2									85.18		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	258	алланит		0.67	14.82	32.28					10.3	0.52	0.35	11.3		0.35	11.3						2.98	7.87		4.12									95.76		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	259	алланит									11		13.9			13.9							3.53	10.42		1.2	5.89								93.56		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	260	алланит		13.9	15.29	38.72				9.4	2.71		15			15																			95.24		
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	261	биотит		13.9	15.36	39.31				9.3	2.95		15			15																				95.86	
128.5 лейко	Сарб-Фсп-порода	262	биотит				1.03							91.5			91.5																				92.51	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	263	магнетит																																		91.31	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	264	магнетит																																			94.67
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	265	биотит		14.6	14.96	37.06				9.4	2.66		15.9			15.9																				95.49	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	266	биотит		14.8	14.93	37.44				9.2	2.87		16.3			16.3																				98.25	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	267	титанит				1.32	27.37				27.3	36.5	1.95			1.95																				97.09	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	268	апатит	0					43.54			54.7																									84.34	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	269	апатит	0					42.95			54.1																									84.04	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	270	апатит	0					43.22			54.1																									84.7	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	271			16.6	8.71	42.21				1	2.12		14			14																				96.41	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	272			16.3	8.38	42.01				2	1.34		14			14																				97.55	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	273			14.9	9.2	44.62				0.9	1.64		13.5			13.5																			95.69		
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	274	арфведсонит	1.82	9.85	12.46	40.24				1.9	11.5	1.64	17			17																			98		
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	275	алланит		0.41	21.09	34.82					17.7		11.7			11.7																				96.2	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	276	арфведсонит	1.86	9.99	12.11	41.01				1.9	11.8	1.53	0.37			0.37																				94.93	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	277	арфведсонит	1.8	9.61	12.52	39.27				2	11.6	1.32	0.25			0.25																				94.48	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	278	арфведсонит	1.85	10.3	12.05	41.03				2.3	11.1	1.75	0.31			0.31																				95.4	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	279	арфведсонит	1.84	10.2	11.89	40.98				1.9	11.2	1.45	0.31			0.31																				99.96	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	280	арфведсонит	1.83	9.65	12.41	39.1				1.8	11.4	1.51	0.35			0.35																				95.67	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	281	арфведсонит	1.66	9.67	12.11	39.15				2	11.4	1.58	0.21			0.21																				94.72	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	282	алланит				22.81	37.11				19.4		11.6			11.6																				99.96	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	283	арфведсонит	1.92	10.1	12.75	42.1				2	11.8	1.52	0.27			0.27																				95.67	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	284	биотит		14.5	15.08	37.87				9.4	3.4		15.5			15.5																				94.47	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	285	алланит		1.06	18.75	33.76					14.6		13.3			13.3																				54.25	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	286	кальцит		0.89		1.15					50.6		0.62	1.01		0.62	1.01																			53.83	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	287	кальцит		0.66		1.51					50.5		0.41	0.72		0.41	0.72																			88.42	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	288	биотит		6.59	17.77	41.45				6	6	1.58	9.02			9.02																				80.41	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	289			13.4	9.6	26.56					14.6		16.3			16.3																				95.77	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	290	биотит	0.11	14.7	15	37.48				9.2	2.76		0.34			0.34																				99.63	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	291	биотит		14.2	14.72	37.23				9.2	3.02		16.4			16.4																				95.16	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	292	апатит	0					44.23			55.4																									100.3	
129.6 мелано	Рх-(Амп)-Вт-Фсп порода	293	алланит		1.16	16.23	32.28					11.4		13.5			13.5					</																



Таблица 4. Результаты ЭМРА-анализы, выполненного в РЦ «Геомодель». Содержания указаны в массовых %. (продолжение)

Образец	Тип	Порода	Номер	Минерал	F	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	CoO	CuO	ZnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	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>	HfO <sub>2</sub>	PbO	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Сумма		
41.9	лейко	Ог-порфир	361	апатит	0				0.63	42.35		0	53.5									0.58		1.76											97.02		
41.9	лейко	Ог-порфир	362	КПШ		0.94		18.62	63.58			14																								99.13	
41.9	лейко	Ог-порфир	363	КПШ		0.7		18.58	64.33																0.8											99.37	
41.9	лейко	Ог-порфир	364	КПШ		0.68		18.3	61.5			14												1.64												96.38	
41.9	лейко	Ог-порфир	365	КПШ		0.45		18.01	62.61			15												1.09												97	
41.9	лейко	Ог-порфир	366	плагиоклаз		11.22		19.25	66.88		0.5																									97.86	
41.9	лейко	Ог-порфир	367	плагиоклаз		10.69		20.24	64.79				0.8																							96.52	
41.9	лейко	Ог-порфир	368	биотит		13.4		13.37	37.91		0	9.1		3.28						15.7															92.7		
41.9	лейко	Ог-порфир	369	биотит		13.2		14.1	37.99		0	9.3		3.64					15.6																	93.92	
41.9	лейко	Ог-порфир	370	биотит		13.1		13.71	37.31		0	9.3		3.3					16.1																	92.78	
41.9	лейко	Ог-порфир	371	биотит		12.3		13.13	36.87		0	8.3		3.81					17.4																	91.78	
41.9	лейко	Ог-порфир	372	КПШ		0.68		18.78	63.04			15												1.53												98.64	
41.9	лейко	Ог-порфир	373	кварц					101.2																											101.19	
41.9	лейко	Ог-порфир	374	плагиоклаз		11		19.43	66.65																											97.07	
41.9	лейко	Ог-порфир	375	кварц					101.1																												101.13
41.9	лейко	Ог-порфир	376	плагиоклаз		10.15		21.42	65.58			2										1.34														100.48	
41.9	лейко	Ог-порфир	377	КПШ		0.61		18.91	63.2		15														1.61												98.99
41.9	лейко	Ог-порфир	378	монацит					29.05																												90.83
41.9	лейко	Ог-порфир	379	алланит		1.22		10.41	30.95					0.35																						85.54	
41.9	лейко	Ог-порфир	380	КПШ		0.65		18.64	63.44		15			8.33		1.39		0.82	14.5					1.77												100.17	
41.9	лейко	Ог-порфир	381	кварц					102.3																												102.26
41.9	лейко	Ог-порфир	382	плагиоклаз		9.95		21.42	64.43					2.06																						97.87	
41.9	лейко	Ог-порфир	383	КПШ		0.53		18.57	63.13		15			0.66										1.03												98.26	
41.9	лейко	Ог-порфир	384	плагиоклаз		10.57		20.18	66.71																											98.11	
41.9	лейко	Ог-порфир	385	КПШ		0.73		17.89	64.11		15																									97.45	
41.9	лейко	Ог-порфир	386			3.27		4.15	20.86	8.13				4.42		1.22	1.5		5.36																	86.31	
41.9	лейко	Ог-порфир	387	магнетит		3.17		1.92	5.63					79.4																						90.13	
41.9	лейко	Ог-порфир	388	КПШ		0.62		18.87	64.45		15			11.3		0.89																				99	
41.9	лейко	Ог-порфир	389	алланит				14.16	31.54		0																									86.66	
41.9	лейко	Ог-порфир	390	биотит				19.67	47.38		6.1			13.2																						93.38	
41.9	лейко	Ог-порфир	391	монацит					7.83	16.94				5.98		0.94																				80.22	
41.9	лейко	Ог-порфир	392	магнетит										0.72																						90.27	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	459	КПШ		2.34		19.85	64.45		12																									101.79	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	460	биотит		15.8		13.49	39		0	9.5		3.97				0.22	14.7																	97.25	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	461	титанит				1.52	31.14					27.7		38																				100.41	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	462	апатит	0				0.44	44.55				55.8																						101.7	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	463	плагиоклаз		9.39		23.49	64.72				0.2	3.52																						101.34	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	464	пирит							85																									171.6	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	465	магнетит																																90.49	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	466	апатит	0					42.87				53.6																						96.45	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	467	алланит		0.74		12.25	30.23					9.82		0.7																				82.34	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	468	биотит		15.2		13.21	37.81		0	9.6		3.93																						93.75	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	469	КПШ		1.48		18.3	62.66		13																									96.78	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	470	биотит		14.6		12.78	36.4		0	9.2		2.57		3.67																				90.42	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	471	плагиоклаз		9.25		20.92	60.77					0.25																						94.44	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	472	монацит					1.2	29.94																										99.5	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	473	пирит							137																									199.26	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	474	КПШ		2.78		18.08	68.63		11																									102.32	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	475	плагиоклаз		10.08		22.01	65.38					2.58																						100.05	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	476	диопсид		1.26		12.2	0.77	53.68				21.7				0.45	10.6																	100.61	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	477	магнетит					0.49					0.28																						89.46	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	478	кварц					102.2																											102.2	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	479	магнетит																																90.03	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	480	магнетит																																87.5	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	481	диопсид		0.58		12.4	51.95					22.7				0.62	9.12																	97.33	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	482	титанит				0.52	29.16					25.2		35.7																				96.31	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп-порода	483	магнетит																																90.04	
136.5-1	МЭЗО	Рх-Бт-Есп																																			



Таблица 4. Результаты ЕМРА-анализы, выполненного в РЦ «Геомодель». Содержания указаны в массовых %. (продолжение)

Образец/Тип	Порода	Номер Минерал	F	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	CoO	CuO	ZnO	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BaO	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>	HfO <sub>2</sub>	PbO	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Сумма		
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	547 плагиоклаз		8.91	20.38	59.61					0.2	1.8									1.98													92.88		
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	548 пирит						132										60.8																	193.04	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	549 халькопирит						83										41.6	44.1																168.83	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	550 пирит						139										64.6																	203.22	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	551 целестин						5.35	35		9.03									36				7.76											93.61	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	552 алланит			1.18	15.1	31.35				10.7							8.9			0.93			4.41	10.58	1.32	2.77								87.2	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	553 диопсид			18.3	1.53	55.01				12.5							8.59																	95.93	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	554 апатит	0					42.47			52.9										1.52			56.3											90.24	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	555 барит																		0.96			4.21	9.1				2.58							91.35	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	556 алланит			1.21	17.26	32.01				13.1							10.9																	192.52	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	557 пирит							131								54	7.52																	96.96	
9.8 мелано	Рх-Вт-Ар-порода	558		9.95	1.28	18.36	62.03				0.3	2.68					0.35	0.47																	54.01	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	559 кальцит			0.42		0.95				51.8																								101.46	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	560 плагиоклаз		11.41			20.5	68.93			0.62																								95.22	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	561 алланит			1.65	15.8	31.59				11.6	0.55					11.8						7.36	11.66	0.97	2.25									96.44	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	562 апатит	0					42.72			53.7																									51.69
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	563 кальцит			0.62						49.2						0.6	0.74			0.56														92.43	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	564 алланит			1.31	15.91	31.48				12.1	0.54					12.4							6.44	10.35		1.91								94.55	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	565 алланит			1.61	15.58	31.5				11.7	0.5					12						7	11.26	0.93	2.46									89.82	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	566 магнетит												0.27			89.6																		88.68	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	567 барит							32		0.26							0.75					55.8												95.2	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	568 барит							35									1.18					59.5												50.66	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	569 кальцит									50.3						0.35																		92.7	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	570 биотит			13.1	14.03	36.04				9.1	3.72	2.65				14				0.76														90.54	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	571 алланит			1.21	15.51	30.47				11.9	0.42					11.8																		85.53	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	572 магнетит															85.5																		94.14	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	573 плагиоклаз		10.35			19.26	63.76			0.78						0.48	0.6																	49.5	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	574 кальцит									48.4																								91.41	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	575 алланит			0.73	16.32	32.59				13.1	0.33					11.4				1.04			2.45	7.87	1.44	4.12								93.5	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	576 магнетит									53																								95.1	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	577 апатит	0					42.07			0.36																								96.84	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	578 плагиоклаз		11.11			19.18	66.19																											88.7	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	579 магнетит						0.85																											91.87	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	580 магнетит																																	50.76	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	581 кальцит			0.72		18.88	61.51			48.5						0.65	0.93																	97.58	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	582 КПШ							14														2.33												99.46	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	583 КПШ			0.72		19.62	60.33			13												5.5												98.7	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	584 рутил					101.4					98.3					0.45																		101.39	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	585 кварц																																	99.87	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	586 апатит	0					44.58																											101.28	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	587 плагиоклаз		11.31			20.52	68.01			55.3										0.73														89.57	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	588 кальцит									0.72						0.49	0.46																	101.93	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	589 магнетит			1.3						0.74																								97.63	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	590 рутил										102																							90.27	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	591 апатит	0					43.21			54.1																								51.32	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	592 кальцит			0.87						48.4						0.73	0.84																	90.77	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	593 магнетит																																	95.03	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	594 алланит			1.12	15.45	31.96				12	0.39					13.2						5.25	11.08	1.1	2.69									64.58	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	595			5.71		14.86				39.8																								92.67	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	596 алланит					15.69	30.9			10.8												2.94	10.21	1.54	6.79									94.61	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	597 алланит			0.93	17.21	32.65				13.6						12.3				1.03			3.77	9.27	0.98	2.9								65.1	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	598 анкилит									5.14																								64.62	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	599 анкилит									2.6																								85.77	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	600			18.7	14.47	29.94				0.32						22.4																		81.69	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	601			4.65		9.06	33.95			0.1	2.82					30.3				0.79														52.83	
128.5-1 лейко	Сиб-Фсп-порода	602 кальцит			0.72						50.5						0.71	0.87																		97
61 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	603 биотит			14.7	14.06	37.87		9.4		4.12						0.25	15.4				1.24													98.61	
61 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	604 апатит	0					0.69	43.29		54.6																								101.57	
61 мезо	Рх-Вт-Фсп-порода	605 диопсид			0.86	13.2		2.01	53.41</																											



Таблица 4. Результаты ЕМРА-анализы, выполненного в РЦ «Геомодель». Содержания указаны в массовых %. (окончание)

Образец Тип	Порода	Номер Минерал	F	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	FeO	CoO	SiO	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ВсО	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>	НfО <sub>2</sub>	РbО	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Сумма		
55 лейко	Ог-порфир	667 диопсид		0.99	12.5	3.12	52.4				22.9					0.36	8.93																		101.13
55 лейко	Ог-порфир	668 алланит			0.72	17.18	32.11				13.7						11.5			1.07			2.49	7.74	1.06	3.18								90.7	
55 лейко	Ог-порфир	669 биотит			13.6	13.49	36.88		9				4.8				15.9																	93.65	
55 лейко	Ог-порфир	670 маннетит					0.95										87.8																	88.7	
55 лейко	Ог-порфир	671 маннетит					5.19	1.2	0.87								70.9																	78.19	

## Приложение 5

Таблица 5. Результаты EMРА-анализы, выполненного в ИГГД РАН. Содержания указаны в массовых %.

Образец	Тип	Порода	Область	Минерал	Спектр	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	BaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl	F	SO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	1-2	амфибол3	1	40.02	1.53	12.46	17.13	0.2	8.92	12.17	1.69	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96.22	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	диопсид	1	52.36	0.2	2.14	8.87	0.49	11.67	22.94	1.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	алатит	1	0	0	0	0	0	0	53.92	0	0	0	43.62	0.06	2.5	0	0	0.33	0	0	0	100.43	
61	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	алатит	1	51.74	0.18	3.07	7.01	0.36	12.62	24.54	0.48	0	0	42.32	0	2.88	0	0	0	0	0	0	100	
9.8	мелано	Вт-Ар-порк	1-1	диопсид	1	25.95	0	18.95	19.03	0	17.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
128.5	лейко	В-Есп-порк	1-1	хлорит	2	45.44	2.94	18.34	4.1	0.06	4.02	7.4	0.22	6.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89.21	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	1-2	-	2	50.96	0.63	3.57	9.44	0.47	11.09	22.54	1.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	диопсид	2	32.86	0.68	16.24	11.69	0	0.74	13.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.08	9.46	3.27	92.27
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	алатит	2	0	0	0	0	0	0	53.35	0	0	0	43.19	0	2.91	0	0	0.55	0	0	0	100	
9.8	мелано	Вт-Ар-порк	1-1	диопсид	2	50.56	0.56	4.96	8.14	0.3	12.39	22.21	0.88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
128.5	лейко	В-Есп-порк	1	хлорит	3	26.21	0	19.15	18.99	0	18.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82.65	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	1-3	амфибол3	3	39.25	1.62	12.14	18.12	0.32	9.07	12.94	1.86	2.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97.42	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	диопсид	3	51	0.42	3.47	9.45	0.48	11.14	22.44	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
61	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	биотит	3	38.13	3.76	13.51	16.35	0.29	13.31	0	0.03	9.65	1.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96.07	
128.5	лейко	В-Есп-порк	1	кальцит	4	0	0	0	0.72	0.76	0.73	52.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54.42	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	1-3	биотит	4	36.91	3.47	13.57	16.49	0.33	13.25	0	0.22	10.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94.47	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	амфибол	4	42.81	1.52	10.97	16.21	0.31	9.92	12.57	2.06	1.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97.91	
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	биотит	4	37.85	3.78	13.07	14.98	0.17	13.63	0	0.34	10.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94.05	
61	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	биотит	4	37.97	3.71	13.2	15.57	0.27	14.46	0	0	9.66	1.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96.52	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	1-3	биотит	5	36.88	3.22	13.79	16.86	0.21	13.48	0	0.2	9.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94.53	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	биотит	5	39.4	4.09	14.16	15.53	0.23	14.95	0	0.19	10.75	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	99.4	
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	КПШ	5	63.23	0	19.71	0	0	0	1.25	13.52	2.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.55	
61	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	биотит	5	36.62	3.75	12.68	15.33	0.05	13.16	0	0	9.29	0.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91.86	
9.8	мелано	Вт-Ар-порк	1-1	биотит	5	39.42	3.6	14.81	14.25	0.09	15.59	0	0.23	10.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98.31	
128.5	лейко	В-Есп-порк	2	кальцит	6	0	0	0	0.71	0.55	0.44	55.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56.97	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	1-3	плагиоклаз	6	59.87	0	25.99	0	0	0	6.74	7.34	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	диопсид	6	51.15	0.5	3.01	9.8	0.37	10.67	23.07	1.41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.98	
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	плагиоклаз	6	62.68	0	22.4	0	0	3.82	9.16	0.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98.21	
9.8	мелано	Вт-Ар-порк	1-4	диопсид	6	48.22	0.68	8.41	10.32	0.29	11.66	18.96	1.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
128.5	лейко	В-Есп-порк	2	доломит	7	0	0	0	8.42	0.88	13.06	30.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52.41	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	1-3	алланит	7	35.53	0	20.9	11.38	0	0	0.42	19.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	3.27	1.74	93.58
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	КПШ	7	61.94	0	19.42	0	0	0	1.12	13.88	3.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01	
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	КПШ	7	62.54	0	19.53	0	0	0	1.47	13.75	2.72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99	
61	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	диопсид	7	52.66	0.08	1.65	9.05	0.59	11.35	23.96	0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
9.8	мелано	Вт-Ар-порк	1-5	диопсид	7	50.46	0.5	4.57	8.07	0.27	11.58	23.64	0.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	1-4	алатит	8	0	0	0	0	0	0	53.54	0	0	0	43.33	0	2.41	0	0	0.72	0	0	0	100	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	плагиоклаз	8	63.74	0	22.91	0.31	0	0.01	3.56	9.18	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	алатит	8	0.97	0	0	0	0	0	54.19	0	0	0	42.36	0	2.47	0	0	0	0	0	0	99.99	
61	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	магнетит	8	0	0	0	92.81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.42	0	0	0	0	93.23	
9.8	мелано	Вт-Ар-порк	1-6	диопсид	8	50.32	0.57	5.27	7.81	0.22	11.53	23.39	0.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	2	КПШ	9	61.38	0	20.19	0	0	0	2.63	11.09	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98.19	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	алатит	9	0	0	0	0	0	0	53.98	0	0	0	42.85	0.16	2.45	0	0	0.57	0	0	0	100.01	
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	магнетит	9	0	0	0	91.47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91.47	
61	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	плагиоклаз	9	61.66	0	24.89	0	0	0.07	5.15	7.88	0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
9.8	мелано	Вт-Ар-порк	1-7	диопсид	9	48.6	0.71	5.83	7.66	0.2	11.39	24.94	0.68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.01	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	2	амфибол3	10	40.09	1.45	11.83	17.74	0.31	9.14	12.41	1.63	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96.6	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-1	магнетит	10	0	0	0	94.87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.32	0	0	0	0	95.19	
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	биотит	10	36.95	3.77	12.83	14.82	0.39	14.13	0	0.17	10.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93.33	
61	мезо	Зт-Есп-пор	2-1	амфибол	10	42.41	1.81	10.73	15.39	0.5	10.47	12.01	1.92	1.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0.86	4.4	97.7	
9.8	мелано	Вт-Ар-порк	1-7	алланит	10	37.8	0	23.23	10.45	0	0.75	20.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	2	алатит	11	0	0	0	0	0	0	53.51	0	0	0	43.02	0.05	2.91	0	0	0.5	0	0	0	99.99	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	диопсид	11	50.65	0.49	3.69	9.18	0.73	11.15	22.77	1.34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
19.1	мезо	Зт-Есп-пор	2	биотит	11	36.06	3.58	12.58	15.59	0.31	13.53	0	0.1	10.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91.91	
61	мезо	Зт-Есп-пор	2-1	диопсид	11	52.19	0.3	2.02	8.75	0.39	12.05	22.59	1.13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.42	
9.8	мелано	Вт-Ар-порк	1-8	диопсид	11	51.41	0.32	3.49	7.77	0.13	11.95	24.05	0.87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.99	
129.6	мелано	р-Вт-Есп п	2	алланит	12	33.59	0	20.1	12.23	0	0.27	17.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.45	4.85	1.5	92.78	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	диопсид	12	52.95	0.05	1.02	8.2	0.41	12.69	24.23	0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	
61	мезо	Зт-Есп-пор	2-1	?	12	51.93	0.41	4.69	11.83	0.4	15.21	13.05	0.99	0.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98.9	
136.5-1	мезо	Зт-Есп-пор	1-2	диопсид	13	53.51	0	0.84	7.91																	

