

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(СПбГУ)

Институт наук о Земле

Кафедра минералогии

Гутыряк Софья Евгеньевна

**Минералогия иризирующих пород:
ларвикитов и лабрадоритов**

Выпускная квалификационная работа
по направлению 05.03.01 «Геология»

Научный руководитель:

доцент кафедры минералогии, к. г-м. н.

Золотарев А.А

Рецензент:

к. г-м. н.

Савченко А.И.

Санкт-Петербург

2022

Оглавление

Введение	3
1. Геология месторождений иризирующих горных пород.....	5
1.1. Месторождения ларвикита	5
1.2. Месторождения лабрадорита	7
2. Иризирующие породы в архитектуре.....	10
3. Объекты исследования.....	14
4. Методы исследования	16
4.1. Петрографическое изучение.....	16
4.2. Энергодисперсионный рентгеноспектральный анализ.....	16
4.3. Рентгенофазовое изучение	17
5. Исследование образцов.....	18
5.1. Петрографо-минералогическое описание образцов.....	18
5.1.1. Ларвикиты	18
5.1.2. Лабрадориты	33
5.2. Рентгенофазовый анализ	49
6. Результаты исследования	51
6.1. Ларвикиты.....	51
6.2. Лабрадориты	52
Заключение.....	56
Список использованной литературы	57

Введение

Лабрадориты и ларвикиты – разновидности магматических горных пород, для которых характерен необычный оптический эффект – иризация. Она представляет собой внутреннее свечение кристаллов некоторых минералов, в число которых входят главные породообразующие минералы лабрадоритов и ларвикитов – полевые шпаты. Этот эффект вызван интерференцией световых волн от тонких слоев, немного разнящихся по химическому составу, из которых состоит каждый кристалл полевого шпата. Именно иризация делает эти породы привлекательными для архитекторов и дизайнеров, и поскольку они достаточно широко распространены в природе и легко поддаются обработке, иризирующие породы часто используются в мелких поделках и в архитектурных сооружениях.

В Санкт-Петербурге эти горные породы довольно широко используются в архитектуре. Ларвикиты можно встретить в облицовке современных зданий, например, пара жилых домов на Тверской улице, а также деталей внутреннего интерьера сооружений более ранней постройки, например, в особняке Кельха. Лабрадориты распространены в большей степени – их часто можно встретить в вестибюлях станций метрополитена, также их любят использовать в качестве столешниц и подоконников в современных (кафе и банках) интерьерах и интерьерах прошлых веков. Ларвикиты и лабрадориты не всегда можно различить между собой визуально. А для реставрационных работ следует использовать породу, которую изначально применял архитектор, чтобы не нарушать его замысел.

В зависимости от состава полевого шпата и второстепенных минералов выделяются разные торговые типы лабрадоритов и ларвикитов. Но обычно торговому названию соответствует только общие внешние характеристики породы, такие как цвет иризации или самой породы. Это может создать определенные проблемы в реставрационных работах, поскольку торговые названия могут изменяться или пересекаться между собой.

Целью данной работы является диагностика декоративных горных пород, используемых в каменном декоре Санкт-Петербурга, отличительной особенностью которых является иризация породообразующих минералов – полевых шпатов.

Задачи работы:

1. Отбор образцов горных пород, используемых под различными торговыми названиями в архитектуре Санкт-Петербурга
2. Фотодокументация иризирующих пород в архитектуре Санкт-Петербурга
3. Изучение литературы по иризирующим горным породам
4. Макроскопическое описание образцов
5. Определение фазового состава пород
6. Определение химического состава минералов
7. Установление типа горной породы и его соотнесение с ее торговым названием.

Объектами исследования являются четыре образца ларвикитов и семь образцов лабрадоритов.

Список условных сокращений:

Ab - альбит

Amf – амфибол

Ap – апатит

Bad - бадделеит

Bt – биотит

Cal – кальцит

Chl – хлорит

Di – диопсид

Fa – фаялит

Fer – ферросилит

Fps/Fsp – калиево-натровый полевой шпат

Ilm – ильменит

Mgt – магнетит

Ol – оливин

Pl – плагиоклаз

Py - пирит

Qtz – кварц

Zrt – цирконолит

1. Геология месторождений иризирующих горных пород

1.1. Месторождения ларвикита

Ларвикит и связанные с ним плутонические и вулканические породы составляют значительную часть коренных пород в пределах каменноугольно-пермского рифта Осло, преимущественно в южной его части (Рис 1). Площадь рифта составляет около 1000 км².

На северо-западе ларвикитовый комплекс граничит с нордмаркит-экеритовой серией; на северо-востоке - с обширными потоками лавы, в основном порфиритами (латиты). На западе комплекс пререзает серию кембрийско-силурийских отложений и пермских лав, залегающих на докембрийском фундаменте (гнейсы).

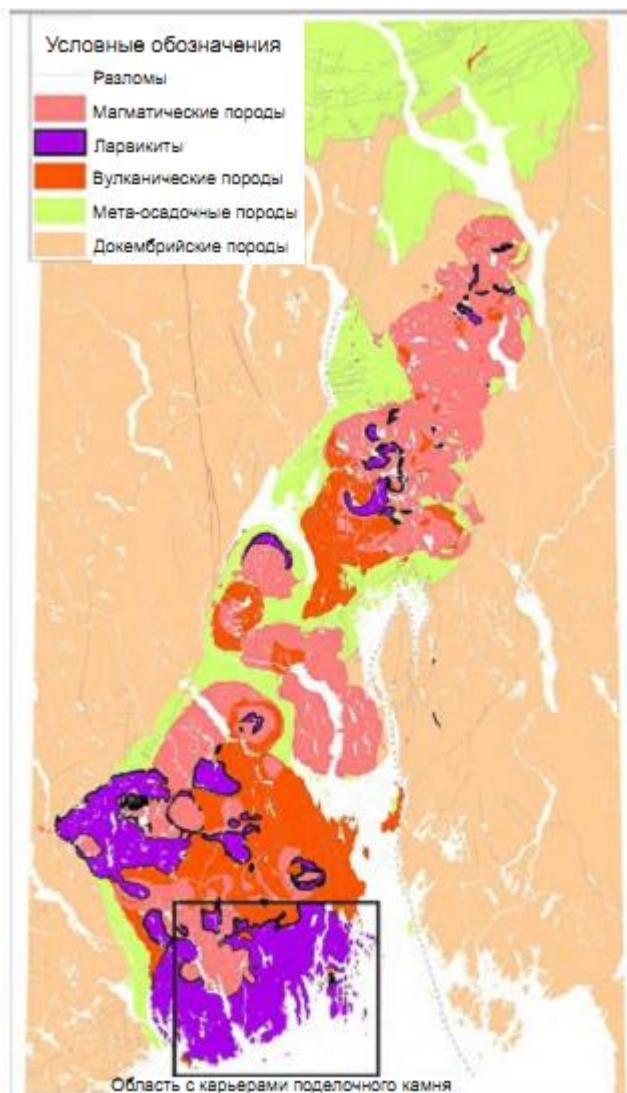


Рис 1 Геологическая карта региона Осло, Норвегия (Heldal et al., 2015).

Массив ларвикитов образует кольцеподобный комплекс, состоящий из многочисленных секторов. Эти сектора располагаются концентрически, а по соотношению друг к другу несогласно. Положение несогласий позволяет предположить, что центр магматической активности постепенно перемещался на запад. С уменьшением возраста этих зон изменяется и минеральный состав: от кислого (в ассоциации с кварцем) к щелочному (с нефелином). Формирование таких структур может рассматриваться либо

как результат сложного погружения структуры, либо как свидетельство смещения магматического очага. (Petersen, 1978)

В 1980 году такая модель была подтверждена геохимическими методами. Позже был определен возраст интрузий с помощью U-Pb датирования, дав диапазон возрастов от $297 \pm 1,2$ млн лет (восточные интрузии ларвикита) до $293,2 \pm 1,3$ млн лет (западные интрузии). Нефелиновый сиенит, самый молодой интрузив в последовательности, датирован 292 ± 0.8 млн лет. Согласно модели эволюции рифта Осло, лавы ларвикита определяют промежуточную ступень в формировании рифта, то есть между ранним вулканизмом (извержения базальтовой трещины и плато-базальты) и поздним (формированием кальдер) (Heldal et al., 2015).

Ларвикитовый комплекс охватывает всю территорию разломов в районе Осло, поэтому он образует очень важный профиль в структуре грабена и может предоставить информацию о происхождении и эволюции магматической активности в этой провинции.

Основная масса ларвикита представлена крупнозернистой породой, однако в массиве встречаются зоны мелкозернистой его разновидности, их ширина варьирует от 4 до 50 метров, они приурочены к криволинейным элементам структуры. Щелочной полевой шпат в мелкозернистых зонах представлен идеоморфными слегка изогнутыми кристаллами.

Валовой состав полевых шпатов трехкомпонентный: анортит 4–30%, альбит 58–82%, ортоклаз 3–35% (Heldal et al., 2015). В типах ларвикита, используемых для изготовления строительного камня, полевой шпат состоит из сростков кристаллов с «изорванными» краями различных фаз полевого шпата. Состав варьируется от щелочного полевого шпата, близкого к ортоклазу, до альбита и/или анортоклаза и/или чистого плагиоклаза (анортита). Сростки с радужной окраской состоят из микроскопических пластинок трех фаз полевого шпата. Такие сростки обычно называют мезопертиты. Такой состав вызывает нестабильность кристаллографической структуры и приводит к распаду твердого раствора. Яркие интерференционные окраски, наблюдаемые в некоторых разновидностях ларвикита, обусловлены оптическим преломлением света в картине распада чередующихся пластинок ортоклаза и олигоклаз №15–18. Интенсивность, а также цвет радужной оболочки зависят от расстояния и геометрии ламелей, и, как правило, радужность возникает, когда толщина ламелей находится в диапазоне от 500 до 1000 Å. Другая классификация заключается в распределении иризации внутри отдельных кристаллов полевого шпата, можно выделить три основные группы: пятнистые (нерегулярные участки внутри каждого кристалла), гомогенные (внутри кристалла) и зональные (Heldal et al., 2015).

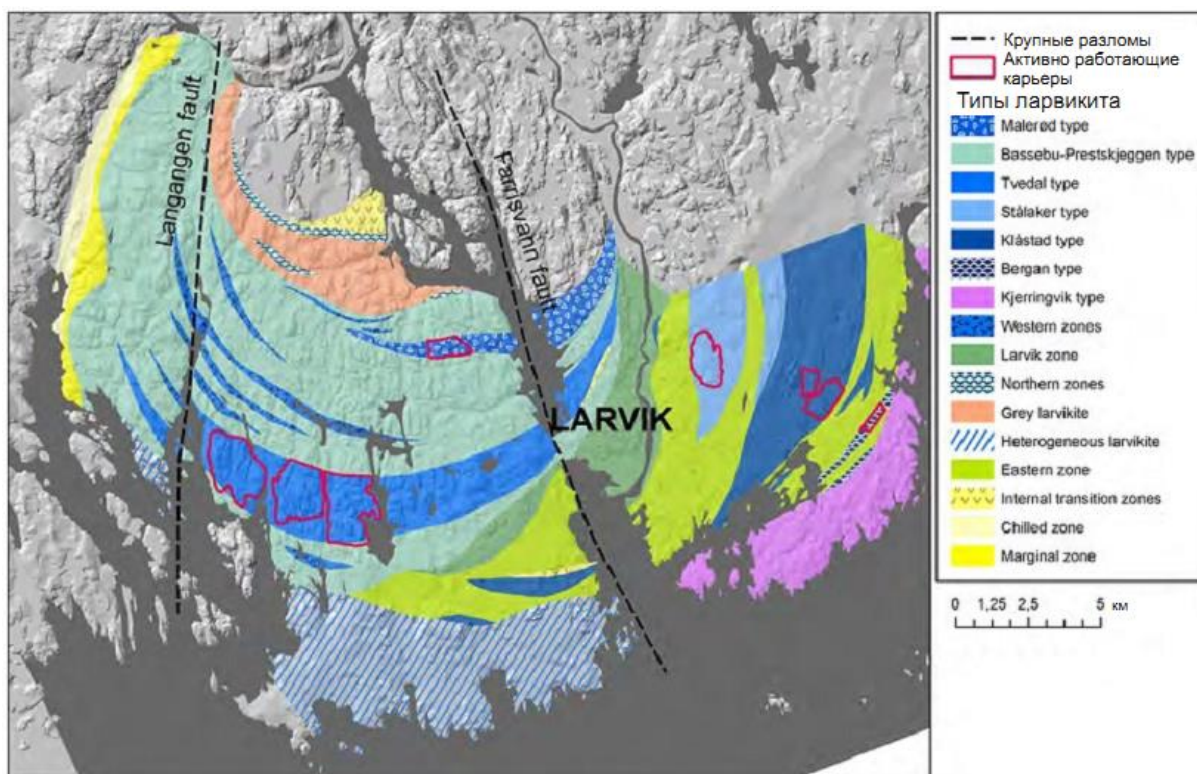


Рис 2 Карта распространения разных типов ларвикита (Heldal et al., 2015).

1.2. Месторождения лабрадорита

Крупнейшие месторождения находятся на полуострове Лабрадор, Канада. Имеются месторождения на Мадагаскаре, в Финляндии и Бразилии. Лабрадориты с необыкновенно «синим огнем» найдены на Украине (Головинское, Синий Камень, Гута Добрынская, Рудня-Очеретянка). В Оренбуржье лабрадор обнаружен в Горюньском месторождении декоративно-лицевочного камня.

Головинское месторождение лабрадорита расположено в Житомирской области на Украине. Головинский лабрадорит — массивная чёрная крупнозернистая порода, состоящая из идиоморфных таблитчатых или пластинчатых зёрен. В качестве второстепенных минералов присутствуют пироксены, амфиболы, кварц, калий-натровый полевой шпат и другие.

Месторождение приурочено к массиву основных изверженных пород, залегающему среди кристаллической пород докембрийского возраста, слагающих Украинский кристаллической щит. Данный интрузив – Коростенский плутон – имеет возраст 1,8 - 1,73 млрд лет. Мощность продуктивной толщи лабрадоритов 10-15 м. На месторождении наблюдается несколько систем трещин, создающих в породе сеть ромбовидной отдельности. (Yegorova et al., 2004)

Коростенский анортозит-рапакивский гранитный плутон находится в северо-западной части Украинского щита и является одним из нескольких крупных протерозойских массивов, он занимает около 12 000 км². Интрузив прорывает фундамент Восточно-Европейского кратона. Он размещен на метаморфических породах амфиболитовой фации тетеревской серии и орогенных гранитах Житомирского и Осницкого комплексов. Его внедрение происходило в период от 1800 до 1737 млн лет,

хотя большинство основных пород внедрилось за довольно короткий период - 1767–1758 млн лет. Анортозит и родственные ему основные породы занимают около 18% Коростенского плутона. Они залегают в трех крупных массивах - Володарско-Волынском, Чоповичском и Федоровском массивах, остальные представлены породами, близкими к граниту рапакиви. Подробные полевые исследования и определения возраста предполагают, что анортозиты и связанные с ними основные породы образовались в результате серии геологических событий. Это привело к сложной внутренней структуре, состоящей из нескольких свит (Duchesne et al., 2006):

1) ранняя анортозитовая свита (1800–1784 млн лет) представлена ксенолитами в более молодых породах. Породы, сложенные агрегатами гигантских плагиоклазов и высокоалюминиевых пироксенов;

2) основная свита анортозитов (1760 - 1758 млн лет назад), включает типичный черный крупнозернистый анортозит с зональным радужным плагиоклазом, пижонит, авгит и богатый железом оливин;

3) ранние и поздние габброиды (1759 млн лет) представлены многочисленными интрузиями внутри анортозитов второй свиты и по их окраинам. Габбро содержат оливин, ильменит, магнетит и апатит;

4) дайковая свита, включает долерит, трахибазальт и трахиандезит. Дайки прорывают массивы анортозита, граниты рапакиви и вмещающие породы.

Лабрадорит из этого месторождения использован в качестве облицовочного материала при строительстве Мавзолея В. И. Ленина, в отделке станций метрополитена, облицовке полов и цокольной части зданий в Москве, Ленинграде, Киеве и др.

Месторождение финского лабрадорита – спектролита – расположено в юго-восточной части Финляндии и приурочено к массивам анортозитов Выборгского плутона гранитов рапакиви (Рис 3). Гранитный магматизм рапакиви бимодальный. Вместе с риолитами, гранитами и сиенитами встречаются диабазы, габбро и анортозиты (Survey & Dissertation, 2020).

Анортозит – это общее название лейкократовых габброидных кумулятов (лейкогабброноритов, лейкотроктолитов и анортозитов). Порода крупнозернистая, серая, черная или иссиня-черная с офитовой текстурой. Выборгский плутон содержит шесть участков анортозитов площадью от 0,1 до 1,5 км². Пять из этих участков (Ylijärvi, Raahoja, Mättö, Jokimies и Niemistenpitkä) расположены на контакте выборгита с темным гранитом рапакиви. Вероятно, контакт между различными типами пород являлся зоной наименьшего сопротивления для внедрения массивов анортозитов (Arponen et al., 2009). В анортозитах, а также во вмещающих гранитах, выделяется система трещиноватости по трем направлениям. По трещинам часто развиваются карбонатные породы.

Порода сложена преимущественно плагиоклазом, в качестве второстепенных появляются пироксены, слюды. Размеры кристаллов плагиоклаза (An₅₀₋₇₀) от 0,5 до 10 см.

Плагиоклаз в анортозите сильно переливается различными цветами и поэтому ему было дано новое название – спектролит, которое стало торговой маркой финского лабрадорита. Спектролит — это хорошо известный во всем мире тип поделочного камня,

который также используется в качестве отделочного камня, особенно для изготовления столешниц. (Profile, 2018)

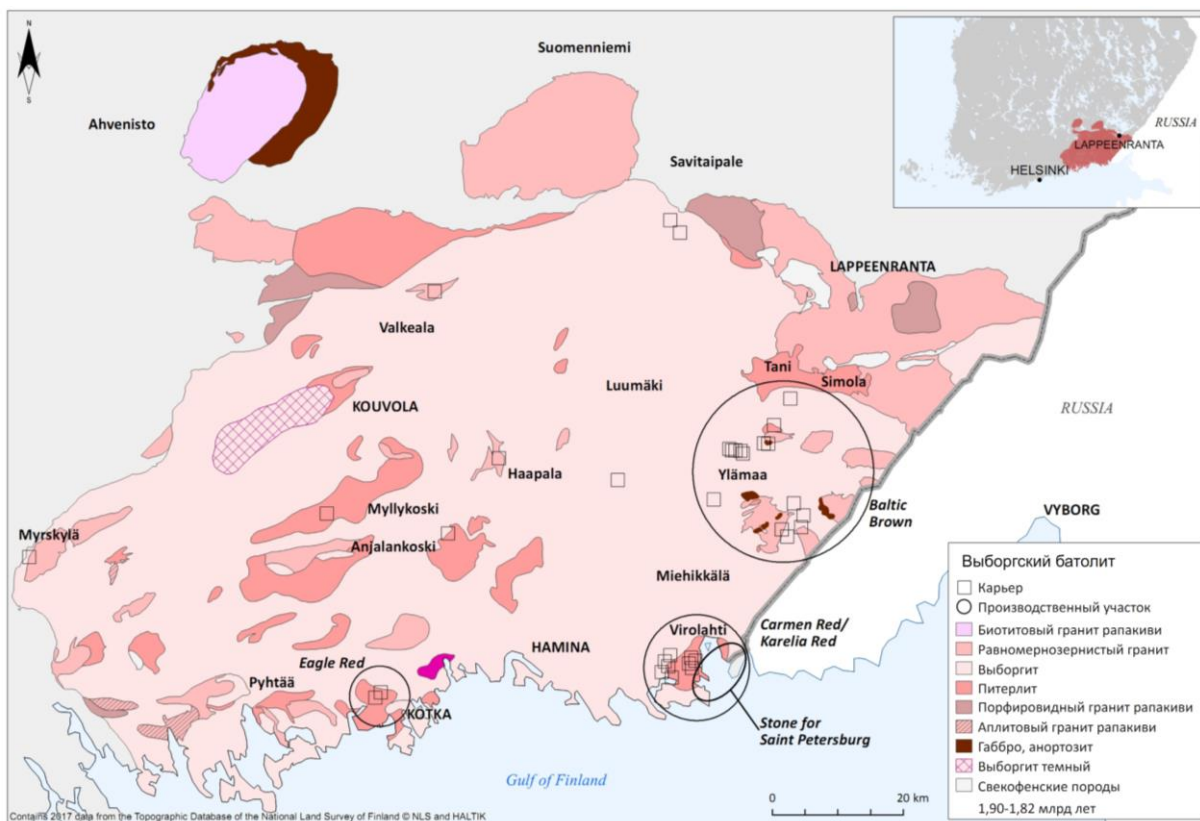


Рис 3 Геологическая схема Выборгского плутона на территории Финляндии (Profile, 2018).

2. Иризирующие породы в архитектуре

Благодаря своим декоративным свойствам и распространенности иризирующие породы широко используются в архитектуре. Кроме того, что камень достаточно красив, он обладает хорошими физическими свойствами. И заключаются они в высокой прочности, которая не уступает граниту, и стойкости к низким температурам. А это говорит о том, что он просто идеально подходит для облицовки внешней поверхности зданий, поскольку сможет выдержать сильные морозы. Лабрадориты и ларвикиты легко поддаются обработке и его хорошо полировать. Также стоит отметить еще одно свойство породы – это коррозионная стойкость. Благодаря этому данный камень применяется в монументальном строительстве. В Санкт-Петербурге они используются для внешней отделки зданий, а также небольшие детали внутреннего декора как современных, так и исторических зданий.

Филенки со светильниками на Невском, Дом книги (дом компании Зингер).

Дом компании «Зингер» является памятником архитектуры федерального значения. Здание было построено в 1902—1904 годах по проекту архитектора Павла Сюзора. Долгое время считалось, что филенки сделаны из лабрадорита (Рис 4), однако недавние исследования А.Г. Булаха показали, что используемый материал – ларвикит (Булах, 2013).



Рис 4 Внешний вид Дома книги (Фото Гутыряк С., 2020)

Ул. Тверская 6

На Тверской улице находятся два жилых здания, расположенных друг напротив друга. Проект здания был спроектирован в 2000 году компанией "Евгений Герасимов и партнёры". Главный архитектор проекта - Черноусова Л. Н. Проект дома признан лучшим на 8-м Российском фестивале зодчества – 2000 года в номинации «Проекты». Строительство было завершено в 2004 году. Дом номер 6 облицован ларвикитом Blue Pearl на высоту двух этажей (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**Рис 5).



Рис 5 Ларвикит в облицовке дома №6 на Тверской улице (Фото Гутыряк С., 2020)

Ул. Тверская 1а

Это здание было спроектировано той же компанией и тем же архитектором, что и дом №6. Здание было построено к 2009 году. Для облицовки использовался ларвикит Marine Pearl (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**Рис 6).



Рис 6 Ларвикит в облицовке дома №1а на Тверской улице (Фото Гутыряк С., 2020)

Особняк Кельха (ул. Чайковского 28)

Особняк Кельха - историческое здание, построенное в 1896—1903 годах. Каждое помещение особняка выдержано в уникальном стиле, от готики до барокко, однако зодчим удалось объединить их в гармоничный ансамбль. В интерьерах особняка присутствует множество различных материалов: лестница из белого мрамора, панели из розового Норвежского мрамора, подоконники, вырезанные из ларвикита Blue Pearl. Одна из наиболее примечательных деталей интерьера – монументальный камин из черного ларвикита Emerald Pearl (Рис 7).



Рис 7 Монументальный камин (Emerald Pearl) и подоконники (Blue Pearl), особняк Кельха (Фото Ветрова М.Н., 2021)

Арбитражный суд (ул. Смольного 6)

Строительство здания арбитражного суда под руководством Владимира Григорьева было завершено в 2019 году. Для облицовки здания использовался лабрадорит Brown Pearl (Рис 8). Нижняя часть здания отделана полированной породой, на высоту первого этажа здание облицовано термически-обработанным лабрадоритом, но даже в такой обработке видна иризация кристаллов плагиоклаза.

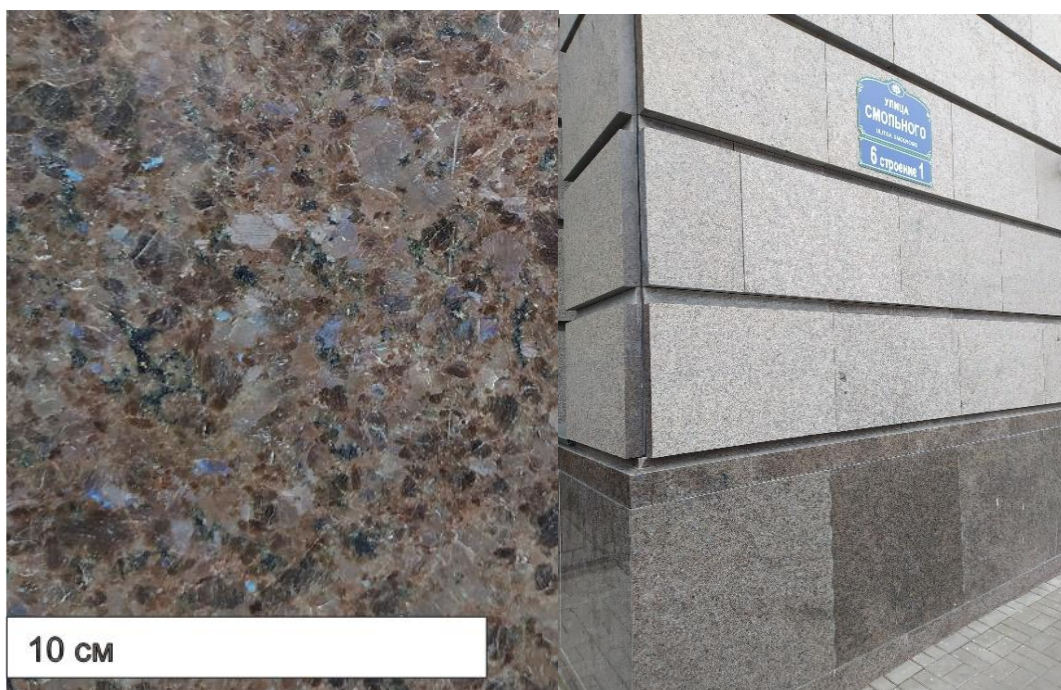


Рис 8 Полированный ларвикит в облицовке здания Арбитражного суда (Фото Гутыряк С., 2020)

Особняк Трубецких-Нарышкиных (ул. Чайковского 29)

Особняк Трубецких-Нарышкиных – архитектурно-исторический памятник в центре Санкт-Петербурга. Величественное строение на протяжении двух веков принадлежало представителям самых известных аристократических фамилий России. В его интерьере примечательны мраморная лестница, разнообразие фресок в стиле ренессанса, а также несколько каминов, каминная плита одного из них изготовлена из лабрадорита. Этот лабрадорит из месторождения на Мадагаскаре, он характеризуется крупными кристаллами плагиоклаза (до 10 см) и иризацией сине-зелено-желтого и бронзового цветов (Рис 9).

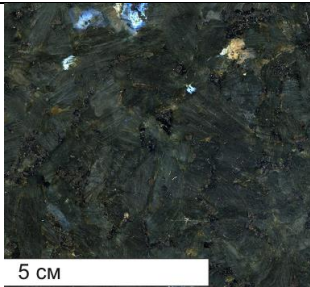



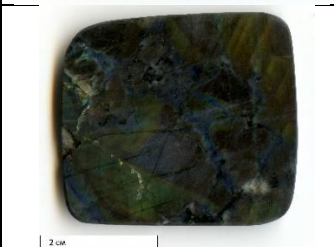
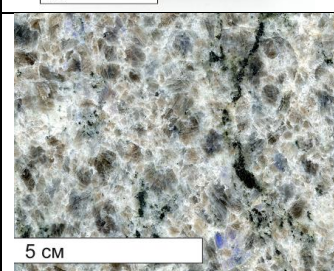
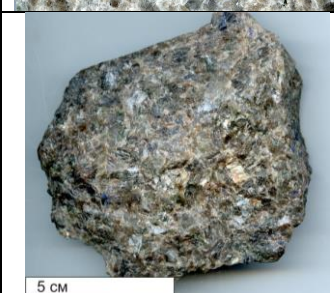

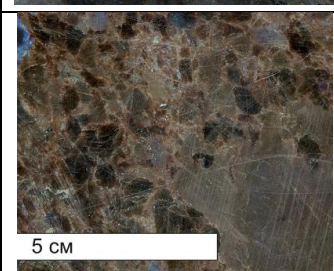

Рис 9 Каминная плита в особняке Трубецких-Нарышкиных (Фото Гутыряк С., 2022)

3. Объекты исследования

Объектами исследования данной работы являются 4 образца ларвикитов и 7 образцов лабрадоритов. Восемь образцов были предоставлен Игорем Константиновичем Кузьменко - директором фирмы-поставщика декоративного камня «Lithos». Два образца предоставлено Олегом Сергеевичем Верещагиным, доцентом кафедры минералогии СПбГУ (образцы S1 и S2). Также в коллекции присутствует образец из коллекции Андрея Глебовича Булаха (образец №1/30). В таблице 1 приведен список образцов и их краткая характеристика.

*Таблица 1
Объекты исследования и их краткая характеристика*

№ образца	Фотография	Торговое название	Месторождение	Краткое описание
Ларвикиты				
4		Emerald Pearl	Ларвик, Норвегия	Порода темного синевато-серого цвета, кристаллы полевого шпата размером 1-2 см иризируют синим, серо-синим, желто-коричневыми цветами
5		Blue Pearl	Ларвик, Норвегия	Порода серо-голубого цвета, кристаллы полевого шпата размером 1-3 см ярко иризируют в синих, голубых и светло-коричневых тонах
6		Marine Pearl	Ларвик, Норвегия	Светлая, серо-голубая порода, кристаллы полевого шпата размером 1-3 см иризируют голубым цветом
7		Blue Pearl	Ларвик, Норвегия	Порода серо-голубого цвета, кристаллы полевого шпата размером 1-3 см ярко иризируют в синих, голубых и светло-коричневых тонах

Лабрадориты				
S1		Спектролит	Финляндия	Порода темного, почти черного цвета, кристаллы полевого шпата размером 3-4 см зонально иризируют синим и желто-зеленым цветом.
S2		Спектролит	Финляндия	
1		Blue Ice	Предположительно Канада	Порода светлая, коричневатого-серого цвета, кристаллы полевого шпата размером 0,5-1,5 см иризируют голубым цветом.
1/30		-	Норвегия (образец из коллекции А.Г. Булаха)	Порода темно-коричневого цвета, кристаллы полевого шпата размером 0,3-1,5 см иризируют в синих тонах.
2		Antique Brown	Предположительно Бразилия	Порода темно-коричневый, почти черный цвет, кристаллы полевого шпата размером 0,5-4 см тускло иризируют серо-синим цветом.
3/19		Brown Pearl	Предположительно Бразилия или Норвегия	Порода темно-коричневого цвета, кристаллы полевого шпата размером 0,5-8 см зонально иризируют синим цветом.
8		-	Головинское месторождение, Украина	Порода темно-серого, близкого к черному, цвета, кристаллы полевого шпата размером 0,3-3 см зонально иризируют в синих, оранжево-желто-зеленых цветах.

4. Методы исследования

4.1. Петрографическое изучение

Петрографическое исследование проводилось в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» на поляризационном микроскопе Leica DM 4500P (Рис 10). С помощью него проводилось определение оптических свойств минералов в шлифе.



Рис 10 Поляризационный микроскоп Leica DM 4500P

4.2. Энергодисперсионный рентгеноспектральный анализ

Энергодисперсионный рентгеноспектральный анализ выполнялся в ресурсном центре «Микроскопии и микроанализа» на растровом электронном микроскопе Hitachi TM 3000 (Hitachi, Япония). (Рис 11). С помощью данного прибора проводилось изучение химического состава минералов. Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 kV, накопление спектра проходило в течении 20 секунд.

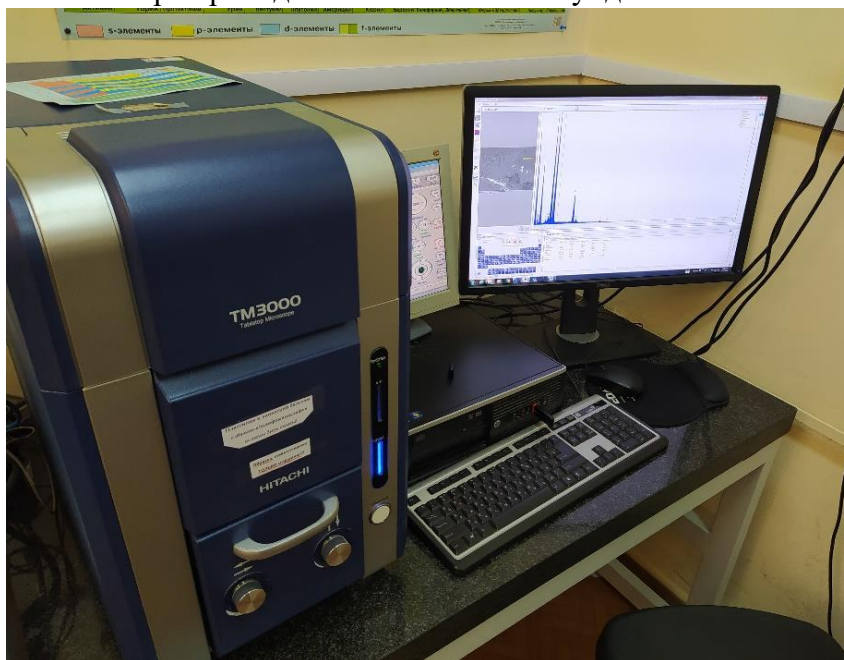


Рис 11 Электронный микроскоп Hitachi TM 3000

Также химический состав минералов определялся на базе ресурсного центра СПбГУ «Геомодель» с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N с

приставкой энергодисперсионного анализа Oxford X-Max 20. Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec Energy с использованием методики TrueQ. При съемке использованы следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 1.6 нА, рабочее расстояние 10 мм, время накопления спектра в точке 25 с в точечном режиме.

4.3. Рентгенофазовое изучение

Рентгенофазовый анализ проводился в ресурсном центре СПбГУ. Здесь был определен фазовый состав образцов. Съемка проводилась на дифрактометре Rigaku MiniFlex II. Материал катода – кобальт, углы съемки от 3 до 80 градусов, скорость – 4 градуса в минуту. Для определения фаз использовалась программа PDXL2.

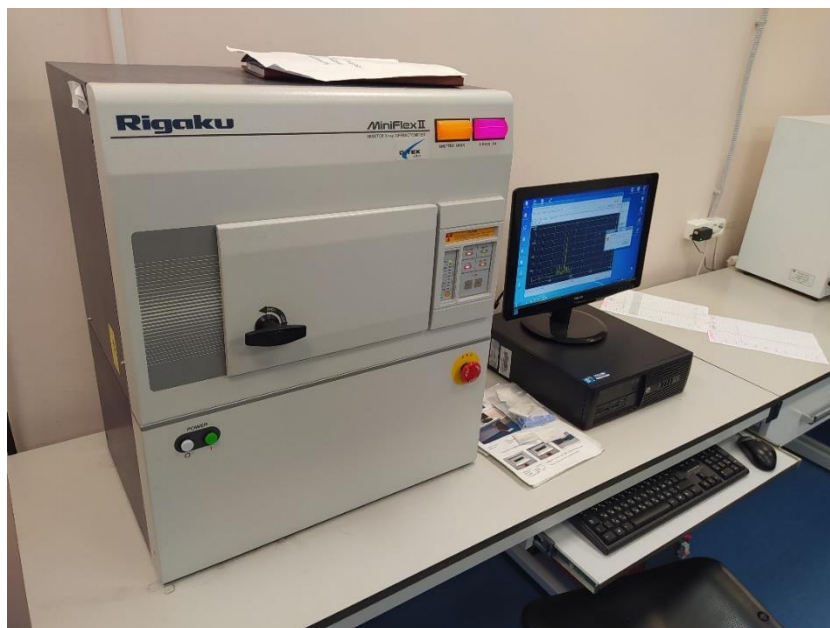


Рис 12 Дифрактометр Rigaku MiniFlex II

5. Исследование образцов

5.1. Петрографо-минералогическое описание образцов

5.1.1. Ларвикиты

Образец №4

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 13). Основную массу составляет калий-натровый полевой шпат (около 90%). Он представлен крупными (до 2 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата. Среди второстепенных минералов выделяются ксеноморфные кристаллы пироксена (4-6%), листовидные кристаллы биотита (1-3%), изоморфные зерна оливина (1-2%), непрозрачные минералы – магнетит, ильменит (2-3%). Встречаются сростки магнетита с биотитом и пироксеном. Биотит часто образует каймы вокруг магнетита и пироксена.

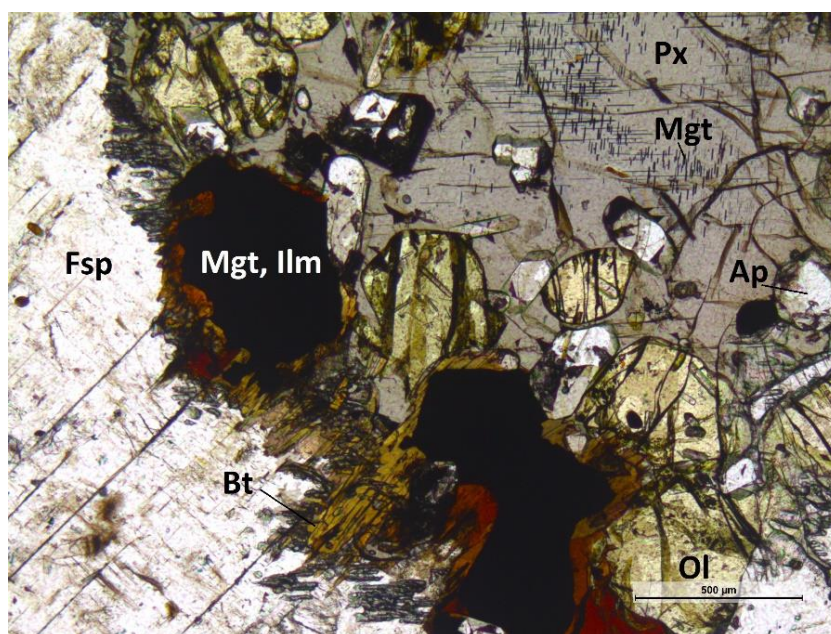


Рис 13 Зерна магнетита и ильменита с каймой биотита, изоморфные зерна оливина и апатита, структура распада твердого раствора в системе пироксен-магнетит, фото в параллельных николях, образец №4

Образец №5

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 14). Основную массу составляет калий-натровый полевой шпат (около 85%). Он представлен крупными (до 2 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. Второстепенные минералы расположены пятнами в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата. Среди второстепенных минералов выделяются ксеноморфные кристаллы пироксена (4-5%), листовидные кристаллы биотита (4-5%), изоморфные зерна оливина (1-2%), непрозрачные минералы – магнетит, ильменит (4-5%). Встречаются сростки магнетита с пироксеном. Биотит часто образует каймы вокруг магнетита и пироксена. По оливину местами развивается боулингит – вторичный агрегат, смесь хлорита и монтмориллонита.

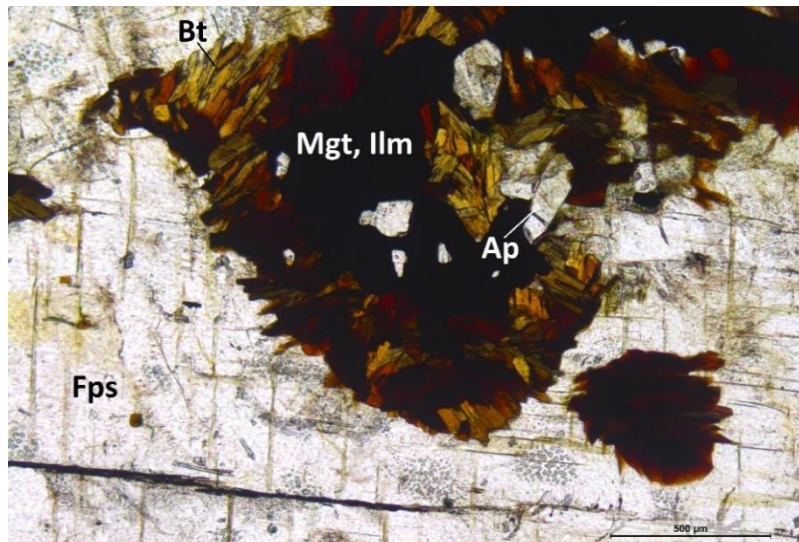


Рис 14 Зерна магнетита и ильменита с каймами биотита, зерна апатита, фото в параллельных николях, образец №5

Образец №6

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 15). Основную массу составляет калий-натровый полевой шпат (около 80%). Он представлен крупными (до 2 см) таблитчатыми кристаллами с неровными «рваными» краями. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата. Среди второстепенных минералов выделяются ксеноморфные кристаллы пироксена (7-9%), листовидные кристаллы биотита (2-3%), изоморфные зерна оливина (4-5%), непрозрачные минералы – магнетит, ильменит (4-5%). Встречаются сростки пироксена с биотитом и магнетитом. Биотит часто образует каймы вокруг магнетита и пироксена. По оливину развивается идингсит – вторичный агрегат, который является смесью монтмориллонита и хлорита с примесью гётита и кварца.

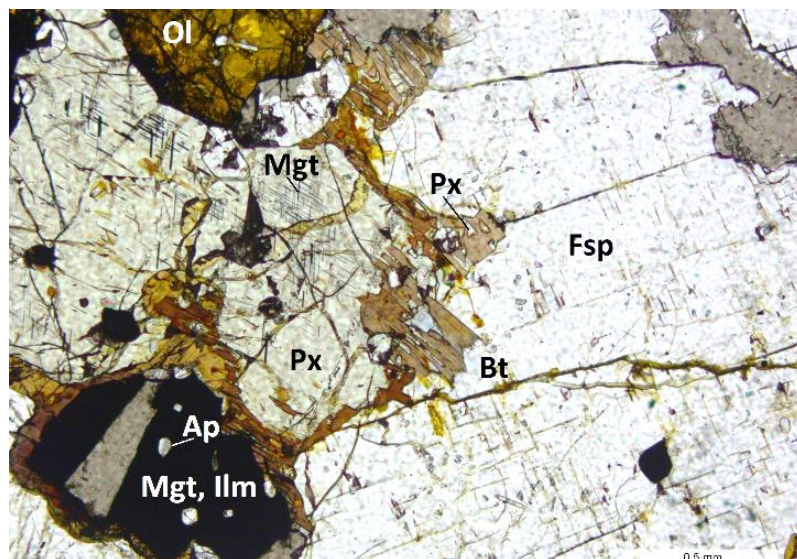


Рис 15 Зерна оливина, замещенного идингситом, зерна пироксена, магнетита и ильменита с каймами биотита, сростки пироксена и биотита, структура распада твердого раствора в системе пироксен-магнетит, включения апатита в зерна магнетита, фото в параллельных николях, образец №6

Образец №7

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 16). Основную массу составляет калий-натровый полевой шпат (около 85%). Он представлен крупными (до 2 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата. Среди второстепенных минералов выделяются ксеноморфные кристаллы пироксена (5-6%), листовидные кристаллы биотита (4-5%), изоморфные зерна оливина (2-3%), непрозрачные минералы – магнетит, ильменит (3-4%). Встречаются сростки оливина с биотитом и магнетитом. Биотит часто образует каймы вокруг магнетита и пироксена.

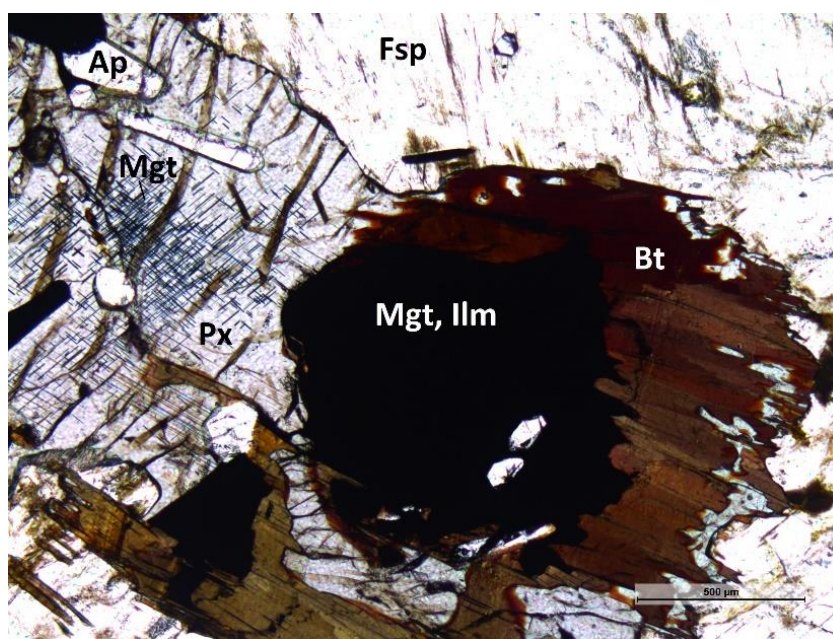


Рис 16 Зерна магнетита и ильменита с каймами биотита, структура распада твердого раствора в системе пироксен-магнетит, включения апатита в зерна магнетита, фото в параллельных николях, образец №7

Породообразующие минералы

Главный породообразующий минерал ларвикитов (образцы № 4, 5, 6, 7) – калий-натровый полевой шпат (ортоклаз). В проходящем свете минерал прозрачный, бесцветный, обладает хорошей спайностью, низким рельефом и слабой шагренью. В скрещенных николях ортоклаз обладает слабыми цветами интерференции (серый, иногда желтый). Минерал относится к границе II и III групп Лодочникова и имеет простые двойники. Кристаллы ортоклаза в шлифах имеют размер от 0,5 до 20 мм. В химическом составе ортоклаза присутствует изоморфная примесь кальция. В Таблица 2 приведен химический состав полевого шпата. Расчет кристаллохимических коэффициентов проводился на 8 кислорода.

Таблица 2
Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты полевого шпата

Компонент	Номер образца											
	4			5			6			7		
SiO ₂	65.16	65.39	64.04	65.06	65.07	65.00	65.51	63.89	66.17	65.61	65.22	63.21
Al ₂ O ₃	19.30	19.16	22.06	19.19	19.29	21.49	18.9	18.92	21.41	18.99	20.26	22.98
CaO	н.о.	0.89	3.13	0.50	0.84	2.98	0.49	1.02	2.73	0.98	2.56	3.78
Na ₂ O	1.23	2.67	7.12	1.92	2.62	8.05	2.13	3.55	6.82	2.94	5.63	8.55
K ₂ O	14.31	11.88	3.64	13.33	12.18	2.48	12.97	10.1	4.51	11.48	6.33	1.48
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Формульные коэффициенты											
Si	2.98	2.98	2.85	2.97	2.97	2.88	2.99	2.97	2.90	2.98	2.92	2.80
Al	1.03	1.02	1.16	1.03	1.04	1.12	1.02	1.04	1.11	1.02	1.08	1.20
Ca	–	0.04	0.15	0.02	0.04	0.14	0.02	0.05	0.13	0.05	0.12	0.18
Na	0.15	0.24	0.61	0.17	0.23	0.69	0.19	0.32	0.58	0.26	0.49	0.74
K	0.84	0.69	0.21	0.78	0.71	0.14	0.76	0.60	0.25	0.67	0.36	0.08

Полевой шпат в образцах представлен структурой распада твердого раствора. Это проявляется в различном составе минерала на разных его участках (Рис 17). Такая структура и обеспечивает иризацию кристаллов щелочного полевого шпата. По результатам ряда химических анализов образцов, был выявлен полный изоморфный ряд полевых шпатов – от калиевых до натриевых разновидностей (Рис 18).

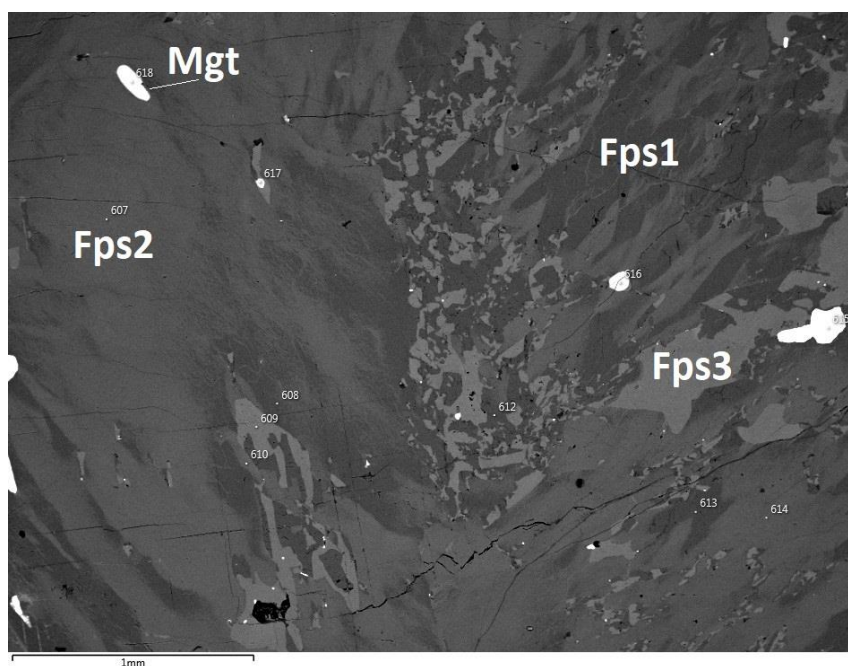


Рис 17 Полевые шпаты разного химического состава Fps1 - $(\text{Na}_{0,77} \text{Ca}_{0,18} \text{K}_{0,04})_{0,98} ((\text{Al}_{1,15} \text{Si}_{2,85})_{4,00} \text{O}_6)$, Fps2 - $(\text{Na}_{0,49} \text{K}_{0,37} \text{Ca}_{0,13})_{0,99} ((\text{Al}_{1,12} \text{Si}_{2,89})_{4,01} \text{O}_6)$, Fps3 - $(\text{K}_{0,73} \text{Na}_{0,22} \text{Ca}_{0,04})_{0,99} ((\text{Al}_{1,04} \text{Si}_{2,97})_{4,01} \text{O}_6)$, изображение в обратно рассеянных электронах, образец №5

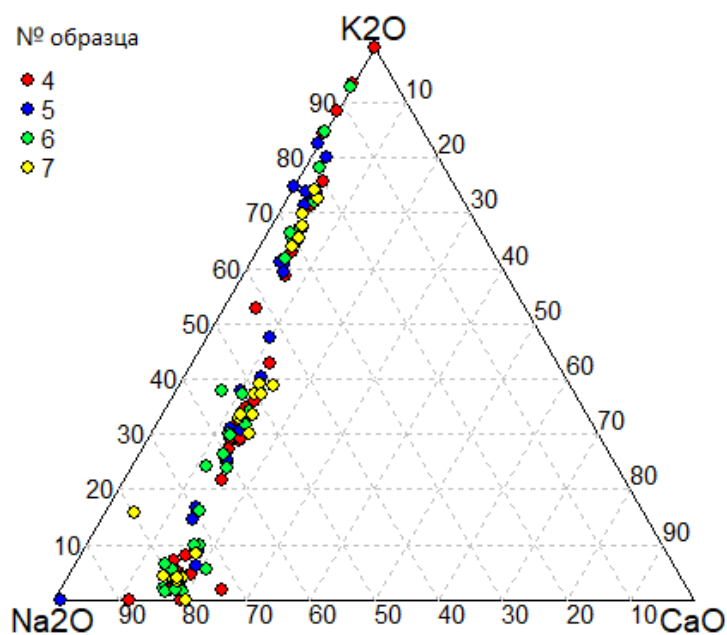


Рис 18 Диаграмма составов полевых шпатов в образцах ларвикитов.

Второстепенные минералы

Пироксен

В качестве второстепенного минерала в ларвикитах присутствует пироксен. В проходящем свете минерал окрашен в коричневые цвета (авгит) или бесцветен (жадеит). Минерал имеет ярко выраженную спайность по двум направлениям, пересекающихся под углом 90 градусов. Так же для него характерны заметный рельеф и яркие цвета интерференции (до синих) (Рис 19). Минерал относится к VI группе Лодочкикова. Размер зерен в образцах варьирует от 0,2 до 2 мм. В образцах встречается с закономерными игольчатыми сростками магнетита, что является структурой распада твердого раствора.

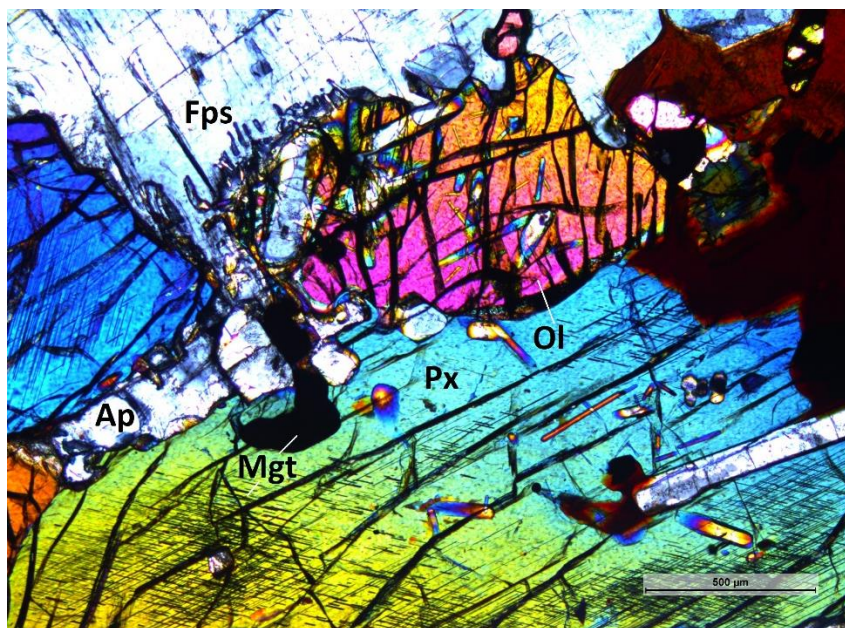


Рис 19 Зерно пироксена с закономерными сростками магнетита, зерна оливина, апатита, магнетита, фото в скрещенных николях, образец №7

По химическому составу в образцах 4 и 6 минерал относится к диопсиду: $((Ca_{0.92}Na_{0.05}Fe^{2+}_{0.03})_{1.00}(Mg_{0.64}Fe^{2+}_{0.29}Ti_{0.02}Al_{0.05})_{1.00}((Si_{1.95}Al_{0.05})_{2.00}O_6))$, в образце 5 – к жадеиту $((Na_{0.87}Ca_{0.02})_{0.89}Al_{1.07}((Si_{1.89}Al_{0.11})_{2.00}O_6))$. Расчет формульных коэффициентов проводился на 12 зарядов (Таблица 3).

Таблица 3
Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты пироксена

Компонент	Номер образца					
	4		5		6	
SiO ₂	52.61	51.73	57.74	56.47	51.6	52.05
TiO ₂	0.99	0.77	н.о.	н.о.	н.о.	0.78
Al ₂ O ₃	2.00	2.29	28.68	29.61	1.15	1.3
FeO	8.66	10.10	н.о.	н.о.	13.62	11.64
MgO	12.46	11.47	н.о.	н.о.	10.37	11.54
MnO	0.63	н.о.	н.о.	н.о.	0.88	0.9
CaO	21.71	22.89	0.55	0.55	21.74	21.13
NaO	0.93	0.74	13.02	13.38	0.65	0.67
Σ	99.99	99.99	99.99	100.01	100.01	100.01
	Формульные коэффициенты					
Si	1.96	1.95	1.93	1.89	1.98	1.97
Ti	0.03	0.02	–	–	–	0.02
Al	0.09	0.10	1.13	1.17	0.05	0.06
Fe	0.27	0.32	–	–	0.44	0.37
Mg	0.69	0.64	–	–	0.59	0.65
Mn	0.02	–	–	–	0.03	0.03
Ca	0.87	0.92	0.02	0.02	0.89	0.86
Na	0.07	0.05	0.84	0.87	0.05	0.05

Биотит

Биотит – это название серии темноцветных минералов группы слюд изоморфного ряда флогопит-аннит. Встречается во всех образцах ларвикитов. В проходящем свете биотит окрашен в коричневые, красно-коричневые и зеленые цвета и характеризуется заметным плеохроизмом от светлого до насыщенного оттенка (Рис 20). Минерал относится к IV группе Лодочникова. Форма кристаллов листовидная, пластинчатая. Часто окаймляет зерна пироксена и магнетита (Рис 15). Под анализатором имеет высокие цвета интерференции (до синих), прямое «ситевидное» погасание. Кристаллы биотита имеют размер до 1 мм. В Таблица 4 приведен химический состав биотита в образцах. Корректный расчет формульных коэффициентов получить не удалось. По соотношению атомных количеств ионов можно отнести эти слюды к флогопитам. Отмечается наличие хлора в образцах 4 и 6 и ниодима в образцах 4 и 5.

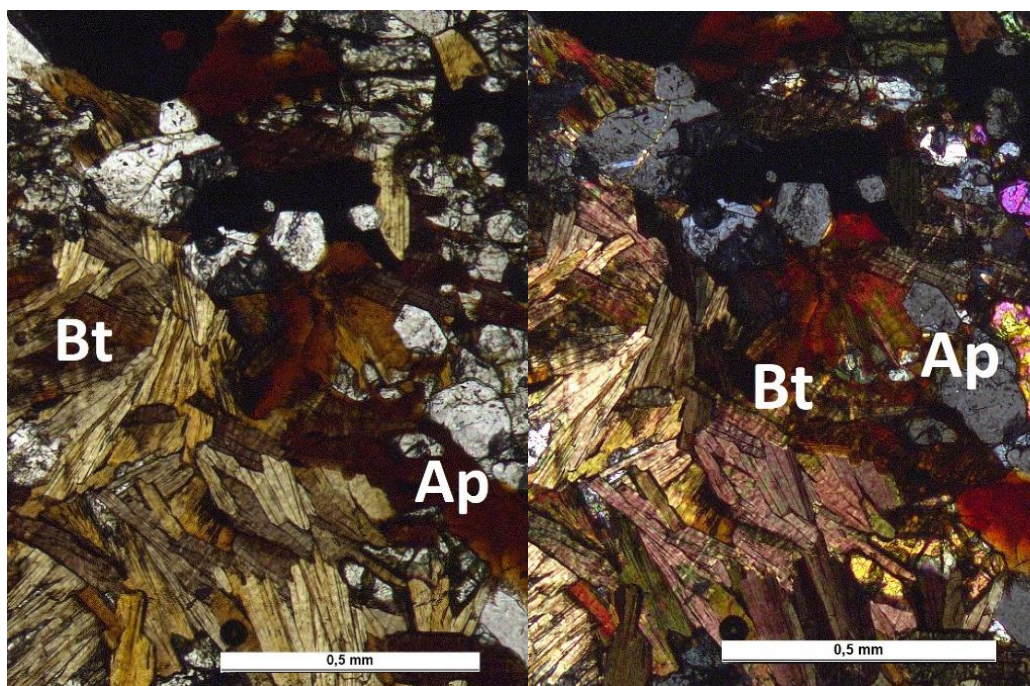


Рис 20 Кристаллы биотита в параллельных николях и скрещенных николях, образец №6

Таблица 4
Химический состав (масс.%) биотита

Компонент	Номер образца							
	4		5		6		7	
SiO ₂	38.38	37.79	38.51	38.14	37.82	39.12	36.84	37.04
TiO ₂	9.63	6.97	8.85	6.96	8.09	5.38	8.65	8.58
Al ₂ O ₃	13.95	14.49	13.62	13.87	13.40	13.58	12.94	12.97
Fe ₂ O ₃	17.17	18.69	17.16	18.84	22.26	19.89	16.26	15.78
MgO	10.99	11.17	11.64	11.18	8.65	11.93	11.85	11.72
MnO	н.о.	н.о.	0.28	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
K ₂ O	9.88	10.12	9.95	10.03	9.45	9.80	9.38	9.31
Nd ₂ O ₃	н.о.	0.60	н.о.	0.97	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Cl	н.о.	0.19	н.о.	н.о.	0.35	н.о.	н.о.	н.о.

Ильменит и магнетит

Ильменит и магнетит являются непрозрачными минералами. поэтому их изучение проводится в отраженном свете. Расчет формульных коэффициентов ильменита проводился на 6 зарядов (Таблица 6), магнетита – на 3 катиона с последующим расчетом двух и трех валентного железа (Таблица 5). Встречаются как в виде отдельных зерен неправильной формы (размерами до 1,5 мм), так и в качестве тонкоигольчатых сростаний с пироксеном (образцы №4, 6, 7), а также как сростки с оливином. Наличие в составе магнетита титана (до 17 масс%) позволяют отнести его к титаномагнетиту. Магнетит содержит изоморфную примесь марганца, ванадия и магния, ильменит – марганца, ниодима и магния. В данных образцах ларвикитов мы можем наблюдать структуры распада твердого раствора титаномагнетита, который проявляется в появлении линейных дислокаций, ориентированных симметрично к оси третьего порядка (Рис 21). Эти структуры указывают на определенные условия образования породы – температура 700-450°С (А.М. Кузьмин, 1969).

Таблица 5
Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты магнетита

Компонент	Номер образца							
	4		5		6		7	
TiO ₂	3.40	14.30	1.41	11.13	н.о.	1.27	9.04	16.94
FeO	96.21	84.68	98.59	87.86	100	98.73	90.24	81.46
MgO	н.о.	н.о.	н.о.	1.00	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
MnO	н.о.	1.02	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.72	1.60
V ₂ O ₅	0.39	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100
	Формульные коэффициенты							
Ti	0.09	0.39	0.04	0.30	–	0.03	0.25	0.46
Fe ³⁺	1.79	1.22	1.92	1.40	2	1.93	1.51	1.07
Fe ²⁺	1.11	1.36	1.04	1.25	1	1.03	1.22	1.42
Mg	–	–	–	0.05	–	–	–	–
Mn	–	0.03	–	–	–	–	0.02	0.1
V	0.01	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 6
Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты ильменита

Компонент	Номер образца							
	4		5		6		7	
TiO ₂	52,05	53,07	51,79	51,28	48,86	50,89	52,29	52,03
FeO	42,99	42,03	43,12	44,38	46,47	43,77	43,19	43,58
MgO	0,62	1,33	0,72	н.о.	н.о.	н.о.	0,76	0,68
MnO	3,45	3,10	3,52	3,32	3,73	3,96	3,12	3,61
Nd ₂ O ₃	0,88	0,48	0,86	1,03	0,94	1,38	0,64	н.о.
Σ	99,99	100,01	100,01	100,01	100	100	100	99,9
	Формульные коэффициенты							
Ti	0,99	1,00	0,99	0,98	0,95	0,98	0,99	0,99
Fe	0,91	0,88	0,91	0,95	1,00	0,94	0,91	0,92
Mg	0,02	0,05	0,03	–	–	–	0,03	0,03
Mn	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09	0,07	0,08
Nd	–	–	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	–

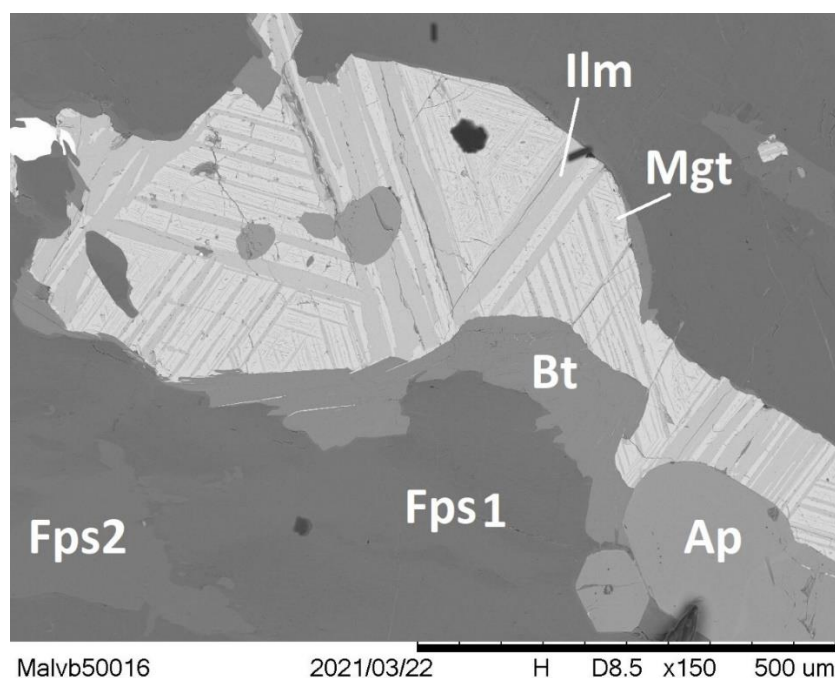


Рис 21 Полосчатые сростки ильменита и магнетита, Fps1–(Na_{0.52}K_{0.36}Ca_{0.10})_{0.98}((Al_{1.05}Si_{2.95})_{4.00}O₈), Fps2–(K_{0.66}Na_{0.29}Ca_{0.04})_{0.99}(Al_{1.03}Si₃O₈), изображение в обратно рассеянных электронах, образец №6

Оливин

Оливин – название серии минералов островных силикатов, представляющих собой твердый раствор ряда форстерит-фаялит-тефроит. В шлифе встречается в виде изометрических «бочковидных» зерен размерами до 2 мм. В проходящем свете бесцветен, имеет высокий рельеф (Рис 22). Спайность видна плохо, часто проявляется трещиноватость. В скрещенных николях имеет яркие «базарные» цвета интерференции (сильное двупреломление) и прямое погасание. Относится к VI группе Лодочникова. По химическому составу оливин в образцах ларвикитов (№ 4, 5, 6, 7) относится к фаялиту с 35-40% форстеритового компонента: (Fe_{1.20}Mg_{0.72}Mn_{0.07})_{1.99}(Si_{1.00}O₄). Расчет формульных коэффициентов проводился на 8 зарядов.

Таблица 7
Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты оливина

Компонент	Номер образца							
	4		5		6		7	
SiO ₂	33.91	34.93	34.15	34.60	35.18	34.91	33.26	33.04
FeO	47.02	45.52	46.40	48.97	45.48	45.72	47.80	48.23
MgO	16.40	16.93	16.97	16.43	16.73	16.36	16.02	15.84
MnO	2.68	2.62	2.48	н.о	2.61	3.01	2.89	2.89
Σ	100.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.97	100.00
	Формульные коэффициенты							
Si	1.01	1.03	1.02	1.03	1.04	1.03	1.00	1.00
Fe	1.18	1.12	1.15	1.22	1.12	1.13	1.20	1.22
Mg	0.73	0.75	0.75	0.73	0.74	0.72	0.72	0.71
Mn	0.07	0.07	0.06	–	0.07	0.08	0.07	0.07

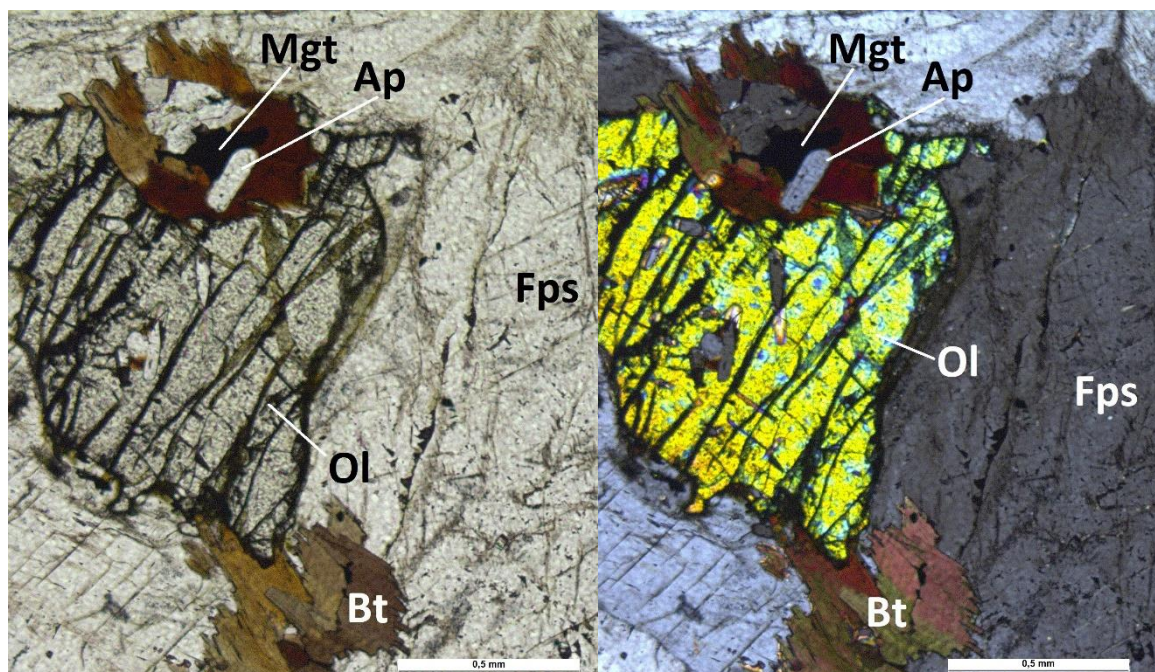


Рис 22 Зерна оливина в параллельных и скрещенных николях, образец №6
Акцессорные минералы

Апатит

Для апатита характерны вытянутые кристаллы с гексагональным сечением, в шлифе бесцветен, прозрачен и не имеет спайности (Рис 23). Размер кристаллов до 750 мкм. Апатит относится к V группе Лодочникова, имеет высокий рельеф и слабую шагрень. В скрещенных николях характеризуется серыми цветами интерференции. Расчет коэффициентов произведен на 25 зарядов (Таблица 8). В составе апатитов выделяется наличие лантаноидов: $(\text{Ca}_{4.96}\text{Ce}_{0.03}\text{La}_{0.02})_{5.01}(\text{P}_{2.92}\text{Si}_{0.06}\text{O}_{12})(\text{F}_{0.98}\text{Cl}_{0.02})_{1.00}$. Апатиты данных образцов относятся к преимущественно фторапатитам. Примесь кремния обусловлена захватом из силикатов при анализе.

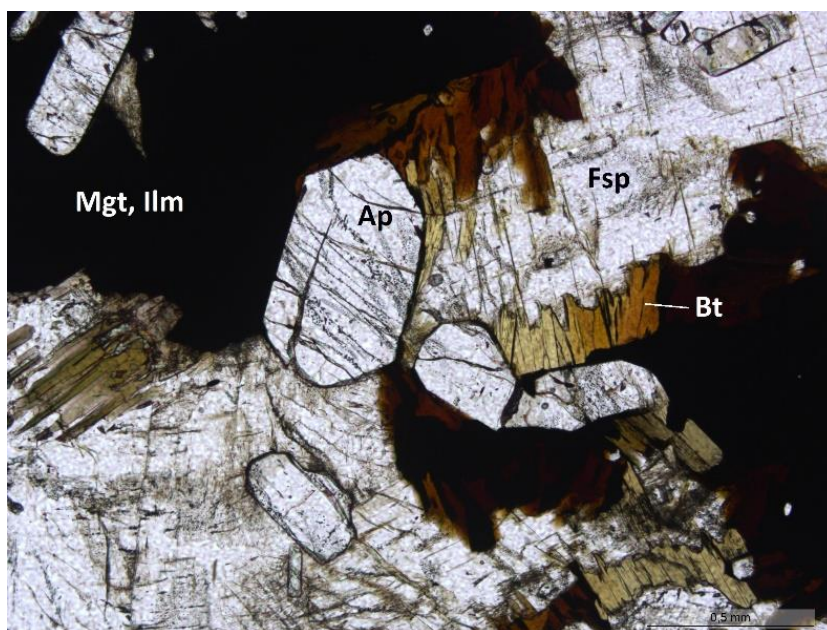


Рис 23 Идеоморфные кристаллы апатита, зерна магнетита и ильменита с каймами биотита, фото в параллельных николях, образец №5

Таблица 8
Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты апатитов

Компонент	Номер образца							
	4		5		6		7	
P ₂ O ₅	40.16	39.98	40.09	39.93	39.81	40.59	40.92	39.51
SiO ₂	0.79	0.79	0.34	0.80	0.66	0.26	0.05	0.13
CaO	54.61	53.52	53.91	52.49	53.89	52.96	53.97	52.87
La ₂ O ₃	0.41	0.58	0.95	0.44	0.94	2.13	н.о.	0.78
Ce ₂ O ₃	0.91	0.90	0.85	1.06	1.11	3.22	н.о.	1.26
Nd ₂ O ₃	н.о.	0.36	н.о.	н.о.	н.о.	0.83	н.о.	0.45
F	2.90	3.68	3.33	3.43	3.38	0.30	3.90	3.67
Cl	0.10	0.12	0.20	0.16	0.30	н.о.	н.о.	н.о.
Формульные коэффициенты								
P	2.91	2.93	2.94	2.95	2.92	2.93	3.00	2.95
Si	0.07	0.07	0.03	0.07	0.06	0.02	–	0.01
Ca	5.01	4.98	5.01	4.91	5.00	4.84	5.00	4.99
La	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0.07	–	0.03
Ce	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.10	–	0.04
Nd	–	0.01	–	–	–	0.03	–	0.01
F	0.79	0.99	0.91	0.95	0.92	0.91	1.07	1.02
Cl	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	–	–
ОН	0.20	–	0.06	0.03	0.03	0.05	–	–

Цирконолит

Встречается во всех образцах ларвикитов, характерный минерал для интрузивного комплекса ларвикитов (Haifler et al., 2021). Зерна вытянутые и изометричные, размером до 200 мкм (Рис 24). В проходящем свете имеет светлоромановую окраску, в скрещенных николях – высокие цвета интерференции (до синих). В составе выделяется наличие итрия, ниобия, гафния и лантаноидов: (Ca_{0.42} Ce_{0.16} Y_{0.10} Nd_{0.09} Th_{0.03} Sm_{0.01} La_{0.04} U_{0.02})_{0.89} Zr_{1.00} (Ti_{1.07} Fe_{0.46} Nb_{0.39} Si_{0.06})_{1.98} O₇. Расчет формул проводился на 14 зарядов (Таблица 9).

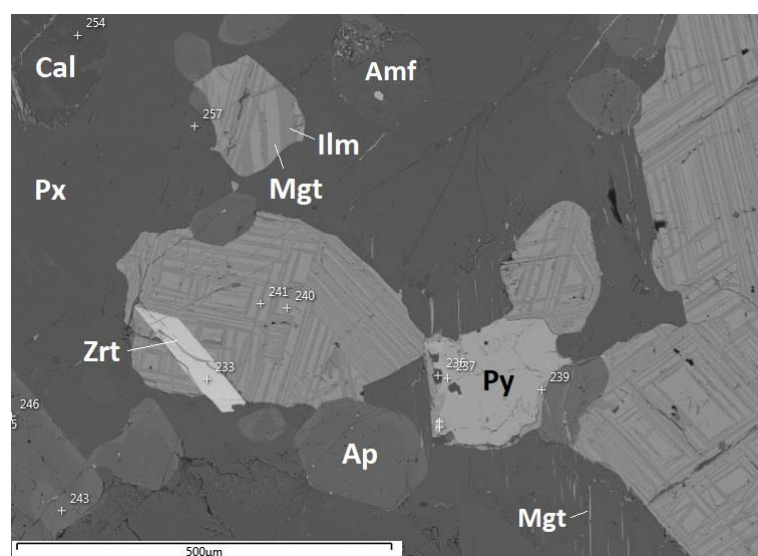


Рис 24 Вытянутый кристалл цирконолита, зерна магнетита и ильменита, пирита, апатита, амфибола и кальцита, изображение в рассеянных электронах, образец №6

Таблица 9
Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты цирконолита

Компонент	Номер образца							
	4		5		6		7	
TiO ₂	25.97	28.36	36.00	26.96	29.69	22.53	23.12	31.54
ZrO ₂	34.69	33.16	36.00	33.40	32.17	28.82	29.79	35.13
Fe ₂ O ₃	7.56	8.20	5.70	7.44	7.83	9.88	6.91	6.34
CaO	8.77	9.04	11.73	9.04	8.19	5.83	7.01	н.о.
K ₂ O	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.31	н.о.	н.о.
Y ₂ O ₃	2.23	1.48	н.о.	1.39	3.70	1.84	2.15	10.64
Nb ₂ O ₅	9.70	9.23	6.09	9.88	8.71	11.65	8.07	н.о.
La ₂ O ₃	н.о.	н.о.	0.00	1.16	н.о.	0.97	н.о.	н.о.
Ce ₂ O ₃	2.65	3.09	2.81	2.83	3.42	5.72	4.12	6.42
Pr ₂ O ₃	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	1.42	н.о.	4.08
Nd ₂ O ₃	2.17	2.34	0.90	2.37	2.98	3.34	2.33	1.25
Sm ₂ O ₃	0.63	н.о.	н.о.	0.69	0.45	0.94	0.64	н.о.
HfO ₂	н.о.	н.о.	0.77	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
ThO ₂	3.93	5.10	н.о.	3.26	2.86	5.38	1.80	0.70
UO ₂	1.60	н.о.	н.о.	1.58	н.о.	1.37	н.о.	н.о.
Σ	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	85.94	96.10
	Формульные коэффициенты							
Ti	1.27	1.36	1.61	1.31	1.41	1.16	1.29	1.50
Zr	1.10	1.03	1.05	1.06	0.99	0.96	1.08	1.09
Fe	0.37	0.39	0.26	0.36	0.37	0.51	0.39	0.30
Ca	0.61	0.62	0.75	0.63	0.55	0.43	0.56	0.72
K	–	–	–	–	–	0.03	–	–
Y	0.08	0.05	0	0.05	0.12	0.07	0.08	–
Nb	0.29	0.27	0.16	0.29	0.25	0.36	0.27	0.18
– La	–	–	–	0.03	0	0.02	–	–
Ce	0.06	0.07	0.06	0.07	0.08	0.14	0.11	0.09
Pr	–	–	–	–	–	0.04	–	–
Nd	0.05	0.05	0.02	0.05	0.07	0.08	0.06	0.03
Sm	0.01	–	–	0.01	0.01	0.02	0.02	–
Hf	–	–	0.01	–	–	–	–	–
Th	0.03	0.04	–	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01
U	0.02	–	–	0.02	–	0.02	–	–

Амфибол

Амфиболы – группа темноцветных минералов. В шлифе окрашен в зеленый или коричневый цвет, имеет высокий рельеф и спайность, пересекающуюся под углами около 60 и 120 градусов. Характеризуется сильным двупреломлением и яркими цветами интерференции. Присутствует в образце №6. Размеры зерен до 100 мкм (Рис 24). По химическому составу этот амфибол относится к кальциевым амфиболам (Na_{0.61} K_{0.28})_{0.88} (Ca_{1.87} Na_{0.13})_{2.00} (Fe²⁺_{2.32} Mg_{2.08} Ti_{0.46} Mn_{0.08} Al_{0.07})_{5.00} (Si_{6.46} Al_{1.54} O₂₂) (OH)₂. Формульные коэффициенты были рассчитаны на 13 катионов (по части катиона) (Таблица 10).

Таблица 10

Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты амфибола

Компонент	Номер образца	
	б	
SiO ₂	42.88	42.13
TiO ₂	4.05	4.67
Al ₂ O ₃	9.06	9.95
FeO	18.39	18.25
MgO	9.26	8.52
MnO	11.56	11.23
CaO	0.64	0.65
Na ₂ O	2.54	2.58
K ₂ O	1.44	1.5
Nb ₂ O ₅	н.о.0	0.38
Cl	0.18	0.14
Формульные коэффициенты		
Si	6.50	6.42
Ti	0.46	0.54
Al	1.62	1.79
Fe ³⁺	0.26	0.01
Fe ²⁺	2.07	2.31
Mg	2.09	1.93
Ca	1.48	1.45
Mn	0.10	0.11
Na	0.75	0.76
K	0.28	0.29
Nb	–	0.03
Cl	0.05	0.04
ОН	0,95	0,96

Бадделлит

Присутствует во всех образцах в виде изометричных и неправильной формы зерен размером до 60 мкм. Расчет формул проводился на 4 заряда (Таблица 11). Отмечается примесь титана, железа и гафния: (Zr_{0.97} Fe_{0.02} Hf_{0.01})_{1.00} O₂.

Таблица 11

Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты бадделлита

Компонент	Номер образца					
	4		5		6	7
TiO ₂	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	1.03	н.о.
ZrO ₂	98.96	97.19	96.5	98.74	96.96	97.69
Fe ₂ O ₃	н.о.	н.о.	1.61	н.о.	1.03	н.о.
HfO ₂	1.04	2.81	1.89	1.26	0.98	3.2
Σ	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Формульные коэффициенты						
Ti	–	–	–	–	0.01	–
Zr	0.99	0.98	0.97	0.99	0.97	0.98
Fe	–	–	0.02	–	0.01	–
Hf	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02

Сульфиды и арсениды

В данных образцах встречается несколько минералов сульфидов и арсенидов: лёллингит: $(\text{Fe}_{0.64}\text{Co}_{0.37})_{1.01}(\text{As}_{1.81}\text{S}_{0.19})_2$ (образец 4), пирротин: $(\text{Fe}^{2+}_{0.68}\text{Fe}^{3+}_{0.21})_{0.89}\text{S}_1$ (образцы 4, 5, 7), кобальтин: $(\text{Co}_{0.90}\text{Fe}^{2+}_{0.07}\text{Zn}_{0.04})_{1.01}(\text{As}_{1.03}\text{S}_{0.97})_2$, пирит: $\text{Fe}_{1.02}(\text{S}_2)$, сфалерит: $(\text{Zn}_{0.82}\text{Fe}_{0.16}\text{Cu}_{0.02})_{1.00}\text{S}_1$ и халькопирит: $(\text{Fe}^{2+}_{1.06}\text{Cu}_{1.03})_{2.09}\text{S}_2$ (образец 6). Образуют изометричные зерна размерами до 30 мкм – пирротин, 100 мкм – лёллингит, до 20 мкм – кобальтит, сфалерит, халькопирит (Таблица 12).

Таблица 12

Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты сульфидов и арсенидов

Компонент	Номер образца								
	4		5		6				7
Fe	17.89	60.89	60.49	60.66	2.22	46.99	9.50	31.41	61.25
Co	10.82	н.о.	н.о.	н.о.	33.43	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Ni	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.92	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Cu	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	1.02	34.61	н.о.
Zn	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	55.95	н.о.	н.о.
S	3.13	39.11	39.51	39.34	18.26	53.01	33.53	33.98	39.1
As	68.15	н.о.	н.о.	н.о.	45.17	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.35
	Формульные коэффициенты								
Fe	0.64	0.90	0.89	0.90	0.07	1.02	0.16	1.06	0.91
Co	0.37	–	–	–	0.90	–	–	–	–
Ni	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cu	–	–	–	–	–	–	0.02	1.03	–
Zn	–	–	–	–	0.04	–	0.82	–	–
S	0.19	1.00	1.00	1.00	0.97	2.00	1.00	2.00	1.00
As	1.81	–	–	–	1.03	–	–	–	–

Моноцит

Присутствует в образце №6, заполняет трещину в зерне апатита. Корректный расчет формульных коэффициентов получить не удалось. По соотношению атомных количеств ионов можно отнести к моноциту (Таблица 13).

Таблица 13
Химический состав (масс%) моноцита

Компонент	Номер образца
	б
P ₂ O ₅	27.52
SiO ₂	2.31
FeO	2.14
CaO	2.19
La ₂ O ₃	24.54
Ce ₂ O ₃	31.37
Nd ₂ O ₃	9.38
Sm ₂ O ₃	0.56
Σ	100.01

Кварц

Кварц присутствует в образце №4. Определен только знергодисперсионным анализом, в шлифах не наблюдался. Химически чистый, без примесей.

Кальцит

Присутствует в образцах №5 и 6. Кристаллы неправильной угловатой формы, а также изометричные зерна размером до 20 мкм.

5.1.2. Лабрадориты

Образец №S1

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 25). Основную массу составляет плагиоклаз (около 95%). Он представлен крупными (до 3 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. В скрещенных николях отчетливо видны полисинтетические двойники. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата. Среди второстепенных минералов выделяются ксеноморфные кристаллы пироксена (2-3%), листовидные кристаллы биотита (1-2%), непрозрачные минералы – магнетит, ильменит (1-3%). Встречаются сростки магнетита с пироксеном. Биотит часто образует каймы вокруг магнетита.

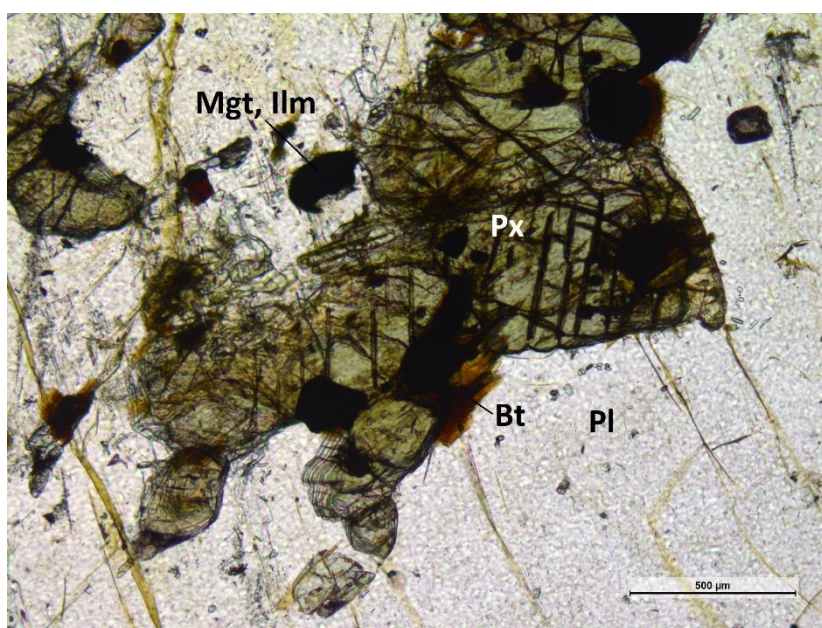


Рис 25 Зерна пироксена, магнетита и ильменита, листовидные кристаллы биотита, фото в параллельных николях, образец № S1

Образец № S2

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 26). Основную массу составляет плагиоклаз (около 95%). Он представлен крупными (до 3 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. В скрещенных николях отчетливо видны полисинтетические двойники. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата. Среди второстепенных минералов выделяются ксеноморфные кристаллы пироксена (2-3%), непрозрачные минералы – магнетит, ильменит (1-2%). Встречаются закономерные сростки магнетита с пироксеном и плагиоклазом. Порода была подвергнута хлоритизации.

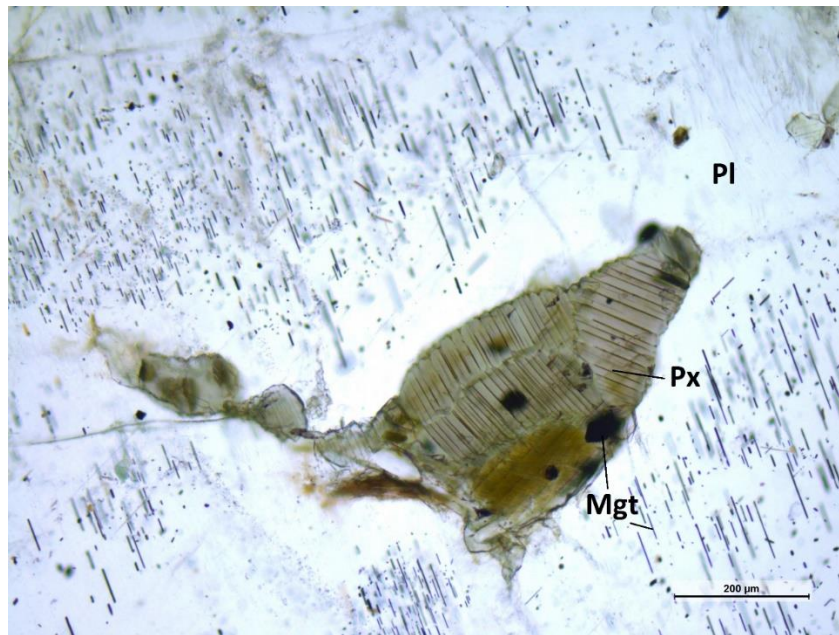


Рис 26 Сростки плагиоклаза и магнетита, включения магнетита в пироксен, фото в параллельных николях, образец №S2

Образец № 1

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 27). Основную массу составляет плагиоклаз (около 90%). Он представлен крупными (до 1,5 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. В скрещенных николях отчетливо видны полисинтетические двойники. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата и часто образуют вытянутые цепочки. Среди второстепенных минералов выделяются ксеноморфные кристаллы пироксена (7-8%), непрозрачные минералы – магнетит, ильменит (2-3%).

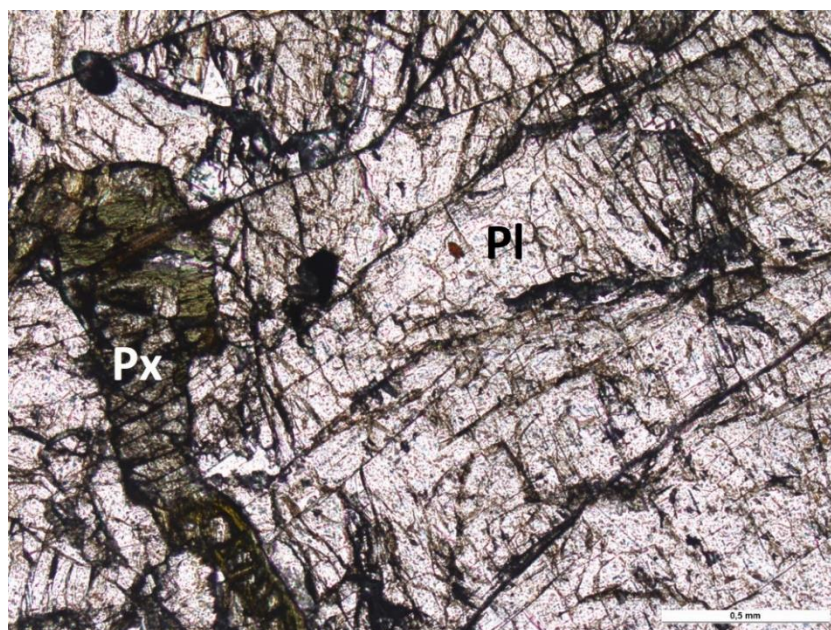


Рис 27 Кристалл пироксена в межзерновом пространстве кристаллов плагиоклаза, фото в параллельных николях, образец № 1

Образец №1/30

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 28). Основную массу составляет плагиоклаз (около 95%). Он представлен крупными (до 1,5 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. В скрещенных николях отчетливо видны полисинтетические двойники. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата. Среди второстепенных минералов выделяются ксеноморфные кристаллы пироксена (3-4%), непрозрачные минералы – магнетит, ильменит (1-2%).

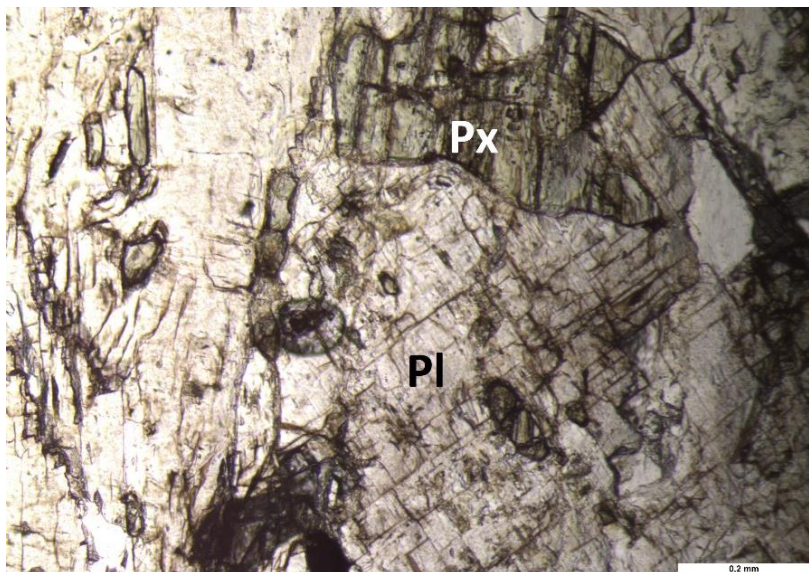


Рис 28 Зерна пироксена, фото в параллельных николях, образец №1/30

Образец №2

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 29). Основную массу составляет плагиоклаз (около 95%). Он представлен крупными (до 1,5 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. В скрещенных николях отчетливо видны полисинтетические двойники. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата. Среди второстепенных минералов выделяются ксеноморфные кристаллы амфибола (2-3%) и пироксена (2-3%), непрозрачные минералы – магнетит, ильменит (1-2%). В кристаллах амфибола отмечается зональность. Также в образце №2 можно наблюдать структуры распада твердого раствора оливина – каплевидные включения магнетита в пироксене, которые также называются симплектиты.

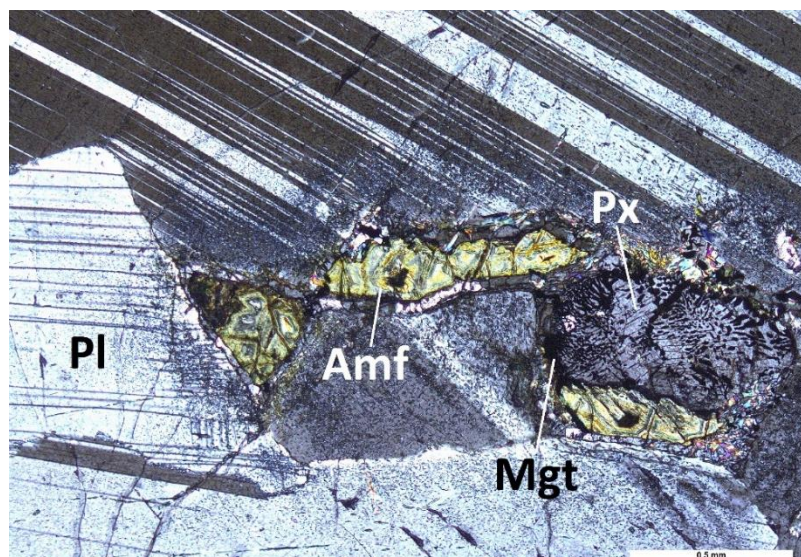


Рис 29 Зональное зерно амфибола, симплектиты магнетита в пироксене, фото в скрещенных николях, образец №2

Образец №3/19

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 30). Основную массу составляет плагиоклаз (около 80%). Он представлен крупными (до 1,5 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. В скрещенных николях отчетливо видны полисинтетические двойники. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата, они образуют вытянутые цепочки кристаллов. Среди второстепенных минералов выделяются крупные таблитчатые кристаллы пироксена (15-17%), непрозрачный минерал ильменит (2-4%) и листовидные кристаллы биотита, часто образующие каймы вокруг кристаллов пироксена и магнетита.

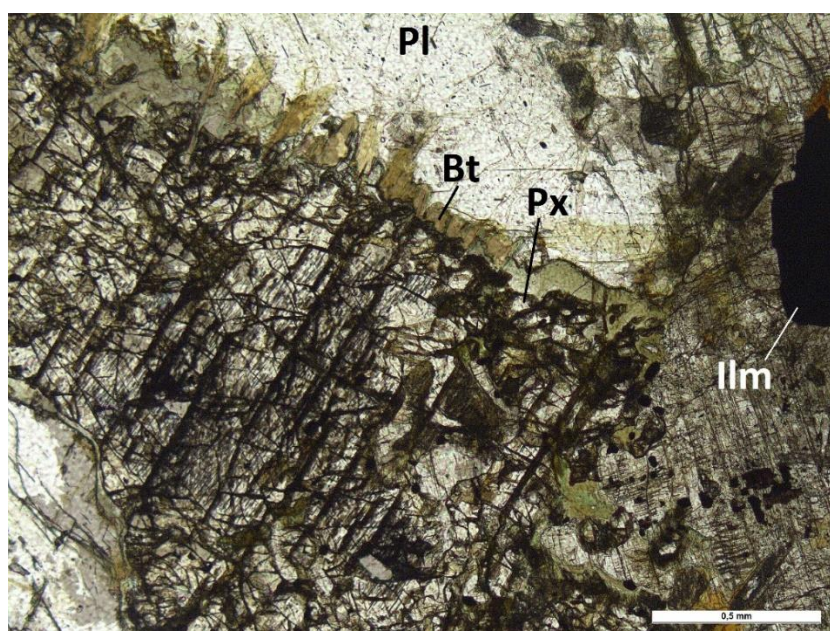


Рис 30 Призматические кристаллы пироксена с каймой биотита и включениями ильменита, фото в параллельных николях, образец №3/19

Образец №8

Порода характеризуется массивной текстурой, полнокристаллической неравномерно-зернистой гипидеоморфозернистой структурой (Рис 31). Основную массу составляет плагиоклаз (около 95%). Он представлен крупными (до 1,5 см) таблитчатыми кристаллами с неровными краями. В скрещенных николях отчетливо видны полисинтетические двойники. Второстепенные минералы расположены в межзерновом пространстве кристаллов полевого шпата. Среди второстепенных минералов выделяются таблитчатые кристаллы пироксена (2-3%) и амфибола (1-2%), магнетит, образующий закономерные игольчатые включения в плагиоклазе (1-2%), что определяет более темные тона породы.

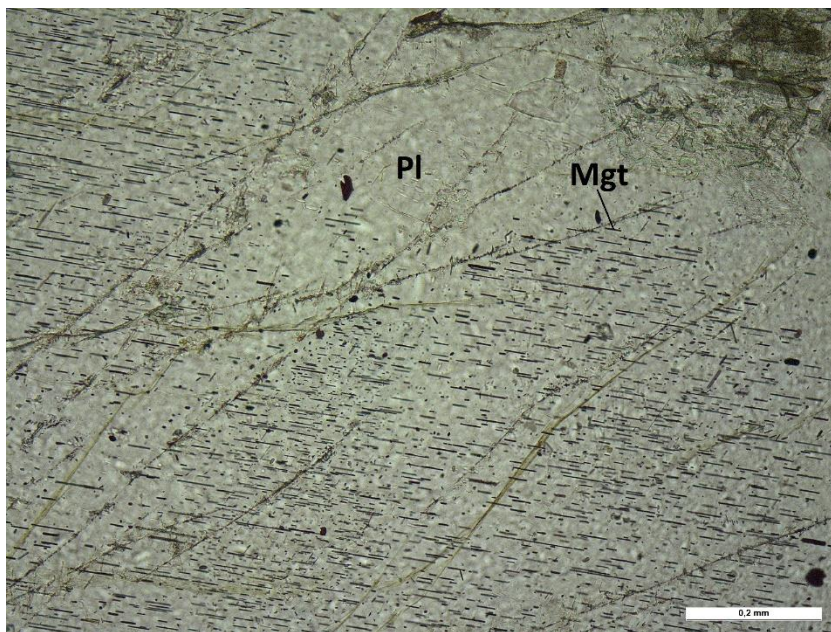


Рис 31 Закономерные включения магнетита в плагиоклазе, фото в параллельных николях, образец №8

Породообразующие минералы

Плагиоклаз

Главный породообразующий минерал образцов лабрадоритов - плагиоклаз. Он составляет основную массу породы. В проходящем свете минерал прозрачный, бесцветный. обладает хорошей спайностью, низким рельефом и слабой шагренью. Он относится к IV группе Лодочникова. Одной из его характеристик является наличие полисинтетических двойников (Рис 32). В скрещенных Николях лабрадор обладает слабыми цветами интерференции (серый, иногда желтый). Кристаллы плагиоклаза в шлифах имеют размер от 0.5 до 10 мм. Формулы минерала были рассчитаны на 16 зарядов (Таблица 14). По результатам химических анализов, была построена диаграмма составов плагиоклазов (Рис 33).

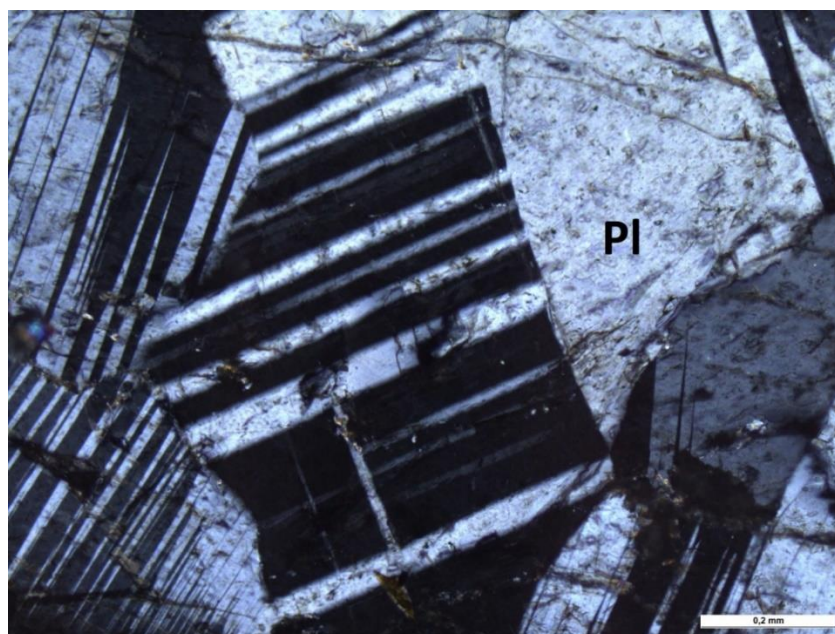


Рис 32 Двойники плагиоклаза, фото в скрещенных николях, образец №3/19

Таблица 14

Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты плагиоклаза

КомпONENT	Номер образца											
	S1			S2			1			1-30		
SiO ₂	51.38	55.04	64.97	51.36	56.77	64.46	56.25	55.82	66.22	55.78	56.09	65.16
Al ₂ O ₃	31.04	28.28	18.45	30.73	27.46	18.92	27.71	28.02	18.20	28.08	27.84	18.81
CaO	14.16	11.45	н.о.	14.48	10.10	н.о.	10.68	10.50	н.о.	10.91	10.60	н.о.
Na ₂ O	3.27	4.7	0.83	3.3	5.45	0.72	5.37	5.29	0.74	4.83	5.09	0.71
K ₂ O	0.15	0.53	15.75	0.13	0.23	15.74	0.00	0.38	14.84	0.41	0.38	15.32
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Формульные коэффициенты											
Si	2.33	2.48	3.00	2.34	2.55	2.99	2.53	2.51	3.03	2.51	2.52	2.99
Al	1.66	1.50	1.00	1.65	1.45	1.00	1.47	1.49	0.98	1.49	1.48	1.02
Ca	0.70	0.55	–	0.71	0.49	–	0.51	0.51	–	0.53	0.51	–
Na	0.29	0.41	0.07	0.29	0.47	0.06	0.47	0.46	0.07	0.42	0.44	0.06
K	0.01	0.03	0.93	0.01	0.01	0.91	–	0.02	0.87	0.02	0.02	0.9

Компонент	Номер образца								
	2			3/19			8		
SiO ₂	55.42	55.46	56.15	56.84	55.83	56.36	56.02	59.70	65.24
Al ₂ O ₃	28.19	28.15	27.97	27.20	28.01	27.82	27.90	25.05	18.69
CaO	11.17	11.33	11.16	10.77	11.15	10.80	11.18	8.24	н.о.
Na ₂ O	4.72	4.65	4.72	5.19	5.02	5.02	4.90	6.61	1.79
K ₂ O	0.50	0.39	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.40	14.27
Σ	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99
	Формульные коэффициенты								
Si	2.50	2.50	2.52	2.55	2.51	2.53	2.52	2.67	2.99
Al	1.50	1.49	1.48	1.44	1.48	1.47	1.48	1.32	1.01
Ca	0.54	0.55	0.54	0.52	0.54	0.52	0.54	0.39	–
Na	0.41	0.41	0.41	0.45	0.44	0.44	0.43	0.57	0.16
K	0.03	0.02	–	–	–	–	0.00	0.02	0.84

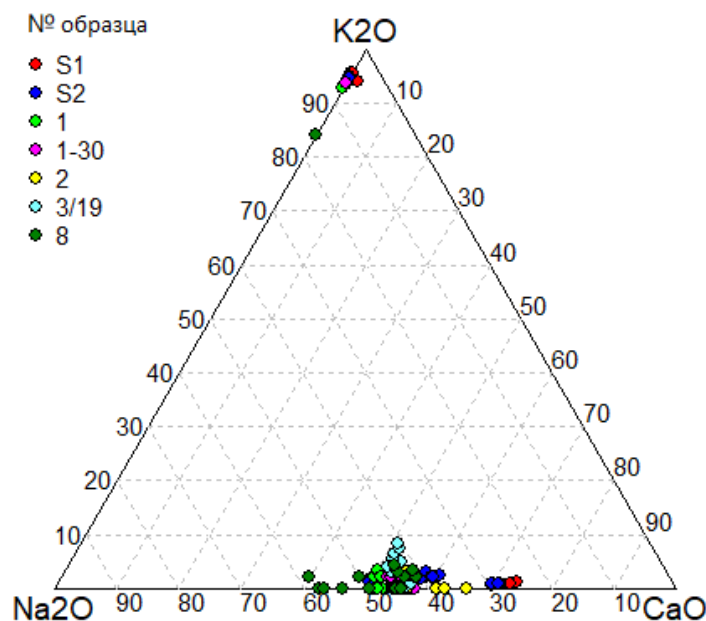


Рис 33 Диаграмма составов плагиоклазов в образцах лабрадоритов

По данной диаграмме большая часть плагиоклаза относится к лабрадору, подчиненное число - андезит и битовнит. Выделяется небольшое количество включений калиевых полевых шпатов (Рис 34).

В некоторых образцах в качестве примеси в плагиоклазах присутствует железо (до 3.12 масс% в образцах №S2, 1/30, 2) вероятно за счет игольчатых включений магнетита (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**), магний (до 0.79 масс% в образце № 2), марганец (до 0.85 масс% в образце №2) и барий (до 1,05 масс% в образце S2).

Второстепенные минералы

Пироксен

В качестве второстепенного минерала в лабрадоритах присутствует пироксен. В проходящем свете минерал либо бесцветен (чистый диопсид, клиноэнстатит), либо окрашен в коричневые цвета (авгит), иногда характерен плеохроизм. Минерал имеет ярко выраженную спайность по двум направлениям, пересекающихся под углом 90 градусов. Так же для него характерны заметный рельеф и яркие цвета интерференции (до синих), погасание под небольшим углом. Минерал относится к VI группе Лодочникова. Кристаллы таблитчатые, размером от 0.2 до 3 мм. Пироксен представлен авгитом – ряд диопсид-геденбергит: $(Ca_{0.90}Mg_{0.08})_{0.98}(Fe^{2+}_{0.50}Mg_{0.46}Al_{0.04})_{1.00}((Si_{1.99}Al_{0.01})_{2.00}O_6)$ (образцы S1, S2, 1, 1/30, 8), минералами ряда клиноэнстатит-клиноферросилит: $(Mg_{0.82}Ca_{0.09}Fe_{0.05}Mn_{0.03})_{0.99}(Fe^{2+}_{0.97}Al_{0.03})_{1.00}(Si_{2.00}O_6)$ (образцы S1, 2, 3/19) и кушироитом: $Ca_{0.98}(Al_{0.68}Fe^{2+}_{0.25})_{0.93}((Si_{1.49}Al_{0.50}Ti_{0.01})_{2.00}O_6)$ (образец S2). Расчет коэффициентов проводился на 12 зарядов (Таблица 15). Интересные структуры наблюдаются в образце №S1: присутствуют закономерные включения диопсида в зерне ферросилита и включения ферросилита в диопсиде (Рис 34).

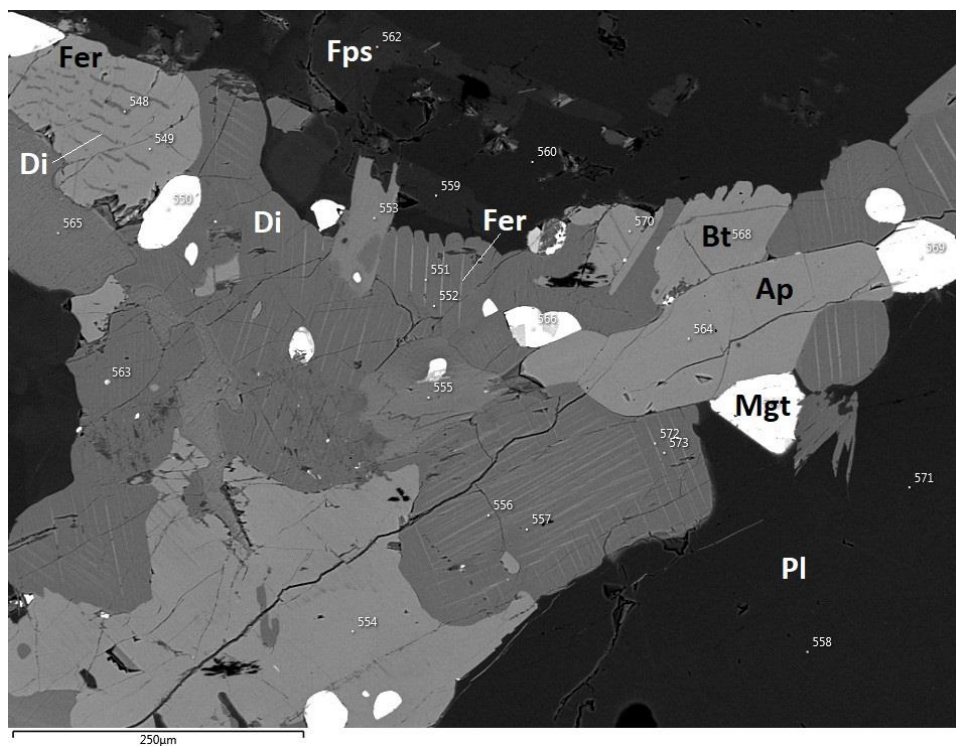


Рис 34 Включения диопсида в ферросилит и ферросилита в диопсид, кристаллы биотита, апатита и магнетита, включения калиевого полевого шпата, образец №S1

Таблица 15
Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты пироксена

Компонент	Номер образца					
	S1		S2		1	
SiO ₂	51.27	53.14	52.14	40.10	54.08	53.65
TiO ₂	н.о.	н.о.	н.о.	0.24	н.о.	н.о.
Al ₂ O ₃	0.64	1.45	0.66	27.02	2.19	2.30
FeO	31.36	13.11	15.86	7.95	8.42	8.98
MgO	14.20	11.87	8.91	н.о.	13.71	13.24
MnO	0.84	н.о.	0.35	н.о.	н.о.	н.о.
CaO	2.27	22.22	22.36	24.73	21.01	21.83
Na ₂ O	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.59	н.о.
Σ	100.58	101.79	100.28	100.04	100.00	100.00
	Формульные коэффициенты					
Si	2.00	1.98	1.99	1.49	2.00	1.99
Ti	–	–	–	0.01	–	–
Al	0.03	0.06	0.03	1.18	0.10	0.10
Fe	1.02	0.41	0.52	0.25	0.26	0.28
Mg	0.82	0.66	0.52	–	0.75	0.73
Mn	0.03	–	0.01	–	–	–
Ca	0.09	0.89	0.93	0.98	0.83	0.87
Na	–	–	–	–	0.04	–

Компонент	Номер образца						
	1-30		2		3/19		8
SiO ₂	52.21	52.88	53.81	53.69	53.72	54.72	52.08
TiO ₂	0.79	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.82
Al ₂ O ₃	4.07	3.99	3.62	3.80	4.69	4.13	1.73
FeO	9.86	10.00	16.49	16.89	18.52	17.51	19.85
MgO	11.60	11.23	25.21	24.79	23.55	23.52	8.02
CaO	21.47	21.90	0.87	0.83	0.00	0.00	17.50
Σ	100.00	100.00	100.00	100.00	100.48	99.88	100.00
	Формульные коэффициенты						
Si	1.94	1.97	1.94	1.94	1.95	1.97	2.01
Ti	0.02	–	–	–	–	–	0.02
Al	0.18	0.17	0.15	0.16	0.20	0.18	0.08
Fe	0.31	0.31	0.50	0.51	0.55	0.53	0.64
Mg	0.64	0.62	1.36	1.34	1.25	1.26	0.46
Ca	0.86	0.87	0.03	0.03	–	–	0.72

Биотит

Биотит – это название серии темноцветных минералов группы слюд изоморфного ряда флогопит-аннит. Встречается в образцах №S1 и 8. В проходящем свете биотит окрашен в коричневые, красно-коричневые цвета и характеризуется заметным плеохроизмом от светлых до насыщенных оттенков. Минерал относится к IV группе Лодочникова. Форма кристаллов листовидная, пластинчатая. Часто окаймляет зерна пироксена и магнетита (Рис 30Рис 34). Под анализатором имеет высокие цвета интерференции (до синих), прямое «ситевидное» погасание. Кристаллы биотита имеют размер до 1 мм. В Таблица 16 приведен химический состав биотита в образцах лабрадоритов. Корректный расчет формульных коэффициентов получить не удалось. По соотношению атомных количеств ионов можно отнести эти слюды к флогопитам. Отмечается наличие хлора в образце S1. Также в образце встречается биотит зеленого цвета, что связано со вторичными процессами хлоритизации.

Таблица 16
Химический состав (масс.%) биотита

Компонент	Номер образца			
	S1		8	
SiO ₂	36.13	37.62	42.29	41.39
TiO ₂	4.64	4.86	2.83	2.75
Al ₂ O ₃	13.33	12.88	14.96	14.48
Fe ₂ O ₃	20.60	19.60	12.87	12.54
MgO	9.98	11.19	17.23	17.76
K ₂ O	9.27	9.38	8.45	8.50
Cl	н.о.	0.10	н.о.	н.о.
Σ	93.95	95.63	98.63	97.42

Ильменит магнетит

Ильменит и магнетит являются непрозрачными минералами. поэтому их изучение проводится в отраженном свете. Расчет формульных коэффициентов ильменита проводился на 6 зарядов (Таблица 18), магнетита – на 3 катиона с последующим расчетом двух и трехвалентного железа (Таблица 17). В магнетите образцов №S1 и 1 присутствует изоморфная примесь ванадия, в образце S1 - хрома. В ильмените присутствует примесь магнезия и марганца.

Таблица 17
Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты магнетита

Компонент	Номер образца								
	S1		S2	1		1-30	2		8
TiO ₂	0.60	0.38	5.28	н.о.	4.09	н.о.	1.49	н.о.	16.18
FeO	98.14	98.30	94.72	99.10	95.91	100.00	96.83	97.95	82.66
MgO	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	1.68	2.05	1.16
V ₂ O ₅	1.21	1.07	н.о.	0.90	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
Cr ₂ O ₃	н.о.	0.24	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
	99.95	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Формульные коэффициенты								
Ti	0.02	0.01	0.14	–	0.11	–	0.04	–	0.44
Fe ³⁺	2.00	1.99	1.71	1.94	1.78	2.00	1.92	2.00	1.12
Fe ²⁺	0.93	0.92	1.14	1.04	1.11	1.00	0.95	0.89	1.38
Mg	–	–	–	–	–	–	0.09	0.22	0.06
V	0.03	0.03	–	0.2	–	–	–	–	–
Cr	–	0.01	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 18
Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты ильменита

Компонент	Номер образца								
	S1		S2		1-30	2		3/19	
TiO ₂	52.71	52.74	52.11	52.13	52.02	53.57	54.74	54.56	53.62
FeO	46.42	45.95	46.83	46.88	44.96	42.48	42.80	42.98	43.92
MgO	н.о.	0.23	н.о.	н.о.	н.о.	2.75	2.46	2.46	2.46
MnO	0.86	1.09	1.06	0.98	3.02	1.20	н.о.	н.о.	н.о.
Σ	99.99	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Формульные коэффициенты								
Ti	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.01	1.01	1.00
Fe	0.98	0.97	0.99	0.99	0.95	0.88	0.88	0.89	0.91
Mg	–	0.01	–	–	–	0.10	0.09	0.09	0.09
Mn	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02	–	–	–

В образцах S2, 2, 1-30, 8 магнетит присутствует в виде микровключений игольчатой и изометричной формы в полевой шпат (Рис 35), в образцах S1 и S2 – в пироксене (Рис 35). Такие структуры определяет более темные тона породы.

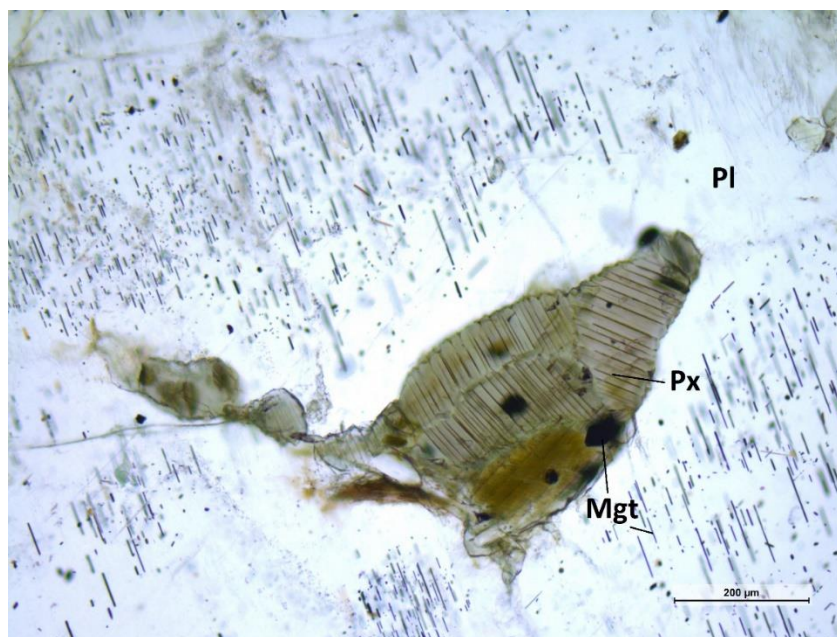


Рис 35 Включения магнетита в плагиоклаз и пироксен, образец №S2.

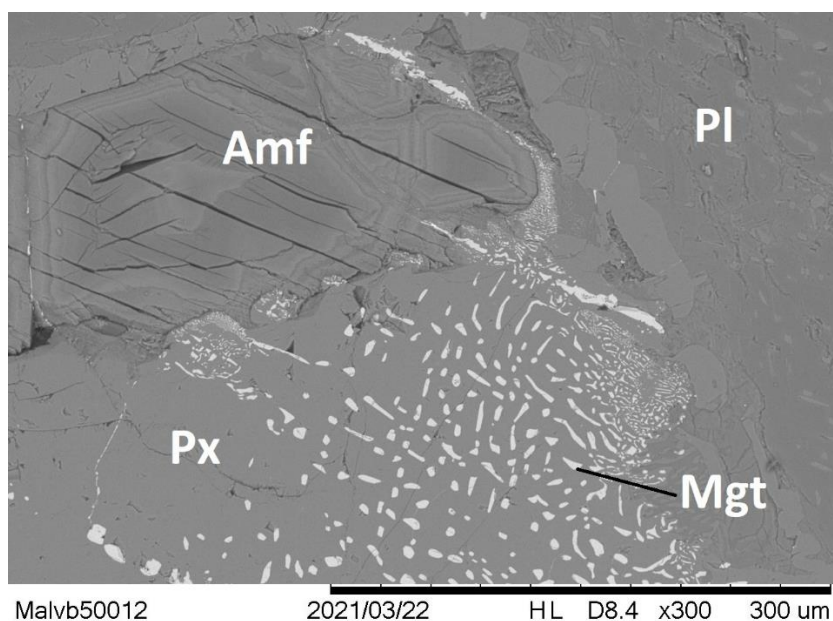


Рис 36 Структура распада твердого раствора оливина - включения магнетита в пироксене, изображение в обратно рассеянных электронах, образец №2

Амфибол

Амфиболы – группа темноцветных минералов. В шлифе окрашен в зеленый или коричневый цвет, имеет высокий рельеф и спайность, пересекающуюся под углами около 60 и 120 градусов. Характеризуется сильным двупреломлением и яркими цветами интерференции. Присутствует в образцах №2 и 8. Размеры кристаллов до 1,5 мм. Примечательна зональность кристаллов в образце 2, что хорошо видно на Рис 37. По химическому составу, амфибол относится к железистым $\text{Ca}_{0.34}\text{Fe}^{2+}_{2.00}(\text{Mg}_{3.36}\text{Fe}^{3+}_{0.63}\text{Al}_{0.6}\text{Fe}^{2+}_{0.19})_{5.00}(\text{Al}_{1.93}\text{Si}_{6.07}\text{O}_{22})(\text{OH})_2$ (образец №2), и кальциевым: $(\text{K}_{0.19}\text{Na}_{0.01})(\text{Ca}_{1.58}\text{Na}_{0.42})_{2.00}(\text{Fe}^{2+}_{1.99}\text{Mg}_{1.89}\text{Fe}^{3+}_{0.57}\text{Al}_{0.55})_{5.00}(\text{Al}_{0.89}\text{Si}_{7.11}\text{O}_{22})(\text{OH})_2$. Формульные коэффициенты были рассчитаны на 13 катионов (по части катиона) (Таблица 19).

Таблица 19

Химический состав (масс.%) и формульные коэффициенты амфиболов

Компонент	Номер образца			
	2		8	
SiO ₂	42.43	42.30	48.86	41.47
TiO ₂	н.о.	н.о.	н.о.	1.45
Al ₂ O ₃	15.05	14.82	8.35	8.47
FeO	23.60	23.62	21.03	28.34
MgO	16.70	16.52	8.73	4.70
CaO	2.22	2.74	10.12	11.77
Na ₂ O	н.о.	н.о.	1.52	0.76
K ₂ O	н.о.	н.о.	1.00	2.07
Σ	100.00	100.00	99.61	99.03
Формульные коэффициенты				
Si	6.07	6.09	7.11	6.48
Ti	–	–	–	0.17
Al	2.54	2.52	1.43	1.56
Fe	0.63	0.46	0.57	0.56
Fe	2.19	2.39	1.99	3.14
Mg	3.56	3.55	1.89	1.09
Ca	0.34	0.42	1.58	1.97
Na	–	–	0.43	0.23
K	–	–	0.19	0.41

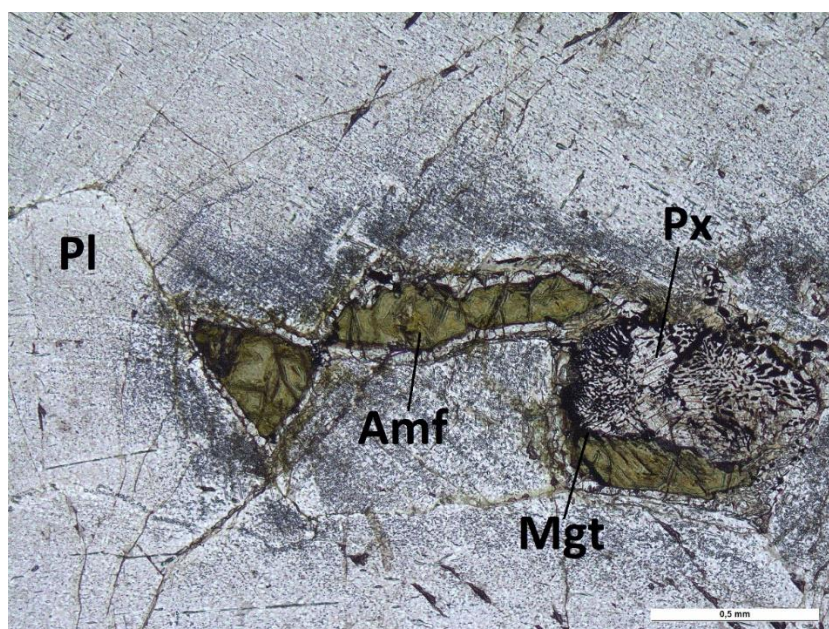


Рис 37 Зональные кристаллы амфиболов, фото в параллельных николях, образец №2

Акцессорные минералы

Апатит

Для апатита характерны вытянутые кристаллы с гексагональным сечением. В шлифе бесцветен, прозрачен и не имеет спайности, встречается в образцах S1 и 8. Размеры кристаллов до 300 мкм. Апатит относится к V группе Лодочникова. имеет высокий рельеф и слабую шагреню. Под анализатором характеризуется серыми цветами интерференции. Химический состав апатитов приведен в Таблица 20, расчет проводился на 25 зарядов. Апатит здесь относится преимущественно к фторапатиту: $\text{Ca}_{5.04}(\text{P}_{2.98}\text{O}_{12})\text{F}_{1.09}$, но отмечается наличие хлора.

Таблица 20

Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты апатита

Компонент	Номер образца		
	S1	8	
P ₂ O ₅	39,71	43,28	40,35
SiO ₂	0,57	1,10	1,70
CaO	54,85	50,51	55,46
F	3,96	4,82	1,67
Cl	0,16	н.о.	н.о.
	Формульные коэффициенты		
P	2,92	3,10	2,88
Si	0,05	0,09	0,14
Ca	5,10	4,57	5,01
F	1,09	1,29	0,45
Cl	0,03	–	–
OH	–	–	0,55

Бадделеит

Присутствует в образце S1, изометричные зерна размером до 70 мкм, а также тонкие игольчатые кристаллы длиной до 100 мкм. Расчет формул проводился на 4 заряда (Таблица 21). Отмечается примесь титана, железа и гафния: $(\text{Zr}_{0.99}\text{Hf}_{0.01})_{1.00}\text{O}_2$.

Таблица 21

Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты бадделеита

Компонент	Номер образца	
	S1	
ZrO ₂	98.61	90.47
TiO ₂	н.о.	6.55
Fe ₂ O ₃	н.о.	2.11
HfO ₂	1.39	0.87
Σ	100.00	100.00
	Формульные коэффициенты	
Zr	0.99	0.83
Ti	–	0.09
Fe	–	0.03
Hf	0.01	0.01

Титанит

Представлен в образце S2, зерно изометричной формы размером около 80 мкм. В составе присутствует изоморфная примесь алюминия и железа: $\text{Ca}_{1,01}(\text{Ti}_{0,75}\text{Al}_{0,26}\text{Fe}^{3+}_{0,01})_{1,02}\text{Si}_{1,04}\text{O}_5$. Расчет формулы был проведен на 10 зарядов (Таблица 22).

Таблица 22
Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты титанита

Компонент	Номер образца	
	S2	
SiO ₂	32.28	
TiO ₂	31.15	
Al ₂ O ₃	6.84	
FeO	0.58	
CaO	29.35	
Σ	100.20	
Формульные коэффициенты		
Si	1.04	
Ti	0.75	
Al	0.26	
Fe	0.01	
Ca	1.01	

Сульфиды

Сульфиды – непрозрачные минералы, поэтому их изучение может проводиться только в отраженном свете. Сульфиды в образцах лабрадоритов представлены пиритом: Fe_{1,09}(S₂) (образцы 3/19 и 8) и пирротинном: (Fe²⁺_{0,59} Fe³⁺_{0,27})_{0,86}S (образцы S1 и S2). Расчет формул проводился соответственно на 2 и 1 анион (Таблица 23) Минералы образуют изометричные и неправильной формы зерна размерами: пирротин до 150 мкм, пирит- до 200 мкм.

Таблица 23
Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты сульфидов

Компонент	Номер образца			
	S1	S2	3-19	8
Fe	59,89	60,47	48,74	44,34
S	39,75	39,08	51,26	55,66
Σ	99,64	99,55	100,00	100,00
Формульные коэффициенты				
Fe	0,86	0,89	1,09	0,91
S	1,00	1,00	2,00	2,00

Кварц

Кварц в шлифе прозрачен, бесцветен, не имеет рельефа, шагрени и спайности. Под анализатором имеет серые цвета интерференции и волнистое погасание. Зерна неправильной формы размерами до 300 мкм встречаются в образцах S2 и 8 (Рис 38).

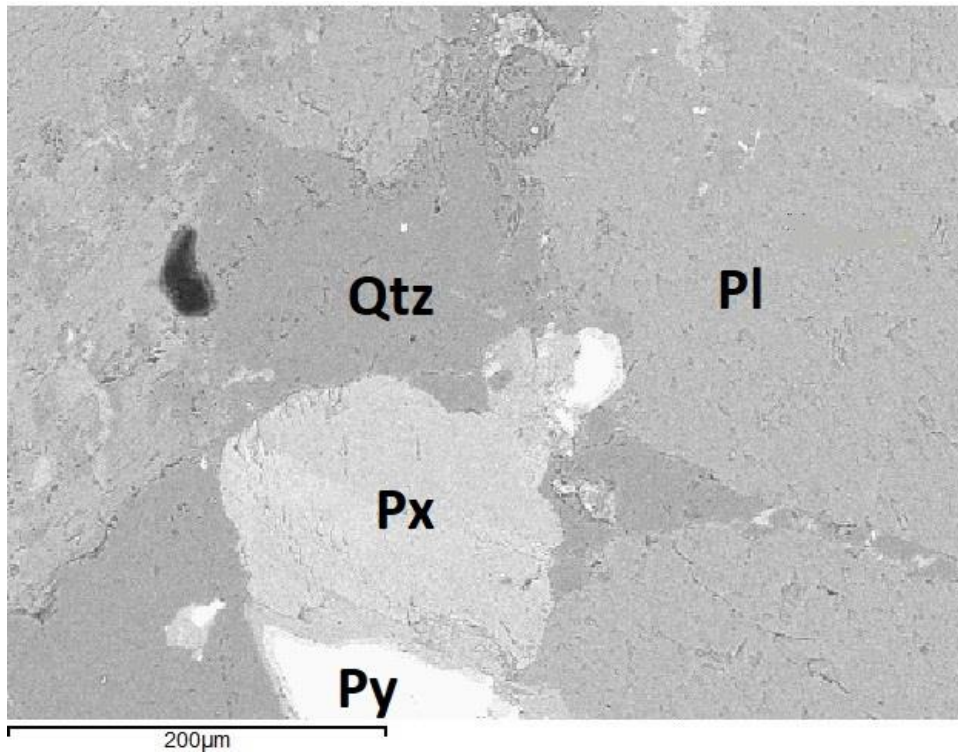


Рис 38 Зерна кварца, изображение в обратно рассеянных электронах, образец №8

Вторичные минералы

Кальцит

Кальцит – бесцветный минерал в шлифе. Он характеризуется высоким рельефом, заметной шагренью и обладает эффектом псевдоадсорбции. Имеет очень сильное двупреломление (перламутровые цвета интерференции). В образцах № 1-30, 3/19 и 8 представлен вторичным минералом (Рис 39), заполняет трещины.

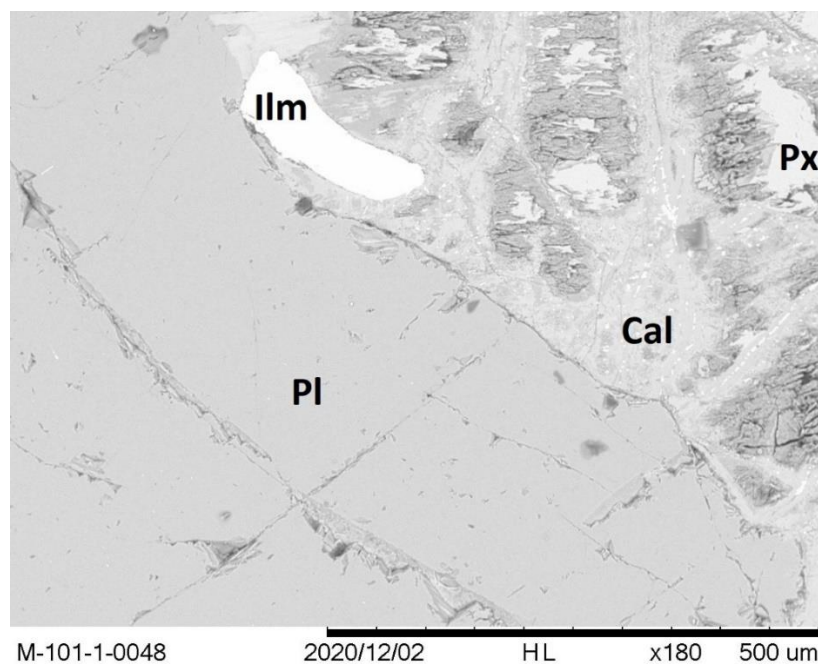


Рис 39 Вторичный кальцит, изображение в обратно рассеянных электронах, образец №3/19

Шамозит

Минерал группы хлорита, вторичный минерал, развивается по магнезиально-железистым силикатам (биотит, авгит). Встречается в образце S2 (Рис 40). В шлифе имеет зеленую окраску как в параллельных, так и в скрещенных николях, также иногда появляются аномальные цвета интерференции (чернильно-синий). Плеохроирует до бесцветного или бледно окрашенного. Относится к IV группе Лодочникова, не имеет рельефа, характерно невысокое двупреломление. Расчет формулы проводился на 28 зарядов: $(\text{Fe}_{2.67} \text{Mg}_{1.71} \text{Al}_{1.39} \text{Ca}_{0.04} \text{Mn}_{0.02})_{5.92} (\text{Al}_{1.22} \text{Si}_{2.78} \text{O}_{10})(\text{OH})_8$ (Таблица 24).

Таблица 24

Химический состав (масс%) и формульные коэффициенты титанита

Компонент	Номер образца	
	S2	
SiO ₂	27.06	27.39
TiO ₂	н.о.	2.47
Al ₂ O ₃	21.54	20.17
FeO	32.18	32.45
MgO	11.18	4.6
MnO	0.24	0.25
CaO	0.32	2.57
Σ	92.52	89.9
Формульные коэффициенты		
Si	2.78	2.92
Ti	–	0.20
Al	2.61	2.54
Fe	2.76	2.90
Mg	1.71	0.73
Mn	0.02	0.02
Ca	0.04	0.29
ОН	8.00	8.00

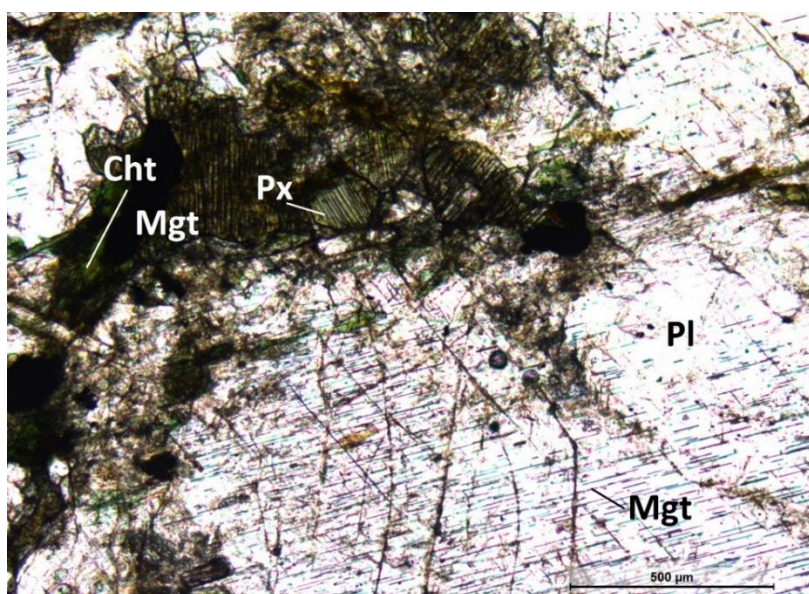


Рис 40 Хлорит, фото в параллельных николях, образец №S2

5.2. Рентгенофазовый анализ

В ходе работы был определен фазовый состав образцов. В Таблица 25 и Таблица 26 представлено сравнение образцов по наличию в них минералов для ларвикитов (Рис 41) и лабрадоритов (Рис 42) соответственно.

Таблица 25
Минералы ларвикитов, определенные при РФА

	Ab	Cpx	Bt	Ilm	Mgt	Ap	Fa	Bad	Amf
7	+	+	+	+	+	+	–	+	+
6	+	+	+	+	+	+	+	+	–
5	+	+	+	+	+	+	+	+	–
4	+	+	+	+	+	+	+	+	–

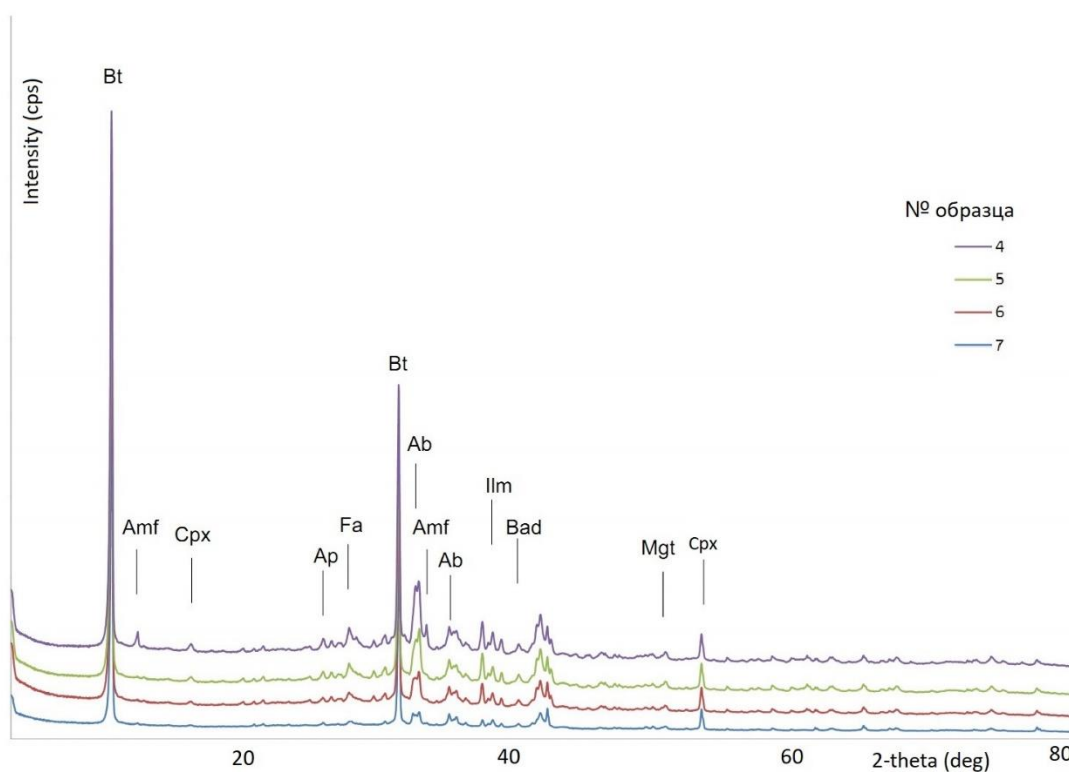


Рис 41 Рентгенограммы образцов ларвикитов

Таблица 26
Минералы лабрадоритов, определенные при РФА

	Pl	Px	Amf	Bt	Ilm	Mgt	Ap
S1	+	+	–	+	+	+	+
S2	+	+	–	+	+	+	+
3/19	+	+	–	–	+	+	–
1-30	+	+	–	+	+	+	–
2	+	+	+	–	+	+	–
1	+	+	–	+	+	–	+
8	+	+	–	+	+	–	+

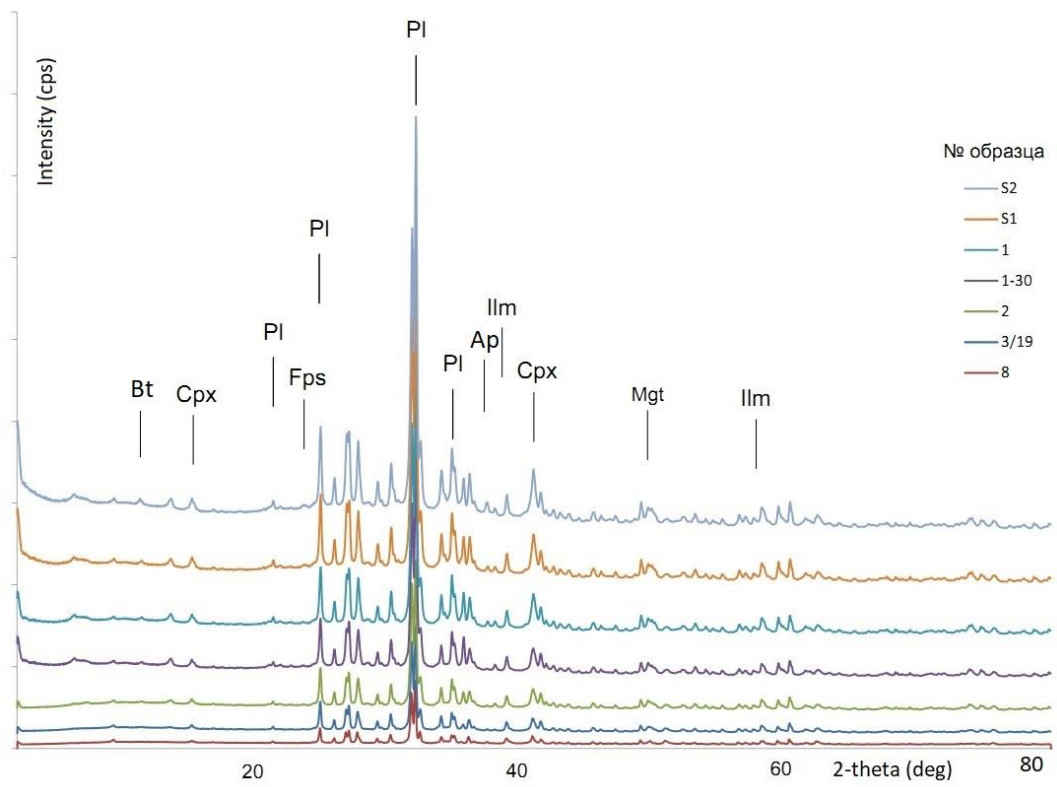


Рис 42 Рентгенограммы образцов лабрадоритов

6. Результаты исследования

6.1. Ларвикиты

Различными методами в образцах ларвикитов было определено 20 минеральных видов. Породообразующий – калиево-натриевые полевые шпаты; второстепенные: диопсид, жадеит, биотит, магнетит, ильменит, оливин; акцессорные: апатит, амфибол, цирконолит, бадделеит, пирит, пирротин, кобальтин, лёллингит, сфалерит, халькопирит, моноцит, кварц, кальцит. Образцы отличаются набором второстепенных и акцессорных минералов. В следующих таблицах №27 – 30 приведены минералы, присутствующие в образцах, их идеальные формулы (В.Г. Кривовичев, 2008) и методы исследования, в которых было подтверждено их присутствие.

Таблица 27
Минеральный состав образца № 4

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Калиево-натровые полевые шпаты	$(K,Na)(AlSi_3O_8)$	+	+	+
Диопсид	$CaMg(Si_2O_6)$	+	+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	+	+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+	+
Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$	+	+	+
Оливин	$(Mg, Fe, Mn)_2(SiO_4)$	+	–	+
Цирконолит	$CaZrTi_2O_7$	+	–	+
Бадделеит	ZrO_2	+	+	–
Пирротин	$Fe_{1-x}S$	+	–	+
Лёллингит	$FeAs_2$	+	–	–
Кварц	SiO_2	+	–	–

Таблица 28
Минеральный состав образца №5

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Калиево-натровые полевые шпаты	$(K,Na)(AlSi_3O_8)$	+	+	+
Жадеит	$NaAl(Si_2O_6)$	+	+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	+	+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+	+
Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$	+	+	+
Оливин	$(Mg, Fe, Mn)_2(SiO_4)$	+	+	+
Цирконолит	$CaZrTi_2O_7$	+	–	–
Бадделеит	ZrO_2	+	+	–
Пирротин	$Fe_{1-x}S$	+	–	+
Кальцит	$Ca(CO_3)$	+	–	–

Таблица 29
Минеральный состав образца №6

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Калиево-натровые полевые шпаты	$(K,Na)(AlSi_3O_8)$	+	+	+
Диопсид	$CaMg(Si_2O_6)$	+	+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	+	+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+	+
Акимотоит	$MgSiO_3$	+	–	–
Амфибол		+	–	–
Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$	+	+	+
Оливин	$(Mg,Fe,Mn)_2(SiO_4)$	+	+	+
Цирконолит	$CaZrTi_2O_7$	+	+	+
Бадделеит	ZrO_2	+	+	–
Пирит	$Fe(S_2)$	+	–	+
Кобальтин	$Co(AsS)$	+	–	+
Сфалерит	ZnS	+	–	–
Кальцит	$Ca(CO_3)$	+	–	–

Таблица 30
Минеральный состав образца №7

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Калиево-натровые полевые шпаты	$(K,Na)(AlSi_3O_8)$	+	+	+
Диопсид	$CaMg(Si_2O_6)$		+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	+	+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+	+
Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$	+	+	+
Оливин	$(Mg,Fe,Mn)_2(SiO_4)$	+	+	+
Цирконолит	$CaZrTi_2O_7$	+	–	–
Бадделеит	ZrO_2	+	+	–
Пирротин	$Fe_{1-x}S$	+	–	–

6.2. Лабрадориты

Различными методами в образцах лабрадоритов было определено 18 минеральных видов. Породообразующий – плагиоклаз; второстепенные: диопсид, пижонит, кушироит, биотит, магнетит, ильменит, амфибол; аксессуарные: апатит, бадделеит, титанит, пирит, пирротин, кварц; вторичные: кальцит, шамозит. Образцы отличаются набором второстепенных и аксессуарных минералов. В следующих таблицах

№31 – 12 приведены минералы образцов, их идеальные формулы (Кривовичев, 2008) и методы исследования, в которых было подтверждено их присутствие.

Таблица 31
Минеральный состав образца №S1

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Плагиоклаз	$(Ca,Na)(Al_{1-2}Si_{2-3}O_8)$	+	+	+
Диопсид	$CaMg(Si_2O_6)$	+	+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	+	+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+	+
Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$	+	+	+
Бадделейт	ZrO_2	+	–	–
Пирротин	$Fe_{1-x}S$	+	–	–

Таблица 32
Минеральный состав образца №S2

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Плагиоклаз	$(Ca,Na)(Al_{1-2}Si_{2-3}O_8)$	+	+	+
Диопсид	$CaMg(Si_2O_6)$	+	+	+
Кушироит	$CaAl(AlSiO_6)$	+	+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$		+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+	+
Титанит	$CaTi(SiO_4)O$	+	–	–
Пирротин	$Fe_{1-x}S$	+	–	–
Кварц	SiO_2	+	+	–
Шамозит	$(Fe_5Al)(AlSi_3O_{10})(OH)_8$	+	–	+

Таблица 33
Минеральный состав образца №1

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Плагиоклаз	$(Ca,Na)(Al_{1-2}Si_{2-3}O_8)$	+	+	+
Диопсид	$CaMg(Si_2O_6)$	+	+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	–	+	–

Таблица 34
Минеральный состав образца №1-30

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Плагиоклаз	$(Ca,Na)(Al_{1-2}Si_{2-3}O_8)$	+	+	+
Диопсид	$CaMg(Si_2O_6)$	+	+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	-	+	-
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+	+
Кальцит	$Ca(CO_3)$	+	-	+

Таблица 35
Минеральный состав образца №2

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Плагиоклаз	$(Ca,Na)(Al_{1-2}Si_{2-3}O_8)$	+	+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	-	+	-
Ферросилит	$Fe_2(Si_2O_6)$	+	+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+	+
Амфибол	$(K,Na)_{0-1}(Na,Ca,Fe)_2(Mg,Fe,Al,Cr,Ti)_5(Si,Al,Ti)_8O_{22}(OH)_2$	+	+	+

Таблица 36
Минеральный состав образца №3/19

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Плагиоклаз	$(Ca,Na)(Al_{1-2}Si_{2-3}O_8)$	+	+	+
Ферросилит	$Fe_2(Si_2O_6)$	+	+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	+	-	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+	+
Пирит	$Fe(S_2)$	+	-	+
Кальцит	$Ca(CO_3)$	+	-	-

Таблица 37
Минеральный состав образца №8

Минерал	Формула	EDS	РФА	Петрография
Плагиоклаз	$(Ca,Na)(Al_{1-2}Si_{2-3}O_8)$	+	+	+
Диопсид	$CaMg(Si_2O_6)$	+	+	+
Биотит	$K(Mg, Fe^{2+}, Al, Fe^{3+})_{2-3}(AlSi_3O_{10})(OH)_2$		+	+
Магнетит	$FeFe_2O_4$	+	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$		+	+
Амфибол	$(K,Na)_{0-1}(Na,Ca,Fe)_2(Mg,Fe,Al,Cr,Ti)_5(Si,Al,Ti)_8O_{22}(OH)_2$	+	+	+
Апатит	$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$	+	+	+
Пирит	$Fe(S_2)$	+	+	+
Кварц	SiO_2	+	–	+
Кальцит	$Ca(CO_3)$	+	–	+

Заключение

Иризирующие породы обладают необычными декоративными свойствами, благодаря чему привлекает к себе большое внимание архитекторов и искусствоведов. Они легко поддаются обработке и считаются довольно стойкими: сооружения и изделия из них не подвержены сильному разрушению со временем. Все это способствует широкому применению этих пород в качестве поделочного и декоративного камня. Иризирующие породы можно встретить в архитектурных объектах в городах по всему миру.

В ходе работы было исследовано 4 образца ларвикитов и 7 образцов лабрадоритов. Был уточнен минеральный состав образцов разных торговых марок и определен химический состав второстепенных минералов. Данные, полученные различными методами, хорошо согласуются между собой и соответствуют литературным данным. Главным выводом о минеральном составе образцов является то, что ларвикиты и лабрадориты близки по набору второстепенных минералов и главное их отличие заключается в происхождении породы: щелочной интрузивный магматизм в случае ларвикитов и основной – в случае лабрадоритов и как следствие различные составы полевых шпатов.

В ходе работы был уточнен состав образца из коллекции А.Г. Булаха (№ 1-30). Считалось, что этот образец представлен ларвикитом, но по результатам исследований, оказалось, что главный минерал породы - лабрадор, соответственно и порода называется лабрадорит. Остался открытым вопрос о месторождении этого лабрадорита коричневого оттенка.

Данные, полученные в этой работе, можно использовать для определения материала, который использовался при строительстве архитектурного объекта. При диагностике пород для будущих реставрациях можно будет опираться не только на торговую марку породы, но и на более точные её характеристики, такие как химический и минеральный состав. Также подробное описание пород может помочь в установлении происхождения торговых марок и их приуроченность к конкретным месторождениям.

Список использованной литературы

- Arponen, E., Harma, P., Selonen, O., Luodes, H., & Pokki, J. (2009). *Summary: Anorthosite and spectrolite in the Wiborg rapakivi granite batholith and the lithological control of spectrolite deposits.*
- Duchesne, J. C., Shumlyanskyy, L., & Charlier, B. (2006). The Fedorivka layered intrusion (Korosten Pluton, Ukraine): An example of highly differentiated ferrobasaltic evolution. *Lithos*, 89(3–4), 353–376. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.01.003>
- Haifler, J., Škoda, R., Filip, J., Larsen, A. O., & Rohlíček, J. (2021). Zirconolite from Larvik Plutonic Complex, Norway, its relationship to stefanweissite and nöggerathite, and contribution to the improvement of zirconolite end-member systematics. *American Mineralogist*, 106(8), 1255–1272. <https://doi.org/10.2138/am-2021-7510>
- Heldal, T., Meyer, G. B., & Dahl, R. (2015). Global stone heritage: Larvikite, Norway. *Geological Society Special Publication*, 407(1), 21–34. <https://doi.org/10.1144/SP407.14>
- Petersen, J. S. (1978). Structure of the larvikite-lardalite complex, Oslo-region, Norway, and its evolution. *Geologische Rundschau*, 67(1), 330–342. <https://doi.org/10.1007/BF01803271>
- Profile, S. E. E. (2018). *Natural stone production in the Wiborg rapakivi granite batholith in southeastern Finland Paavo Härmä and Olavi Selonen. May.*
- Survey, G., & Dissertation, A. (2020). *Natural stone exploration in the classic Wiborg rapakivi granite batholith of southeastern Finland – new insights from integration of.*
- Yegorova, T. P., Starostenko, V. I., Kozlenko, V. G., & Yliniemi, J. (2004). Lithosphere structure of the Ukrainian Shield and Pripyat Trough in the region of EUROBRIDGE-97 (Ukraine and Belarus) from gravity modelling. *Tectonophysics*, 381(1–4), 29–59. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2002.06.003>
- А.Г. Булах. (2013). *Голубой перламутр — новый, нет! — старый декоративный камень Петербурга.* 6–11.
- А.М. Кузьмин. (1969). *Природа несовершенства кристаллов.*
- В.Г. Кривовичев. (2008). *Минералогический словарь.*

Интернет-ресурсы

<https://www.ngu.no/emne/larvikitt>

<https://www.citywalls.ru>