

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА	6
1.1 Физико-географический очерк.....	6
1.2 Общая характеристика геологического района.....	9
1.3 История геологического развития района.....	11
1.4 Геологическое строение пегматитового тела Муркианмяки	13
2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	15
3. МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.....	20
3.1 Вмещающие породы.....	20
3.2 Приконтактовая зона пегматитового тела.....	20
3.3 Блоковая зона пегматитового тела.....	21
3.4 Кварцевое ядро	25
3.5 Минеральные ассоциации.....	25
4. МИНЕРАЛОГИЯ ПЕГМАТИТОВОГО ТЕЛА МУРКИАНМЯКИ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД	29
4.1 Вмещающие породы.....	29
4.2 Породообразующие минералы пегматитового тела Муркианмяки	35
4.1 Второстепенные минералы пегматитового тела Муркианмяки	44
4.1 Акцессорные минералы пегматитового тела Муркианмяки.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	54

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Кварц	Qz
Полевой шпат	Fs
Микроклин	Mi
Альбит	Ab
Анортоклаз	An
Олигоклаз	Ol
Мусковит	Mus
Биотит	Bt
Турмалин	Tu
Дравит	Dr
Шерл	Sh
Апатит	Ap
Циркон	Zr
Монацит	Mz
Рутил	Ry
Галенит	Gn
Пирит	Pu
Магнетит	Mt
Барит	Ba
Кальцит	Ca
Хлорит	Cl
Кальциоанкилит	Cn

ВВЕДЕНИЕ

Данная выпускная работа посвящена исследованию геологического строения пегматитового тела Муркиенмяки и изучению его минеральных ассоциаций. Пегматитовое тело уникально по своему минеральному составу, по наличию гигантских кристаллов турмалина. На сегодняшний момент геологическое строение и минеральный состав отсутствуют в литературе.

Карелия сейчас активно развивается в качестве туристического направления, создаются заповедники и геологическое описание объектов притяжения может быть интересно для широкого круга исследователей.

Цель работы: минералого-петрографическое описание пегматита Муркианмяки.

Задачи:

1. Отбор представительной коллекции образцов из разных зон пегматита.
2. Картирование магматических и метаморфических комплексов вмещающих пород и замер структурных элементов пород, фотодокументация.
3. Литературный обзор по минералогии месторождения Муркианмяки.
4. Изучение закономерности распределения минеральных ассоциаций в геологическом теле.
5. Определение химического состава минералов и выделение минеральных парагенезисов.
6. Анализ полученных результатов.

Для исследования образцов применялись следующие **методы:**

- петрографический анализ был проведен в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» на микроскопе Leica DM4500 P LED;
- рентгенофазовый анализ проводился в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» при помощи рентгеновского дифрактометра MiniFlex II;
- энергодисперсионный анализ был сделан в ресурсном центре «Геомодель» СПбГУ с помощью электронного сканирующего микроскопа с приставками Hitachi S-3400.
- рамановская спектроскопия проводилась в ресурсном центре «Геомодель» СПбГУ на спектрометре Horiba Jobin-Yvon LabRam HR800.

Автор выражает благодарность научному руководителю, старшему преподавателю кафедры минералогии Ветровой Марии Николаевне за всестороннее участие в работе на всех ее этапах. Также автор благодарит сотрудников кафедр

минералогии и кристаллографии Института наук о Земле, работников ресурсных центров СПбГУ за рекомендации, помощь и указания к работе: Е.Н. Перову, Н.И. Пономареву, Н.В. Платонову, Н.С. Власенко, В.Н. Бочарова.

За возможность прохождения летней практики в Карелии, в ходе которой были отобраны образцы для исследования, автор благодарит руководителей практики и отдел практик СПбГУ.

1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА

1.1 Физико-географический очерк

В ходе работы рассматриваются образцы пород с месторождения Муркианмяки, расположенного в восточной части острова Риеккалансаари на берегу Ладожского озера в Сортавальском районе (Южная Карелия, Россия) (Рис.1).

Ближайший населенный пункт – поселок Оявойс расположен в 4 км к западу от месторождения. Также примерно в 10 км западнее горы Муркианмяки располагается город Сортавала. Из города Сортавала добраться до месторождения можно на машине. Координаты: 61°41'0" с.ш., 30°48'55" в.д.

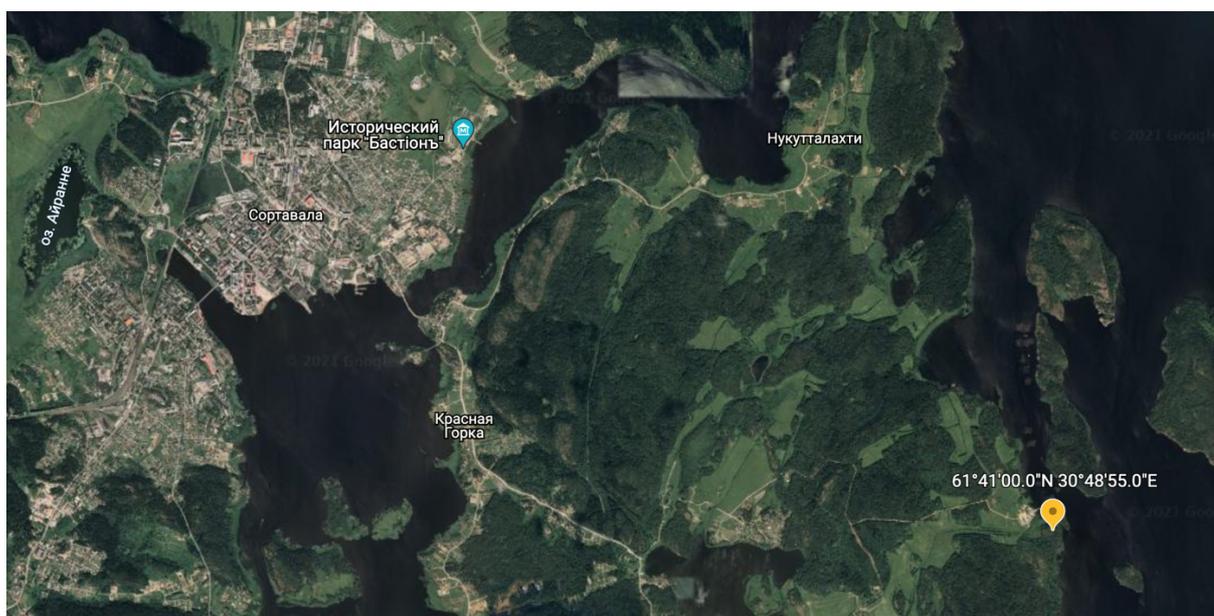


Рисунок 1. Спутниковый снимок Google Earth PRO. Желтой точкой отмечено месторождение Муркианмяки.

В настоящее время в городе Сортавала работают швейная фабрика, мясокомбинат, книжная типография, металлургический завод, несколько малых предприятий деревопереработки, рыбоперерабатывающий завод. Также город вполне обеспечен предприятиями торговли различного профиля. Существуют магазины фототоваров, электротоваров, радиотоваров, бытовой техники и электроники, мебели, стройтоваров и другие. Среди продуктовых магазинов преобладают магазины самообслуживания, крупнейшая сеть — магазины «Светлана». Обеспечена Сортавала и различными предприятиями бытового обслуживания: парикмахерскими, обувными мастерскими, ателье и прочими. В районе поселка Оявойс расположено форелевое хозяйство «Парола» (Рис. 2). В районе активно развита туристическая инфраструктура: в городе Сортавала насчитывается 11 гостиниц, а в районе располагаются гостевые дома «Оявойс», «Зеленый мыс», «Вуорио», «Куккосаари», «Дача Винтера», «Ламберг» и многие другие.



Рисунок 2. Въезд в форелевое хозяйство «Парола» (Фото Фришмана Н.И.).

Рельеф района представлен холмистой равниной со множеством плоских скал, одиночных глыб и валунов. Местность частично заболочена. Широко развиты водно-ледниковые формы рельефа. Высотные отметки колеблются до 200 метров.

Район характеризуется обилием крупных и мелких озер, мелких рек и ручьев. Гидрографическая сеть принадлежит бассейну озера Янисъярви. Наиболее значимым водотоком является р.Соанйоки. Ширина реки от 3 до 10 – 20 м - в разливах, иногда с порогами, для сплава на лодках непригодна. Уровень воды характеризуется невысоким весенним паводком и медленным спадом воды в течение лета. Наиболее крупные ручьи принадлежат системе р.Соанъяоки (руч. Ремссиноя и др.), остальные мелкие ручьи, в основном, заболочены. Наиболее крупное озеро Соанъярви (4 км²) вытянуто в северо-западном направлении, глубина его не более 3-4 м (<https://nbcrs.org/>). Большая часть территории покрыта хвойным лесом (ель, сосна), относится к среднетаежной зоне. Участками отмечаются массивы смешанного леса, березовые и сосновые массивы. Из лиственных деревьев в районе распространены береза, осина, ольха, черемуха; кустарниковые представлены малиной, смородиной, можжевельником, пониженные участки заняты сфагновыми болотами. Проходимость, в целом, хорошая.

Всю Карелию с севера на юг пересекает федеральная автомагистраль «Кола», ведущая от Санкт-Петербурга до Мурманска (маршрут М-18). Самая популярная дорога республиканского значения, пересекающая всю Карелию с запада на восток, трасса международного туристского маршрута «Голубая дорога». Маршрут проходит через Сортавалу, Питкяранту (кольцо через Суоярви), Петрозаводск. Район располагает

сравнительно развитыми внутренними судоходными водными путями сообщения. Железная дорога имеет довольно разветвленную сеть (Рис. 3) (<https://nbcrs.org/>).



Рисунок 3. Железнодорожная станция Сортавала (Фото Фришмана Н.И.).

Фауна территории достаточно разнообразна. Чаще всего встречаются белки, зайцы, болотные ондатры, бобры канадские и европейские, выдры и лоси. Много боровой дичи - рябчиков, тетеревов, белых куропаток, глухарей. Из хищных птиц чаще других встречаются совы и ястребы. Среди водоплавающих наиболее многочисленны утки. В озерах и речках водится щука, окунь, плотва (<https://nbcrs.org/>).

Пресмыкающихся выделяется несколько видов: гадюка обыкновенная, уж, веретенница, ящерица. Встречаются ядовитые змеи - гадюки обыкновенные. Присутствуют кровососущие насекомые - комары, мокрецы, мошки, слепни. Также имеются широкие очаги распространения клещей, которые активны в мае-июне (<https://studbooks.net/>).

Климат умеренно-континентальный с коротким и холодным летом и относительно мягкой зимой. Среднегодовая температура воздуха + 3,8 °С; июля + 17,3 °С; января-февраля от -8,4 °С до -18,7 °С (с минимальной -32,4 °С). Установление снежного покрова обычно происходит в начале ноября. Снежный покров удерживается в среднем 160-170 дней. Средняя высота снежного покрова на открытых участках составляет 35-55 см, в лесу - до 50-70 см. Среднегодовое количество осадков колеблется в пределах 685-721 мм. За холодный период (ноябрь-март) выпадает 150 - 250 мм осадков (30-35% годовой суммы). Устойчивый снеговой покров и лед на озерах и речках (толщина 40-70 см) держится с ноября по середину апреля. Средние даты начала половодья - 10-15 апреля (<https://nbcrs.org/>).

1.2 Общая характеристика геологического района

Сортавальский район располагается в Северном Приладожье на Балтийском (Феноскандинавском) кристаллическом щите. В составе Балтийского щита выделяют Карело-Кольский блок архейского возраста (Карельский, Беломорский, Кольский массивы), Svecofennian и Norwegian мегаблоков, а также каледонский орогенный пояс (Балтыбаев, 2009).

Северное Приладожье представляет из себя зону сочленения Карельского мегаблока архейского возраста и раннепротерозойского Svecofennian мегаблока и в литературе именуется как Раахе-Ладожская зона (Рис. 4).

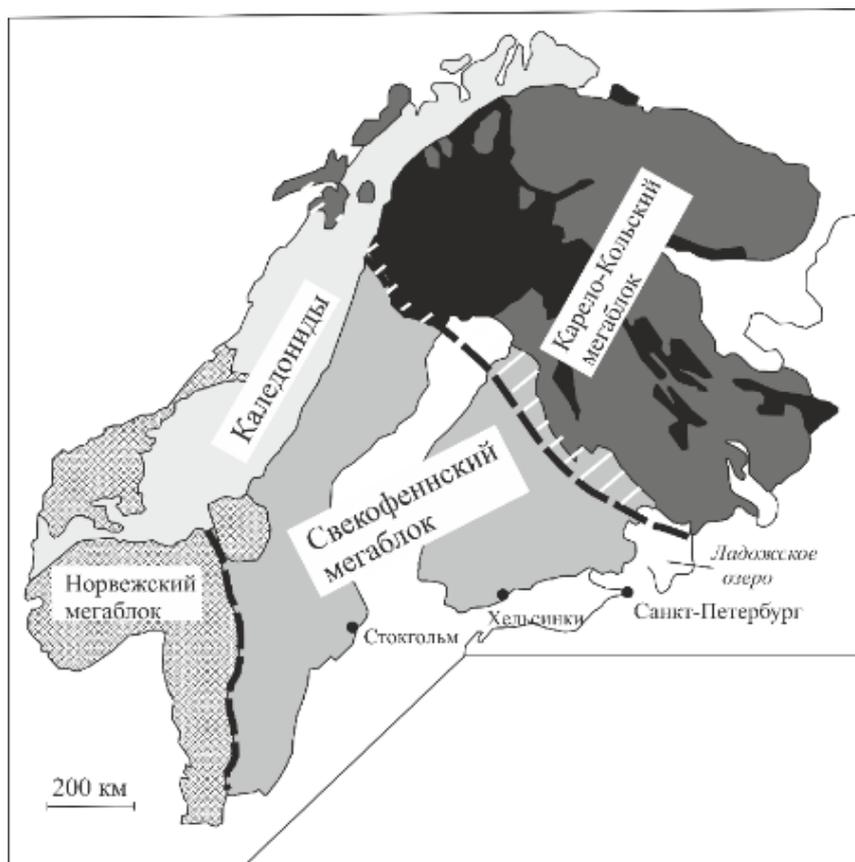


Рисунок 4. Схема расположения тектонических блоков Фенноскандии. Жирным пунктиром показаны зоны сочленения мегаблоков. Светлой штриховкой показана Раахе-Ладожская зона (Воинов, 2012).

Svecofennian складчатый пояс является структурой, прошедшей все стадии развития орогена: континентальный рифтогенез, спрединг, субдукцию, аккрецию и коллизию. Территория Фенноскандии сложена высокотемпературными метаморфическими породами раннепротерозойского возраста, преимущественно вулканоплутоническими и осадочными, метаморфизованными от зеленосланцевой до гранулитовой фации.

Среди пород Сортавальского района выделяется два основных яруса:

1. Породы архейского возраста: гранито-гнейсы, амфиболиты.

Гранито-гнейсы – преобладающая порода района. Это породы кислого состава с хорошо выраженной гнейсовидной текстурой, которая определяется тонкой полосчатостью и субпараллельным расположением кристаллов минералов. Они состоят из кварца, полевого шпата и небольшого количества цветных минералов – биотита, амфибола. Гранито-гнейсы слагают массивы округлой формы – купола. По направлению к центру массивов порода теряет свою гнейсовидность и принимает почти чисто гранитный облик (Глебовицкий, 2005).

Современными исследованиями выделены две группы гранитогнейсовых куполов. Западная группа (Сортавальская) состоит из ассоциации Кирьявалахтинского, Сортавальского, Куокканиемского и Латвасюринского куполов. Каждый гранитогнейсовый купол окаймлен и отделен от своих соседей синклинальными структурами, образованными раннепротерозойскими метаморфизованными породами – например, сланцами (Воинов, 2012).

В ядрах гранитогнейсовых куполов выделяются внутрикупольные амфиболиты. Они представляют собой крупнозернистые породы с массивной и гнейсовидной текстурами, сложенные роговой обманкой, небольшим количеством биотита, плагиоклаза и других второстепенных минералов (диопсид, актинолит, хлорит, эпидот) (Глебовицкий, 2005).

2. Породы раннепротерозойского возраста: сортавальская и питкьярантская свиты, представлены амфибол-биотитовыми сланцами. И ладожская свита, представленная слюдяными сланцами. В питкьярантской свите встречаются карбонатные горизонты, мощность и степень метаморфизма которых увеличивается к северо-западу (Воинов, 2012).

На рассматриваемой территории распространены пегматитовые комплексы. Пегматиты – тела гигантозернистого строения, которые образуются на заключительном этапе кристаллизации магматического очага. На территории наиболее распространены гранитные пегматиты.

Преимущественное простирание пегматитовых тел северо-западное, реже субмеридиональное и субширотное. Среди пегматитов выделяют два типа. К первому относят недифференцированные тела штокообразной формы, секущие вмещающие породы, или субсогласные жилы, часто деформированные (разрывные нарушения и пластические деформации). Жилы этого типа являются источником товарного микроклинового и кварц-микроклинового сырья. Пегматиты второго типа имеют правильную жильную форму и приурочены к внешним частям гранитогнейсовых куполов. Строение жил дифференцированное, в них отчетливо выделяют приконтактные аплитовые зоны, зоны графического и блокового пегматита, а также кварцевое ядро. Эти пегматиты являются источником высококачественного керамического и стекольного сырья.

Дифференцированные пегматитовые жилы встречаются в городе Питкяранта, на хуторе Парола, вдоль побережья Ладожского озера рядом с деревней Юля-Ристи. Недифференцированные пегматиты – карьер Ляппесильта, Хопунваара, остров Пусунсаари.

Также пегматиты различаются по возрасту образования. Поскольку на данный момент нет данных о времени их образования, соответственно, рационально разделять их по возрасту вмещающих пород. Самыми древними являются пегматиты, вмещающими которых являются гранито-гнейсы архея. Более молодые пегматиты, вмещающими породами которых являются амфибол-биотитовые сланцы нижнего протерозоя Питкярантской свиты.

1.3 История геологического развития района

В литературе разных лет мнения о историческом развитии региона весьма противоречивы, поэтому в данной главе история геологического развития приведена по следующим материалам: «Ранний докембрий Балтийского щита» Глебовицкий, 2005, «Tectono-metamorphic evolution of the Raahe-Ladoga zone» Ekdahl, 1995 и «Свекофеннский пояс Фенноскандии: пространственно-временная корреляция раннепротерозойских эндогенных процессов» Балтыбаев, 2009.

Возраст начала формирования архейских пород оценивается в 3.2 – 3.1 млрд лет (Ekdahl, 1995), с зарождения первичной континентальной коры Карельского палеоконтинента. Затем происходило формирование зеленокаменных поясов, извержения лав различного состава и накопление первых терригенных толщ. Период с 3.2 – 3.1 млрд лет до 2.6 – 2.5 млрд лет сопровождался первым внутриконтинентальным рифтогенезом и формированием покровно-надвиговых структур, что привело к образованию Карельского мегаблока (Глебовицкий, 2005). Породы архейского возраста в районе представлены гранитогнейсовыми куполами и амфиболитами внутри гранитогнейсовых куполов.

Затем до 1.96 млрд лет идёт второй этап рифтогенеза, образование грабеновых структур, формирование интрузивных и эффузивных комплексов разного состава, заканчиваясь спокойным тектоническим режимом и формированием на территории Балтийского щита мелководного бассейна (Глебовицкий, 2005).

В верхнем карелии начинается третья стадия внутриконтинентального рифта, происходит раскрытие осадочного бассейна и образование карбонатных и глинистых пород питкярантской свиты. Карбонатные породы питкярантской свиты представлены тремя горизонтами. Затем за счёт растяжения развивается базальтовый вулканизм (вулканогенная часть питкярантской свиты), вверх по разрезу происходит смена условий осадконакопления

на океанические с континентальных, регион переходит в стадию пассивной окраины и происходит раскрытие океана (Воинов, 2012).

В начале калевия (1.91-1.92 млрд лет) идёт активное накопление флишевых комплексов (биотитовые сланцы) и начало субдукции, сопровождаемое формированием магматических и вулканических комплексов основного состава, подводные каналы вулканитов сортавальской серии прослеживаются в подстилающих породах (Глебовицкий, 2005).

Далее идет развитие субдукционно-коллизионных процессов, которые привели к образованию складчатости и утолщению континентальной коры. Именно с этим моментом связан прогрев осадочных толщ и следующий за этим региональный метаморфизм, приведший к превращению питкьярантских известняков в мраморы, глинистых сланцев в биотитовые сланцы, базальтов в амфиболиты. Предположительно образование скарнов связано с региональным метаморфизмом толщ пород смешанного глинистого и карбонатного составов (Глебовицкий, 2005), либо оно связано с более поздним внедрением интрузий (Балтыбаев 2000).

Затем происходит процесс частичного плавления архейских пород, вследствие чего происходит гранитизация и уменьшение плотности. С этим моментом связывают «воздымание» гранито-гнейсовых куполов, процессы мигматизации и их пегматизации, наблюдаемые на рассматриваемой территории. (Escola, 1988)

После закрытия палеоокеана (1.88 – 1.84 млрд лет) Карельский и Свекофеннский мегаблоки сочленяются в единый континент формируя Раахе-Ладожскую зону, что сопровождается постколлизионным магматизмом, предположительно с этим связаны интрузии плагиогранитов и двуслюдяные пегматиты (Воинов, 2012).

Начало нижнего рифея (1.67 – 1.54 млрд лет) знаменуется внедрением гранитов рапакиви, в том числе Салминского массива. Это самые молодые магматические породы района. Чуть позже (1.4 – 1.3 млрд лет) происходит заложение Ладожского грабена с заполнением его осадками (структуры, способствовавшие образованию Ладожского озера) и внедрение интрузий основного состава (Бискэ, 2019).

С венда начинает формироваться платформенный чехол Русской платформы, но из-за процессов денудации, осадков этого возраста в регионе почти не сохранилось.

Свой современный облик регион приобрёл вследствие Валдайского оледенения – процессов гляциоизостазии, приноса обломочного материала и образования постледниковых текстур и рельефа (Бискэ, 2019).

Последнее крупное геологическое изменение произошло около 3000 лет назад – образование Ладожского озера в следствие таяния ледника и гляциоизостазии.

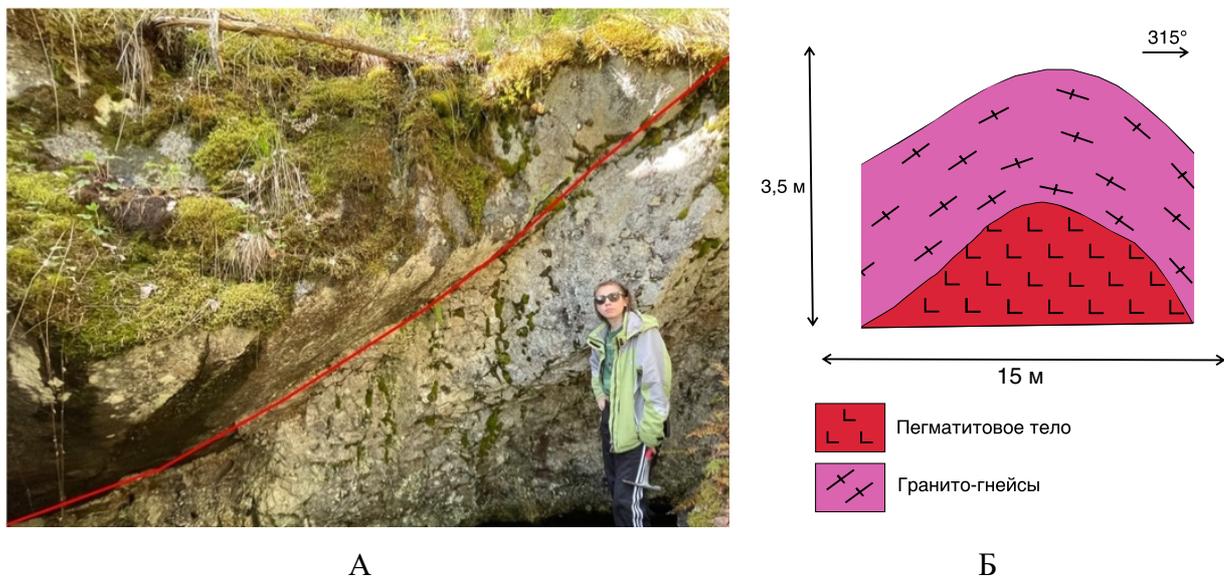


Рисунок 6. Выход пегматитового тела № 1. А – граница вмещающих пород (сверху) и пегматитов (снизу) отмечена красным цветом. Б – схематический рисунок выхода № 1.

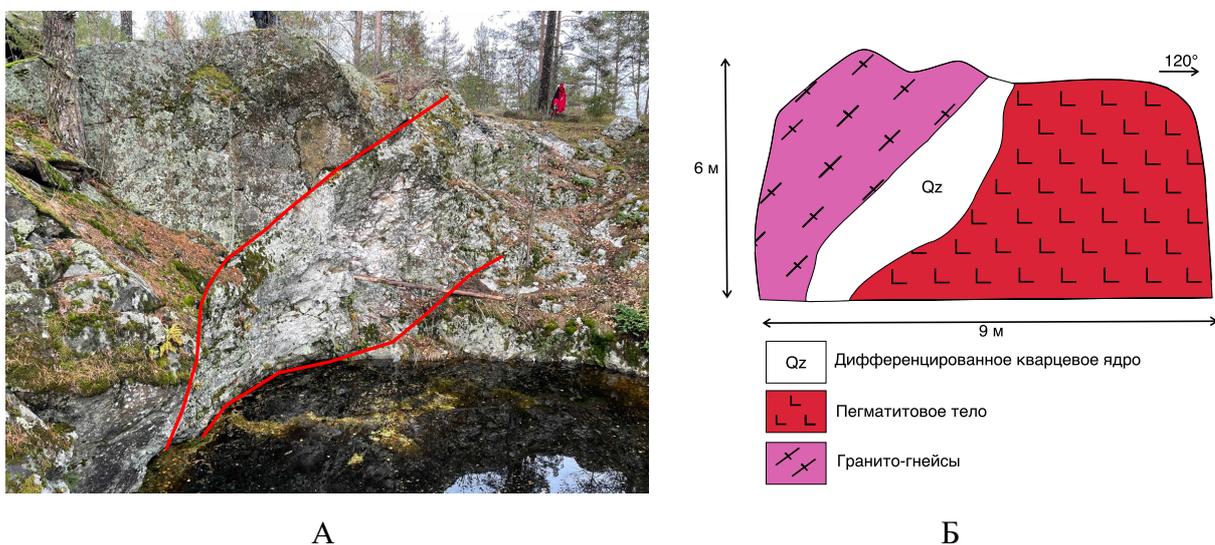


Рисунок 7. Выход пегматитового тела № 2. А – граница кварцевого ядра отмечена красным цветом. Б – схематический рисунок выхода № 2.

На выходе В1 обнажается аплитовая и блоковая зоны пегматита, на выходах В2 блоковая и кварцевое ядро, на В3 только кварцевое ядро. Графическая зона не имеет классической линейной протяженности, а встречается в виде изометричных участков 30 на 40 см в блоковом полевым шпате. Графика представлена сростками кварца с полевым шпатом. Также в блоковой зоне широко распространены участки с турмалином черного цвета, встречающегося в виде идиоморфных кристаллов до 40 см и эвтектических сростков с кварцем.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы, исследуемые в данной работе, были отобраны автором во время полевого сезона 2021 года из вмещающих пород и разных частей пегматитового тела (Табл. 1).

Таблица 1. Образцы, исследуемые в работе.

Зона	Номер образца	Минералы	Фотография образца
Вмещающие гранито-гнейсы	4.4-2	Микроклин, альбит, мусковит, биотит, кварц	
	4.4-7	Микроклин, альбит, мусковит, биотит, кварц	
Приконтактовая зона пегматита		Микроклин, альбит, кварц, мусковит	
	4.4-1	Микроклин, альбит, кварц, мусковит	
Блоковая зона пегматита	4.4-13	Микроклин, альбит, кварц, дравит, шерл, мусковит	

4.4-14	Микроклин, альбит, кварц, дравит, шерл	
4.4-15	Микроклин, альбит, кварц, дравит, шерл	
4.4-16	Микроклин, альбит, кварц, дравит, шерл, мусковит	
4.4-19	Микроклин, альбит, кварц, дравит, шерл, мусковит апатит	

	4.4-21	Микроклин, альбит, кварц, дравит, шерл, мусковит	
Дифференцированное кварцевое ядро	4.4-9	Розовый кварц	
	4.4-25	Розовый кварц	
	4.4-26	Фиолетовый кварц	
	4.4-27	Фиолетовый кварц	

	4.4-28	Серый кварц	
	4.4-29	Серый кварц	

Оптические свойства минералов исследованы в Ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования» на микроскопе Leica DM4500 P LED. Фотографии минералов в плоскополированных шлифах сделаны с помощью камеры Leica DFC450.

Химический состав минералов исследован в ресурсном центре «Геомодель» СПбГУ в плоско-полированных шлифах с углеродным напылением с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400 с приставкой количественного энергодисперсионного микроанализа EDX-AzTec Energy 350, при следующих условиях: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка 2 нА, времени накопления спектра 30 с.

Фазовый состав минералов пегматита изучался в РЦ СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования». Опыт проводится на настольном дифрактометре Miniflex II. В лаборатории он представлен в двух модификациях – с Co и Cu анодами. Для данной задачи были использованы оба дифрактометра. Максимальная мощность 1 кВт. Фокус 1/10 мм ± 1 мм. Фильтрация: поглощающий фильтр для поглощения K β и монохроматор. Высоковольтный блок позволяет генерировать напряжение и ток (15 мА). Стабилизатор гарантирует колебания $\pm 0,05\%$ тока и напряжения на трубке при колебании в сети 5-10%. Возможная скорость сканирования от 0,010 до 1000 в минуту. Условия съёмки были следующие: шаг съёмки – 20, вертикальная щель – 1.25 мм, вторая – 0.8 мм, третья щель открыта, начальный – 50, конечный – 900, после съёмки счётчик возвращается в исходное положение.

Для исследования состава газовой-жидких включений снимались спектры комбинационного рассеяния вещества в ресурсном центре «Геомодель» СПбГУ на рамановском спектрометре Horiba Jobin-Yvon LabRam HR800: лазер Ar⁺ с перестраиваемыми длинами волн от 457 до 514 нм с набором фильтров для работы на 488 нм и 514 нм до 50 mW. Спектрометр оснащен детектором CCD и камерой 1024x256 пикселей.

3. МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

3.1 Вмещающие породы

Вмещающие породы представлены гранито-гнейсами. Порода имеет полнокристаллическую структуру, гнейсовидную текстуру и состоит из кварца (35 %), калиевого полевого шпата (25 %), кислого плагиоклаза № 0 – 30 (30 %), слюды (10 %).

Порода сложена мелкозернистым агрегатом бесцветного кварца, калиевого полевого шпата и плагиоклаза белого цвета, а также биотитом (Рис. 8). В приконтактной зоне с пегматитов минералы ориентированы параллельно пегматитовому телу (Рис. 9).

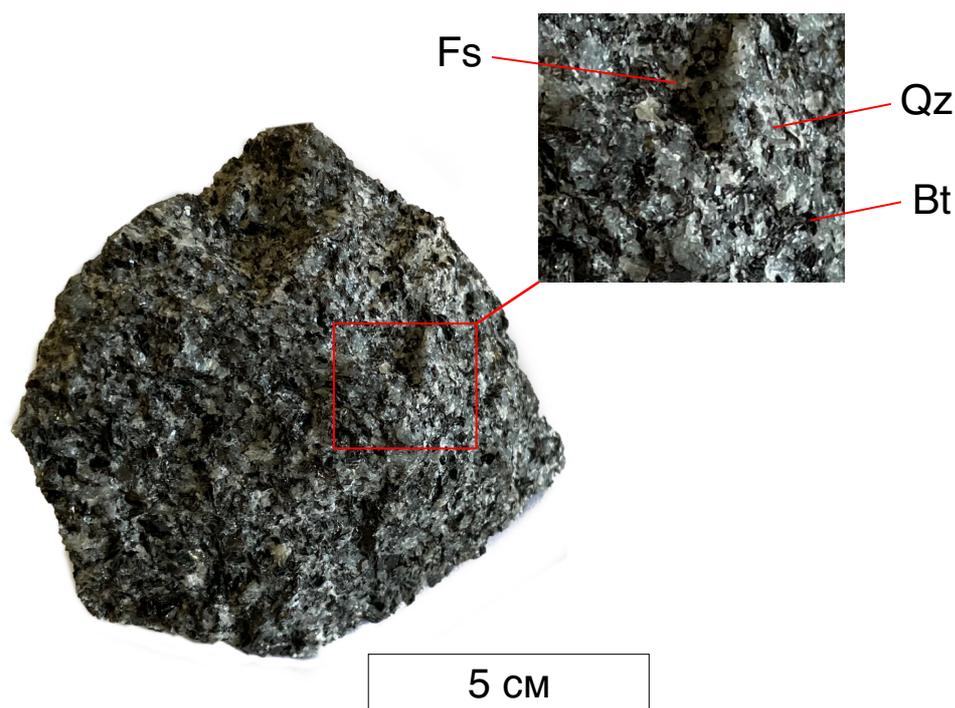


Рисунок 8. Вмещающая порода пегматитового тела (образец 4.4-2).

3.2 Приконтактная зона пегматитового тела

Внешняя зона пегматитового тела сложена мелкозернистыми агрегатами, состоящими из бесцветного кварца, белого микроклина и альбита, биотита черного цвета, размер выделений не более 3 мм (Рис. 9). Мощность этой зоны составляет 1 – 1.5 см (Рис. 10) иногда встречаются заливывы до 3см в блоковую зону. Ориентировка темноцветных минералов перпендикулярна контакту с вмещающей породой.

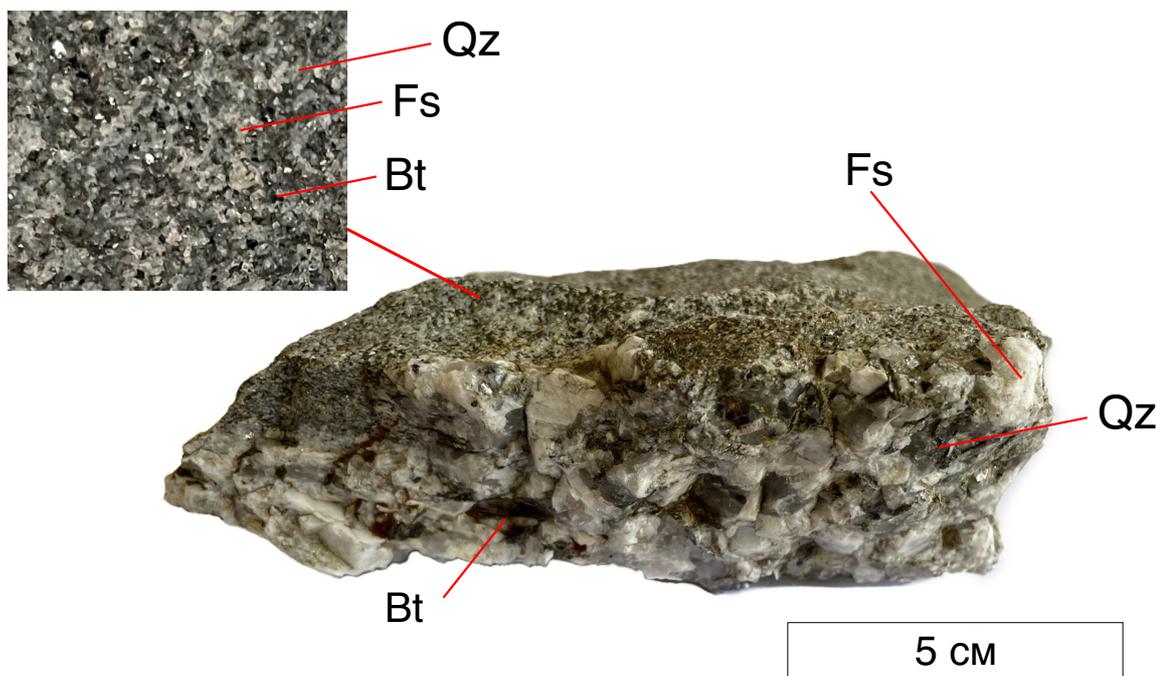


Рисунок 9. Контакт вмещающей породы и пегматитового тела (образец 4.4-7).

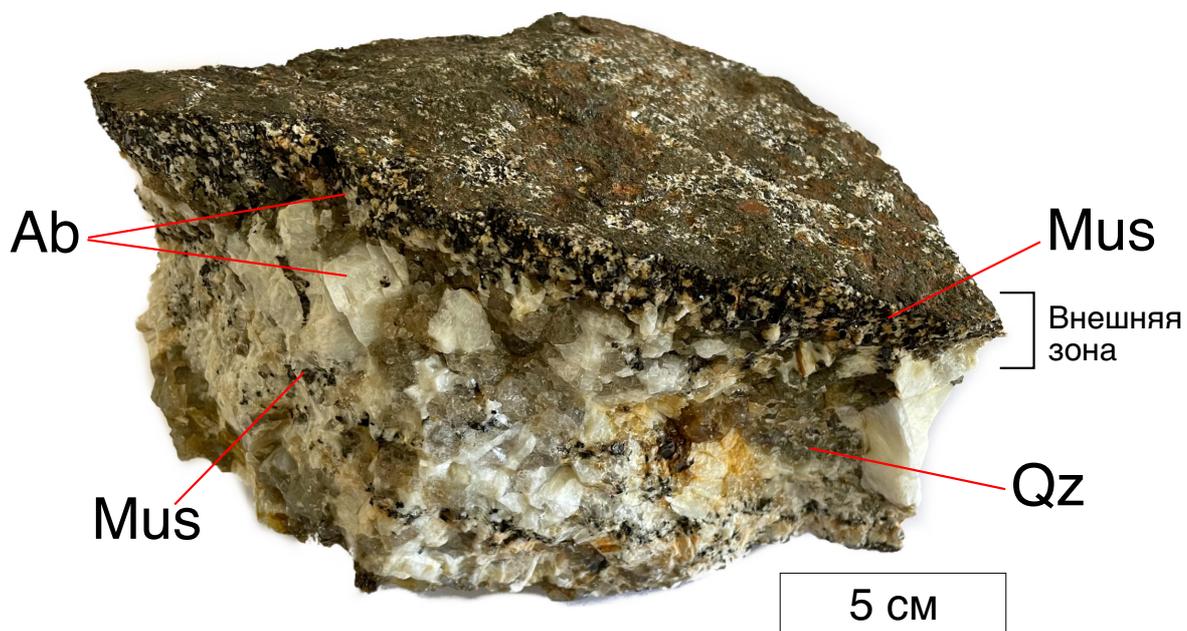


Рисунок 10. Приконтактная и блоковая зоны пегматита Муркианмяки (образец 4.4-1).

3.3 Блоковая зона пегматитового тела

Блоковая зона пегматита представлена крупными кристаллами кварца, микроклина, альбита, олигоклаза, анортоклаза, минералов группы турмалина (дравит, шерл) и мусковита.

Микроклин и альбит образуют крупные кристаллы неправильной формы, размером более 5 см, белого и бежевого цвета (Рис. 11).

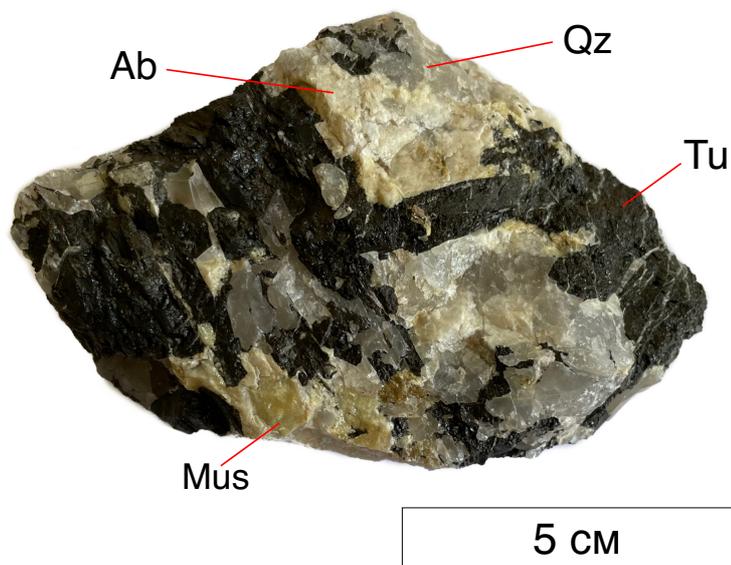


Рисунок 11. Блоковая зона пегматитового тела (образец 4.4-13).

Кварц слагает сливные массы размером 5-7 см серого и белого цветов (Рис. 11, 12, 13). Минерал сильно трещиноват и содержит большое количество газовой-жидких включений.

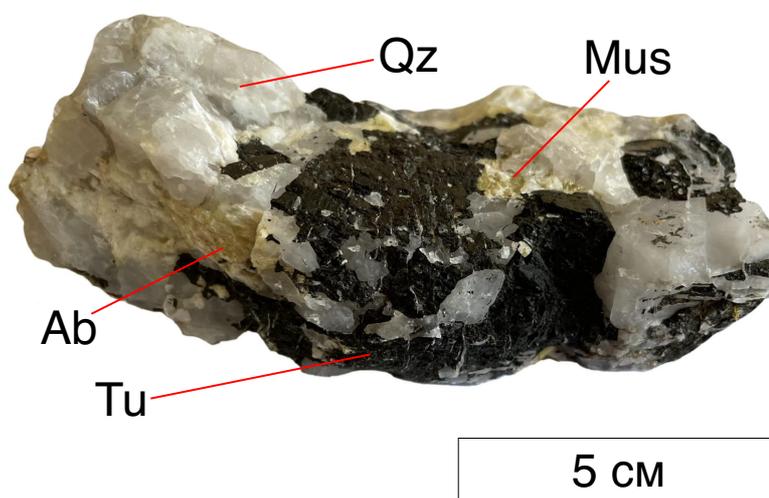


Рисунок 12. Блоковая зона пегматитового тела (образец 4.4-21).

Минерал группы турмалина имеет черный цвет. Встречаются в виде столбчатых кристаллов в сливном кварце, размером до 40 см в длину (Рис. 13). Также турмалин встречается в виде ксеноморфных выделений в полевом шпате (Рис. 14). Во этих двух морфологических типах турмалина хорошо проявлена вертикальную штриховку на гранях. Помимо этого присутствуют эвтектические срастания турмалина и кварца (Рис. 15).

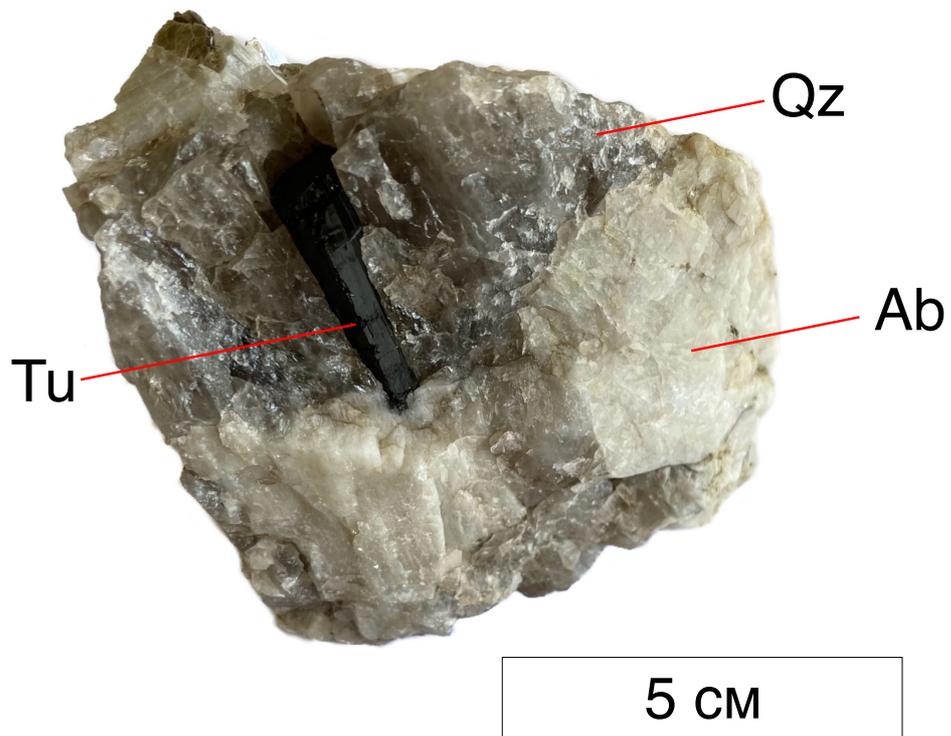


Рисунок 13. Кристалл турмалина из блоковой зоны пегматитового тела (образец 4.4-14).

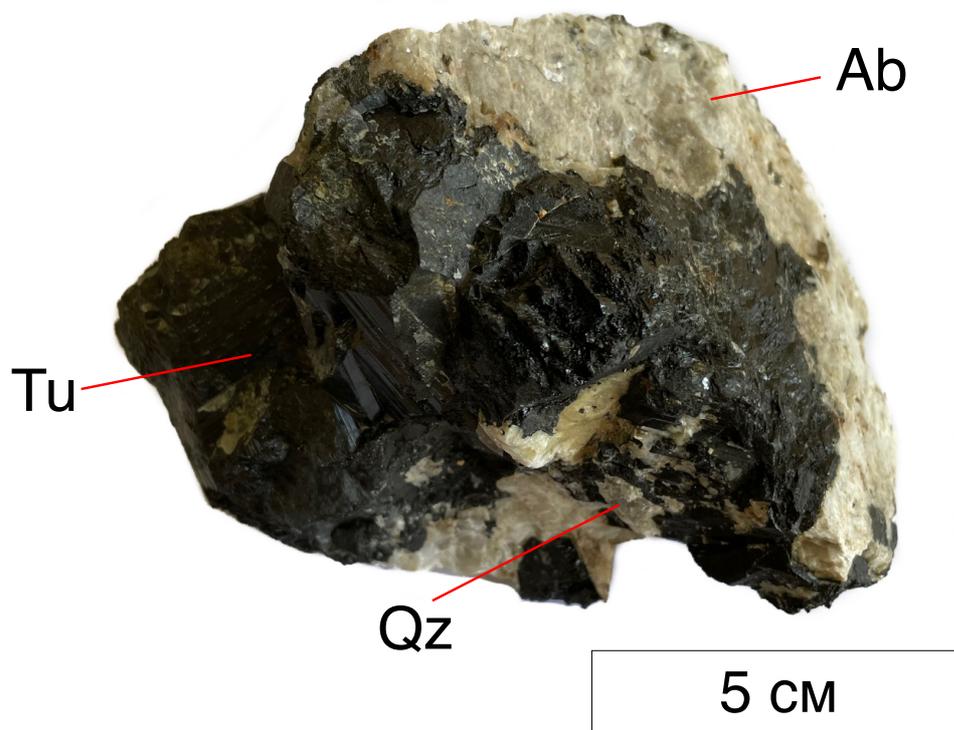


Рисунок 14. Ксеноморфное выделение турмалина из блоковая зона пегматитового тела (образец 4.4 - 15).

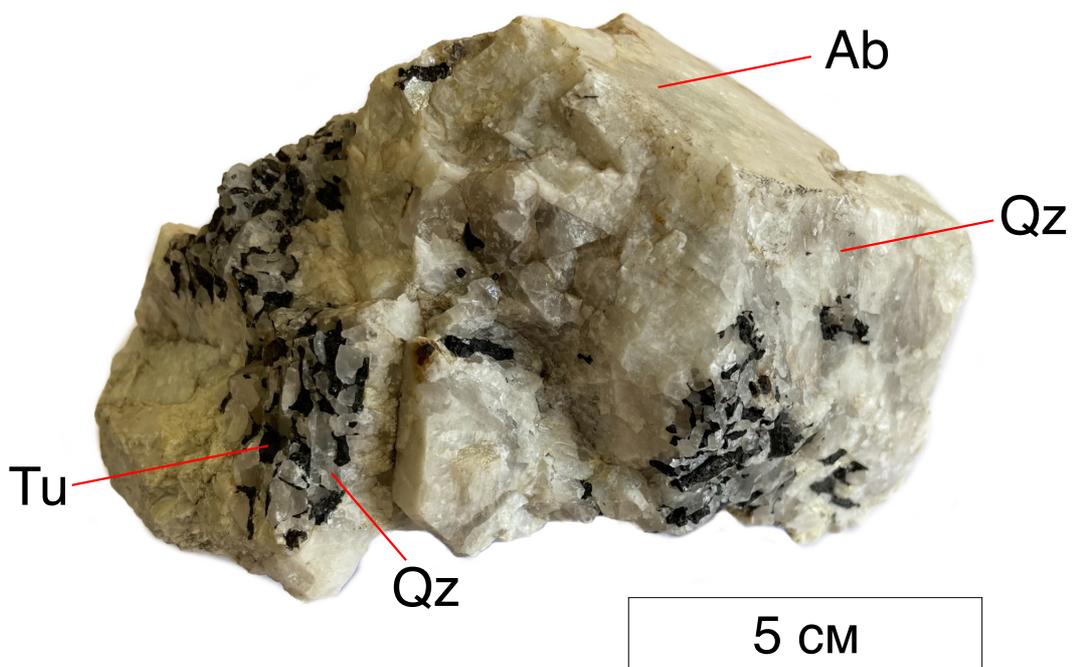


Рисунок 15. Эвтектические сростания кварца с турмалином (образец 4.4-16).

Также в блоковой зоне присутствует слюда, представленная мусковитом. Минерал встречается в двух морфологических типах. Первая представлена крупными вытянутыми до 10 см и пластинчатыми кристаллами почти черного цвета с совершенной спайностью (Рис. 16).

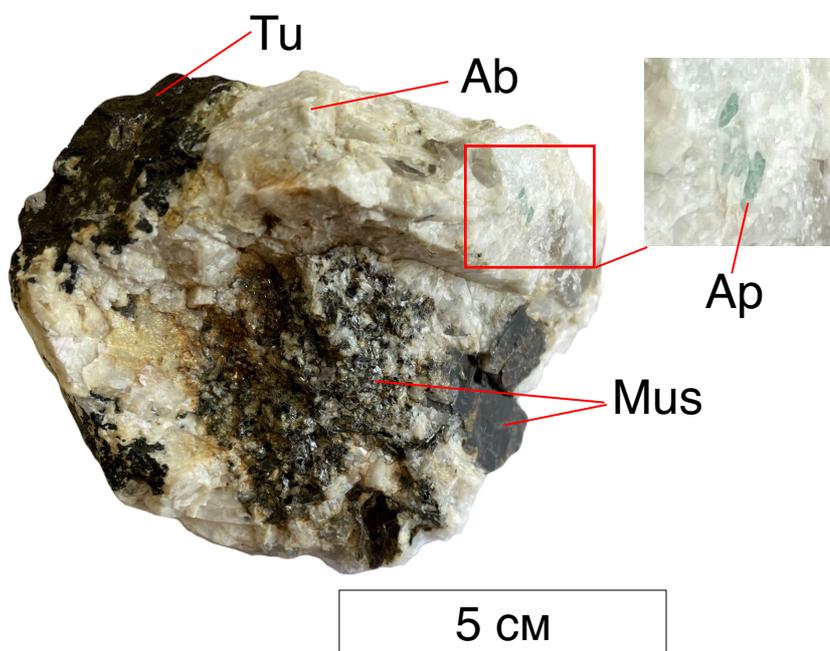


Рисунок 16. Блоковая зона пегматитового тела (образец 4.4-19).

Второй морфологический тип мусковита представлен мелкими чешуйчатыми агрегатами (серицитом) черного, желтого и желто-зеленого цветов (Рис. 11, 12). Минерал образует ростки в полевом шпате.

Апатит встречается в виде небольших кристаллов, размером до 5 мм, голубого и зелено-голубого цветов столбчатой формы (Рис. 16).

3.4 Кварцевое ядро

Ядро пегматитового тела представлено мономинеральным кварцем разного цвета: серого, белого, розового, фиолетового (Рис. 17). Цвет кварца в ядре распределен неравномерно, пятнисто, какой-либо закономерности в распределении окраски не выявлено.



2 см

Рисунок 17. Дифференцированное ядро пегматитового тела (образец 4.4-26).

3.5 Минеральные ассоциации

Вмещающая порода сложена кварцем (35 %), примерно в равных количествах присутствует калиевый полевой шпат (20 %) и кислый плагиоклаз (20%), слюды (15 %), рутил (менее 1%). Кварц образует ксеноморфные выделения с заливообразными краями размером до 5 мм. В проходящем свете – бесцветный, в скрещенных николях имеет низкие цвета интерференции и волнистое погасание. Калиевый полевой шпат представлен зернами неправильной, вытянутой формы. В проходящем свете бесцветный, с хорошо проявленной спайностью. По трещинам спайности развиваются чешуйки вторичных минералов, предположительно, мусковита и хлорита. В скрещенных николях калиевый полевой шпат имеет серые и желтые цвета интерференции. Плагиоклазы представлены вытянутыми таблитчатыми зернами с острыми неровными гранями. В скрещенных николях плагиоклазы имеют характерное полисинтетическое двойникование. По углу погасания двойников плагиоклаза он был отнесен к кислому плагиоклазу № 0 – 30. В породе равномерно распространены чешуйчатые кристаллы слюды темно-коричневого цвета в проходящем свете с сильным плеохроизмом от светло-коричневого до темно-коричневого. В скрещенных николях слюда имеет высокие цвета интерференции, резкую шагрень и

высокий рельеф. В подчиненном количестве присутствует рудный минерал, который образует почти не просветляющиеся зерна неправильной вытянутой формы небольшого размера. Структура породы полнокристаллическая гипидиоморфнозернистая, мелкозернистая, текстура гнейсовидная (Рис. 18).

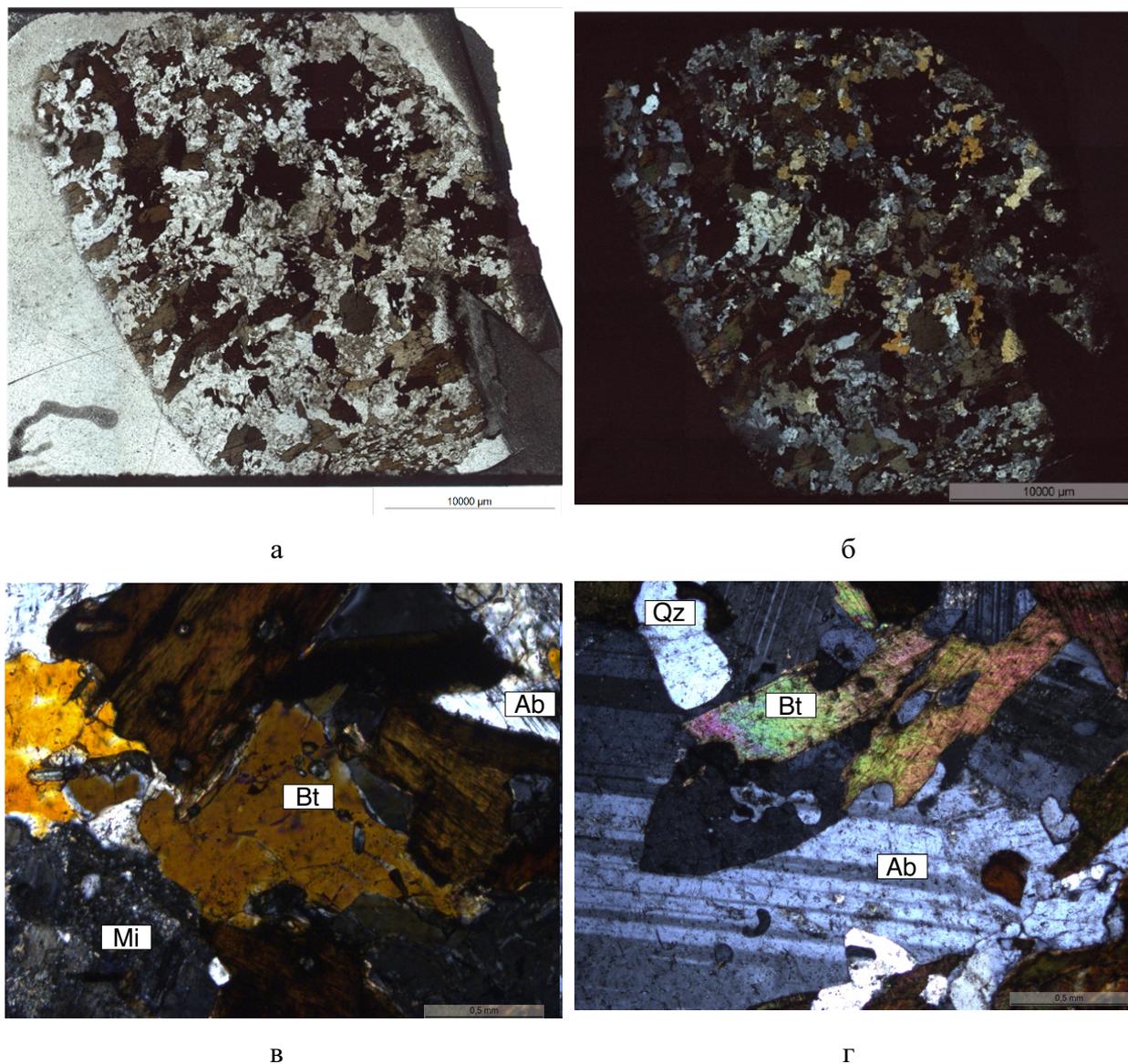


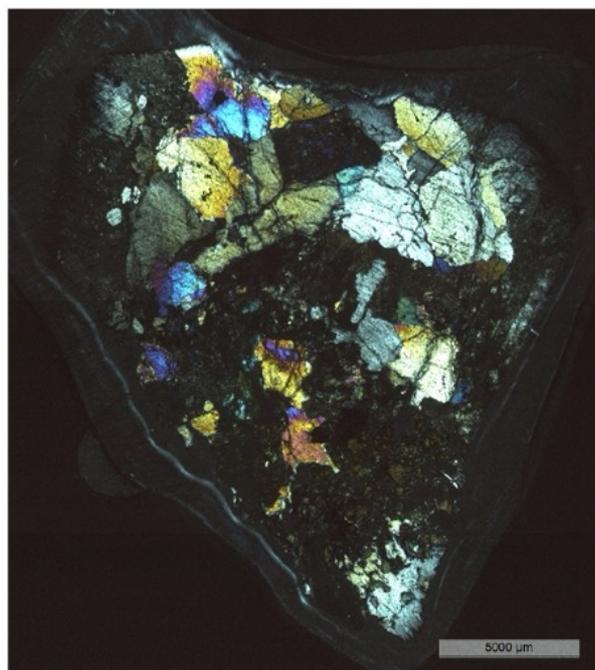
Рисунок 18. Общий вид шлифа 4.4-2 из вмещающих пород: а – в проходящем свете; б, в, г – в скрещенных николях.

Блоковая зона сложена кварцем и полевым шпатом в примерно равных количествах, турмалином (20 %). Кварц представлен крупными кристаллами с неровными гранями. В проходящем свете кварц бесцветный, в скрещенных николях имеет низкие цвета интерференции. Также для кварца характерно волнистое погасание. Полевой шпат представлен двумя разновидностями: калиевым полевым шпатом и плагиоклазом. Калиевый полевой шпат, скорее всего, является микроклином – в проходящем свете бесцветный, со спайностью. В скрещенных николях имеет бледную серую и желтую окраски. Плагиоклаз представлен альбитом, который образует вытянутые пластинчатые

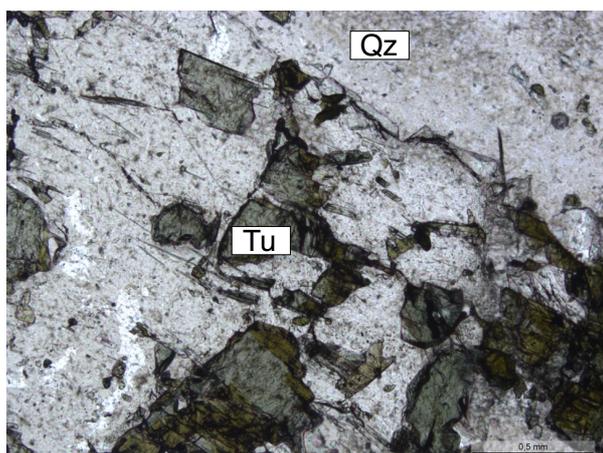
кристаллы. В проходящем свете альбит бесцветен, в скрещенных николях – низкие цвета интерференции. По полевым шпатам развиваются вторичные изменения – серицитизация и хлоритизация. Вторичные минералы тяготеют к зонам трещиноватости полевого шпата вдоль плоскостей спайности и образуют чешуйчатые, листоватые кристаллы. Турмалин представлен средними кристаллами порядка 3 мм, которые образует эвтектические сростания с кварцем. Структура породы гипидиоморфнозернистая, текстура однородная (Рис. 19).



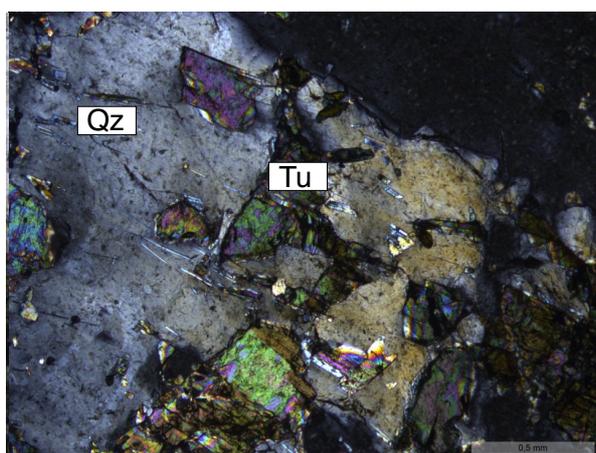
а



б



в



г

Рисунок 19. Общий вид шлифа породы блоковой зоны 4.4-1б: а, в – в проходящем свете; б, г – в скрещенных николях.

Таким образом, можно выделить минеральные ассоциации, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Минеральные ассоциации пегматитового тела Муркианмяки и вмещающих пород.

Зона	Минеральная ассоциация
Вмещающие породы	Кварц, микроклин, альбит, мусковит, биотит, рутил
Внешняя зона пегматита	Кварц, микроклин, альбит, олигоклаз, анортоклаз, мусковит
Блоковая зона пегматита	Кварц, микроклин, альбит, олигоклаз, анортоклаз, мусковит
Кварцевое ядро	Кварц

4. МИНЕРАЛОГИЯ ПЕГМАТИТОВОГО ТЕЛА МУРКИАНМЯКИ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

В пегматитовом теле Муркианмяки и вмещающих их породах было выделено 20 минеральных видов (Табл. 3). Для пегматита все минералы можно разделить на три группы, отвечающие их объемному соотношению в породе: породообразующие, второстепенные и акцессорные. Всего в пегматитах месторождения Муркианмяки.

Таблица 3. Минеральный состав пегматитового тела Муркианмяки.

Породообразующие минералы	Кварц	SiO_2
	Микроклин	KAlSi_3O_8
	Альбит	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
	Анортоклаз	$(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$
	Олигоклаз	$(\text{Na},\text{Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$
	Мусковит	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
	Биотит	$\text{K}(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al},\text{Mg})_{2-3}[(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$
Второстепенные минералы	Дравит	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3(\text{OH})$
	Шерл	$\text{NaFe}^{2+}_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3(\text{OH})$
Акцессорные минералы	Апатит	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F})$
	Циркон	$\text{Zr}(\text{SiO}_4)$
	Монацит	$(\text{Ce},\text{La},\text{Nd},\text{Th})\text{PO}_4$
	Рутил	TiO_2
	Галенит	PbS
	Пирит	$\text{Fe}(\text{S}_2)$
	Магнетит	FeFe_2O_4
	Барит	$\text{Ba}(\text{SO}_4)$
	Кальцит	$\text{Ca}(\text{CO}_3)$
	Хлорит	$(\text{Mg},\text{Fe})_{4.75}\text{Al}_{1.25}(\text{Si}_{2.75}\text{Al}_{1.25})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
	Кальциоанкилит	$\text{Ca}(\text{La},\text{Ce},\text{Nd})(\text{CO}_3)_2(\text{OH})\text{H}_2\text{O}$

4.1 Вмещающие породы

По результатам исследований, можно говорить о следующем составе пород, вмещающих пегматитовое тело Муркианмяки: калиевые полевые шпаты, плагиоклазы, кварц, минералы группы слюд (мусковит, биотит), рутил, апатит, циркон, монацит, хлорит.

Полевые шпаты являются породообразующими минералами гранито-гнейсов. Они представлены плагиоклазами (альбит и олигоклаз) и микроклином. В образцах макроскопически представлены мелкозернистыми массами белого и бежевого цветов с ясной спайностью.

Плагиоклазы образуют мелкие зерна в микроклине. В проходящем свете кислые плагиоклазы бесцветны, без плеохроизма. В скрещенных николях бледно-серого цвета, имеют характерные полисинтетические двойники.

Микроклин в проходящем свете бесцветен, в скрещенных николях имеет серую, желтую окраску. Кристаллы имеют неправильную форму (Рис. 20). Микроклин представлен крупными зернами, размером более 1 мм.

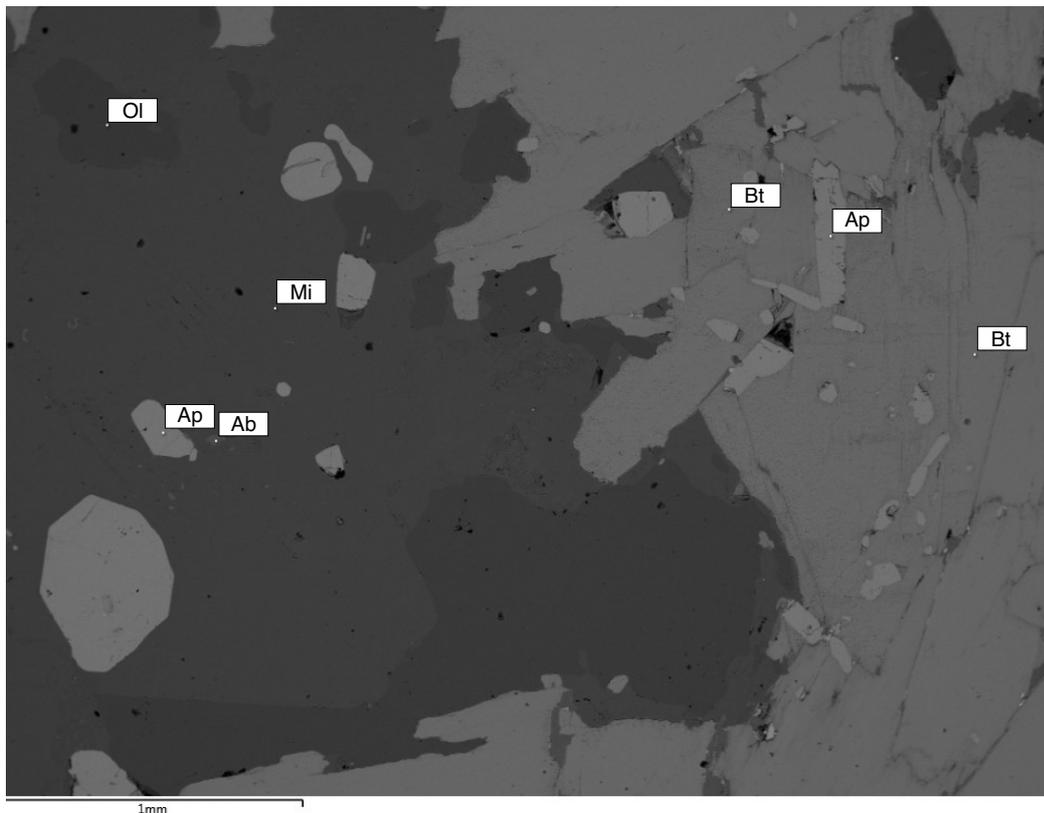


Рисунок 20. Изображение микроклина и плагиоклазов из вмещающих пород в обратно-рассеянных электронах.

Химические анализы полевых шпатов приведены в таблице 4. Расчет формул проводился на 5 катионов. Вариации химического состава представлены на диаграмме (Рис. 21).

Таблица 4. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты полевых шпатов вмещающих пород месторождения Муркианьяки.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Na ₂ O	9.31	0.50	9.52	9.21	8.62	16.31	7.99	6.44	6.40	8.34	8.34
K ₂ O	0.23	15.74	-	0.44	-	-	0.21	-	-	-	-
CaO	3.30	-	3.45	0.93	3.31	-	5.43	8.54	7.60	4.38	4.38
Al ₂ O ₃	22.07	18.24	22.84	20.36	21.08	18.27	23.71	26.60	25.18	22.81	22.81
SiO ₂	66.51	64.69	67.15	62.12	62.13	65.12	62.28	58.84	58.28	62.51	62.51
Сумма	101.42	99.17	102.96	93.06	95.14	99.70	99.62	100.42	97.46	98.04	98.04
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет на 5 катионов											
Na	0.79	0.05	0.79	0.85	0.78	1.34	0.69	0.56	0.57	0.73	0.73
Ca	0.15	-	0.16	0.05	0.17	-	0.26	0.41	0.38	0.21	0.21
K	0.01	0.94	-	0.03	-	-	0.01	-	-	-	-
Al	1.14	1.00	1.16	1.14	1.16	0.91	1.25	1.40	1.37	1.22	1.22
Si	2.91	3.02	2.89	2.94	2.90	2.75	2.79	2.63	2.69	2.83	2.83

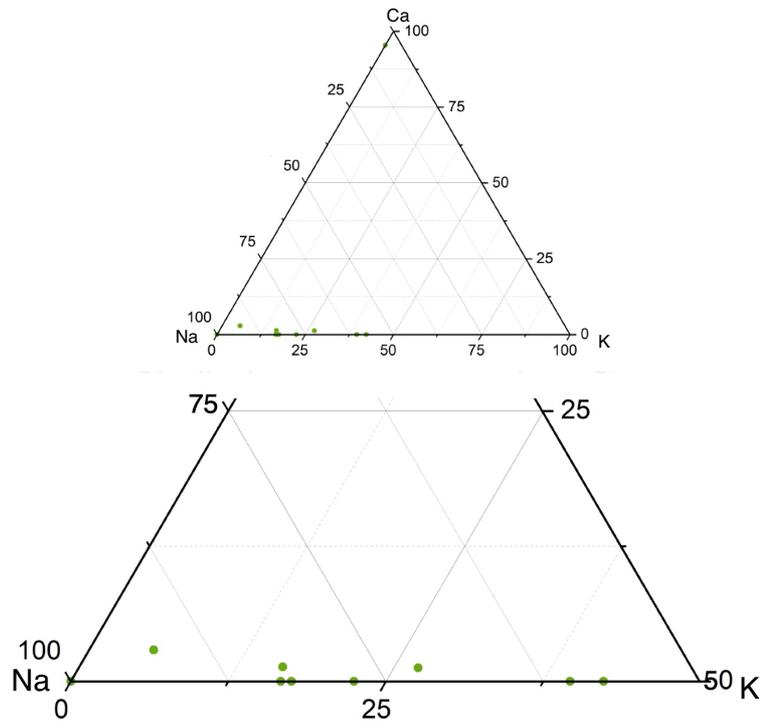


Рисунок 21. Диаграмма вариаций химического состава полевых шпатов вмещающих пород месторождения Муркианмяки.

Кварц является одним из преобладающих минералов и во вмещающей породе представлен мелкозернистой массой в белой и серой цветовых разновидностях. В проходящем свете бесцветный. В скрещенных николях имеет волнистое погасание и серые цвета интерференции. Кристаллы неправильной формы, находятся в виде включений и сростков с плагиоклазами (Рис. 22).

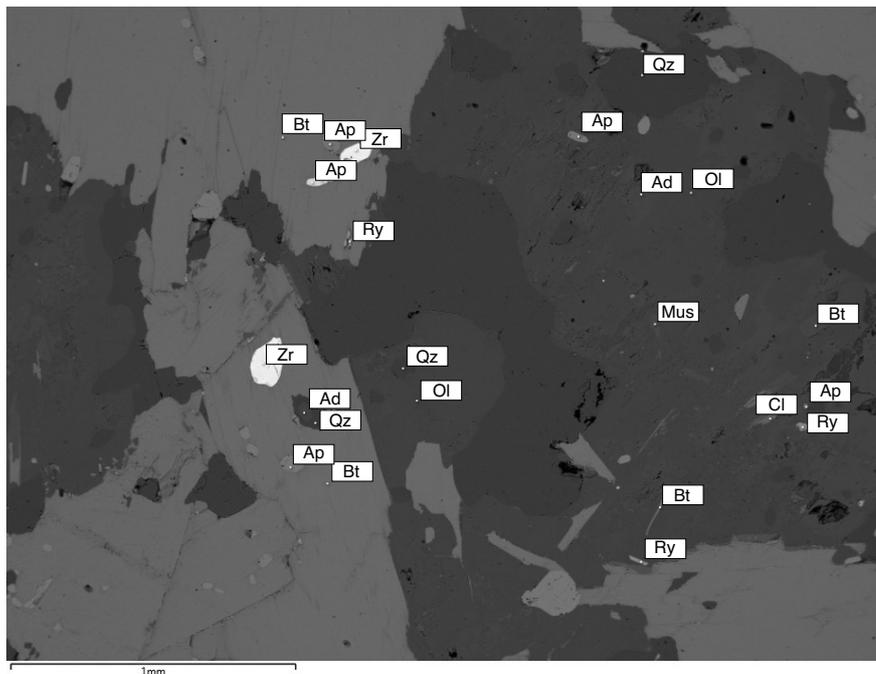


Рисунок 22. Изображение вмещающих пород в обратно-рассеянных электронах.

Слюды представлены мусковитом и биотитом. В образцах представлены листоватыми мелкокристаллическими зернами с совершенной спайностью и стекляннным блеском. Макроскопически имеют черный цвет. В проходящем свете окрашены в бледно-коричневые цвета, плеохроируют. В скрещенных николях перламутрового цвета с высоким рельефом и резкой шагренью. Погасание прямое. В обратно-рассеянных электронах слюды представлены чешуйчатыми, остроугольными зернами ассоциирующими с альбитом, олигоклазом (Рис. 22, 23).

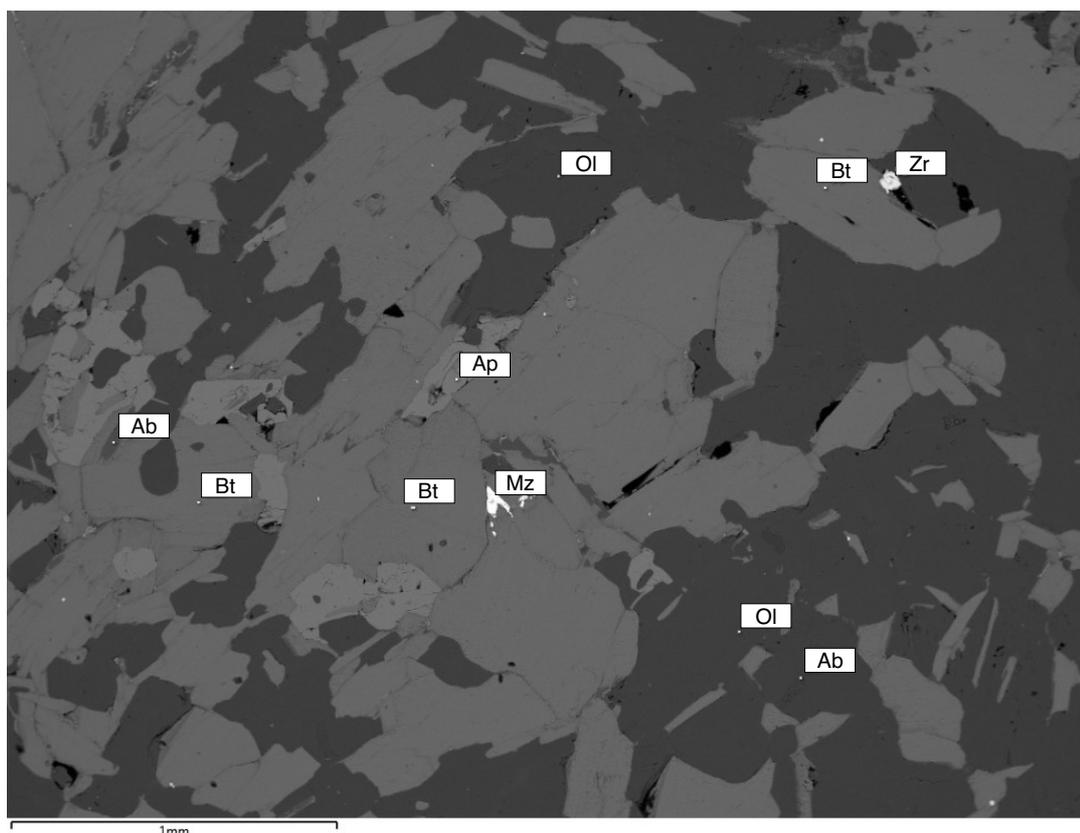


Рисунок 23. Изображение вмещающих пород в обратно-рассеянных электронах.

По химическому анализу слюды соответствуют биотиту и мусковиту (Табл. 5). Расчет формул проводился на 22 заряда. Вариации химического состава приведены на диаграмме (Рис. 24).

Таблица 5. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты минералов группы слюд вмещающих пород месторождения Муркианмяки.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	34.46	36.46	36.28	35.64	45.04	35.39	34.79	37.09	45.14
TiO ₂	3.23	3.12	3.41	3.36		2.75	3.40	3.38	0.17
Al ₂ O ₃	16.92	17.75	17.75	17.63	34.08	17.04	16.98	18.33	34.86
FeO	20.49	20.97	20.72	21.31	1.41	20.13	20.29	21.97	1.40
MgO	7.54	8.46	7.82	7.82	0.67	7.73	7.93	8.40	0.50
MnO	0.36	0.00	0.31	0.38	0.00	0.27	0.00	0.39	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.28	0.00	0.00	0.40
K ₂ O	9.23	9.63	9.64	9.22	10.37	9.02	9.23	9.78	10.39
Сумма	92.23	96.39	95.93	95.36	91.94	92.61	92.62	99.34	92.86
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет на 22 заряда									
K	0.94	0.93	0.90	0.90	0.91	0.91	0.93	0.92	0.91
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00
Сумма	0.94	0.93	0.90	0.90	0.96	0.95	0.93	0.92	0.91
Fe	1.36	1.33	1.39	1.37	0.08	1.33	1.34	1.36	0.08
Mg	0.89	0.95	0.92	0.90	0.07	0.91	0.93	0.92	0.05
Al ^{VI}	0.33	0.34	0.31	0.34	1.88	0.37	0.33	0.33	1.89
Ti	0.19	0.18	0.19	0.19	0.00	0.16	0.20	0.19	0.01
Mn	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
Сумма	2.79	2.80	2.83	2.82	2.03	2.79	2.80	2.82	2.03
Si	2.74	2.76	2.74	2.74	3.11	2.79	2.75	2.74	3.08
Al ^{IV}	1.26	1.24	1.26	0.34	0.34	1.21	1.25	1.26	0.92
Сумма	4.00	4.00	4.00	3.08	3.45	4.00	4.00	4.00	4.00

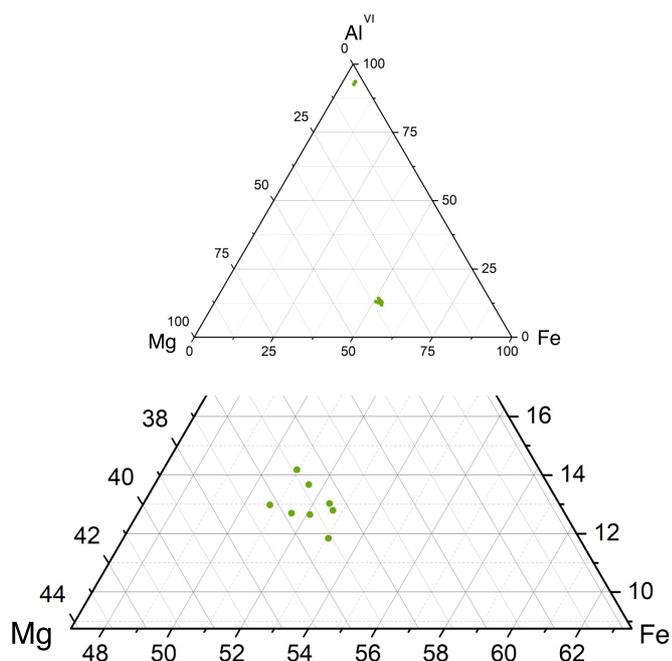


Рисунок 24. Диаграмма вариаций химического состава минералов группы слюд вмещающих пород месторождения Муркианмяки.

Рутил присутствует во вмещающих породах в подчиненном количестве. В образцах минерал представлен в черном цвете с металлическим блеском. В скрещенных николях почти не просветляется. Образует неправильной и вытянутой формы зерна (Рис. 22).

Апатит является аксессуарным минералом и не обнаружен при макроскопическом анализе. В обратно-рассеянных электронах апатит представлен в виде вытянутых бочонкообразных, вытянутых, остроугольных и неправильной формы зерен (Рис. 20, 22, 23). По химическому составу минерал относится к фтор-апатиту (Табл. 6). Расчет формул проводился на 8 катионов.

Таблица 6. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты минералов группы апатита вмещающих пород месторождения Муркианмяки.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
P ₂ O ₅	40.54	40.29	40.74	40.90	38.45	40.13	41.27
CaO	54.75	54.84	55.47	56.26	53.54	54.53	56.93
F	3.58	3.83	3.77	4.04	3.16	3.72	3.76
Сумма	98.87	98.96	99.98	101.20	95.17	98.38	101.96
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет на 8 катионов							
Ca	5.07	5.08	5.06	5.06	5.19	5.09	5.05
P	2.93	2.92	2.94	2.94	2.81	2.91	2.95
F	0.97	1.04	1.02	1.09	0.86	1.01	1.00

Циркон, аналогично апатиту, не был обнаружен при макроскопическом анализе. В обратно-рассеянных электронах встречается в виде короткостолбчатых, изометрических кристаллов (Рис. 22, 23). В таблице 7 приведен химический состав цирконов из вмещающих пород. Формулы рассчитывались на 2 катиона.

Таблица 7. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты цирконов вмещающих пород месторождения Муркианмяки.

Компонент	1	2	3	4
SiO ₂	33.18	32.94	33.55	33.91
ZrO ₂	66.16	65.57	67.12	66.64
HfO ₂	1.12	0.90	0.94	1.37
Сумма	100.46	99.41	101.61	101.92
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.)				
Si	1.01	1.01	1.01	1.02
Zr	0.98	0.98	0.98	0.97
Hf	0.01	0.01	0.01	0.01

Монацит обнаружен при энергодисперсионном электронно-зондовом микроанализе в виде единичного вытянутого зерна неправильной формы с острыми углами (Рис. 22). По результатам анализа минерал является Се-монацитом и имеет следующую формулу: (Ce_{0.49}La_{0.31}Nd_{0.19})_{0.98}P_{1.02}O_{4.02}. Расчет формулы проводился на 2 катиона.

Хлорит также встречается только в качестве аксессуарного минерала в виде вытянутых чешуйчатых зерен (Рис. 21). По результатам химического анализа усредненная химическая формула хлоритов во вмещающих породах, рассчитанная на 22 заряда, имеет следующий вид: $(\text{Fe}_{2.69}\text{Mg}_{1.75}\text{Al}_{1.42}\text{Mn}_{0.06})_{5.92}(\text{Al}_{1.25}\text{Si}_{2.75}\text{O}_{10})(\text{OH})_8$.

4.2 Породообразующие минералы пегматитового тела Муркианмяки

В данном разделе описаны главные породообразующие минералы пегматита месторождения Муркианмяки: полевые шпаты, кварц, мусковит.

Полевые шпаты слагают порядка 40 процентов от общего объема породы, являясь наравне с кварцем, самым распространенным минералом. Полевые шпаты встречаются во внешней и блоковой зонах пегматита, образуя кристаллы белого и бежевого цветов небольшого (до 5 мм) и крупного (более 5 см) размера соответственно. Встречаются несколько разновидностей полевых шпатов: калиевые полевые шпаты (микроклин) и кислые плагиоклазы.

В шлифах в проходящем свете полевой шпат бесцветный, в скрещенных николях имеет серую и желтую окраску. Характерно развитие вторичных минералов по полевым шпатам: серицита.

Микроклин образует небольшие зерна остроугольной вытянутой формы. Для кислых плагиоклазов характерны более крупные зерна различной формы: вытянутые, остроугольные, а также сплошные массы (Рис. 24).

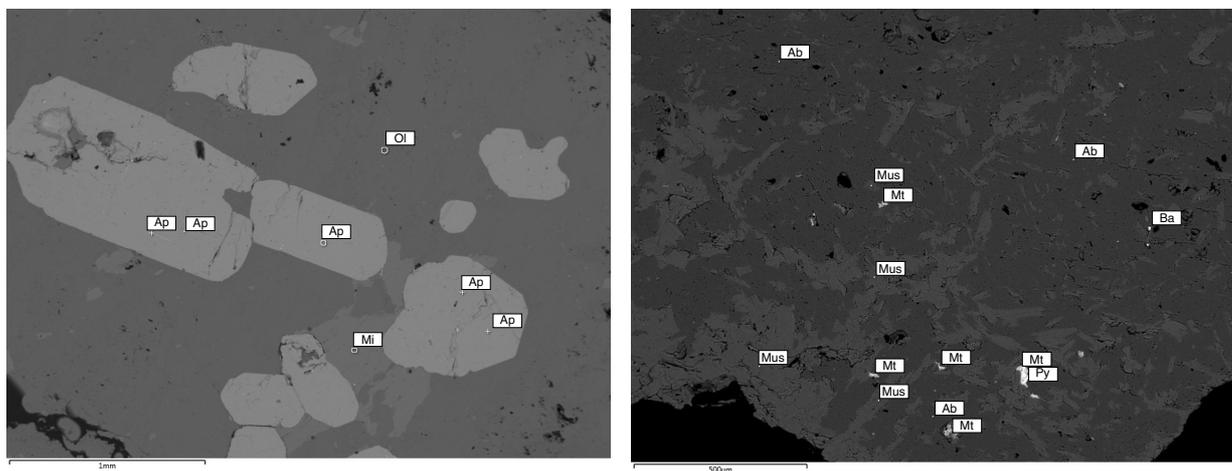


Рисунок 25. Изображения калиевых полевых шпатов и плагиоклазов из пегматитового тела в обратно-рассеянных электронах.

В таблице 8 приведены результаты химического анализа полевых шпатов.

Таблица 8. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты полевых шпатов пегматитового тела Муркианьяки.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Na ₂ O	9.31	10.23	7.53	11.30	10.56	11.03	9.37	9.43	8.52
K ₂ O	0.29	-	1.38	-	-	0.47	-	-	0.29
CaO	2.25	0.37	1.35	0.35	-	0.18	1.94	2.48	4.86
Al ₂ O ₃	21.10	18.95	21.68	20.76	19.23	20.55	20.05	21.33	24.00
SiO ₂	65.85	66.93	62.40	72.99	67.65	70.67	64.42	65.85	64.77
Сумма	98.80	96.48	94.34	105.40	97.44	102.90	95.78	99.09	102.44
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет на 5 катионов									
Na	0.81	0.91	0.69	0.91	0.92	0.91	0.84	0.82	0.72
Ca	0.11	0.02	0.07	0.02	-	0.01	0.10	0.12	0.23
K	0.02	-	0.08	-	-	0.03	-	-	0.02
Al	1.11	1.02	1.21	1.02	1.02	1.03	1.09	1.12	1.23
Si	2.95	3.06	2.95	3.05	3.05	3.02	2.97	2.94	2.81
Компонент	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Na ₂ O	0.55	10.27	10.87	10.58	9.88	10.61	10.28	10.54	10.63
K ₂ O	15.07	-	-	-	0.27	-	-	-	-
CaO	-	0.71	0.17	0.68	1.55	0.93	0.90	0.52	0.69
Al ₂ O ₃	18.02	19.71	19.37	19.80	20.47	20.24	19.94	19.96	19.96
SiO ₂	63.78	67.60	69.17	69.39	66.42	68.50	67.84	68.82	68.80
Сумма	97.42	98.29	99.58	100.45	98.59	100.28	98.96	99.84	100.08
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет на 5 катионов									
Na	0.05	0.89	0.93	0.90	0.86	0.90	0.89	0.90	0.91
Ca	-	0.03	0.01	0.03	0.07	0.04	0.04	0.02	0.07
K	0.91	-	-	-	0.02	-	-	-	-
Al	1.01	1.04	1.01	1.02	1.08	1.05	1.05	1.04	1.03
Si	3.03	3.03	3.05	3.04	2.97	3.01	3.02	3.04	3.03

По химическому составу они относятся к микроклину, альбиту, анортоклазу и олигоклазу. По результатам энергодисперсионного электронно-зондового микроанализа состав минералов, преимущественно, соответствует альбиту. Вариации химического состава представлены на рисунке 26.

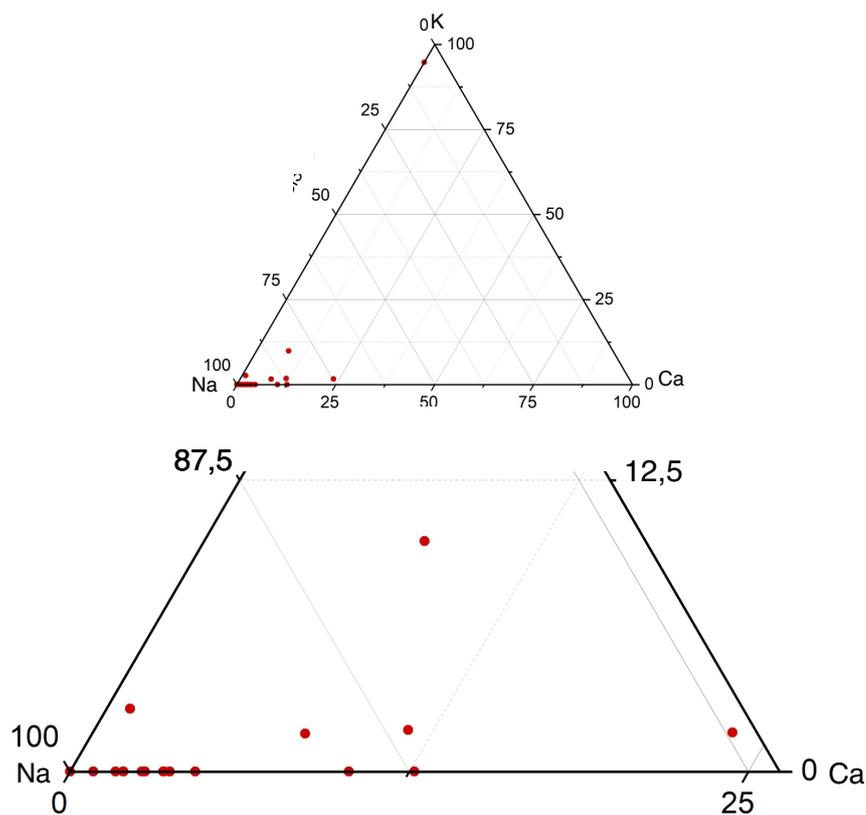


Рисунок 26. Диаграмма вариаций химического состава полевых шпатов из пегматита месторождения Муркианмяки.

По данным рентгенофазового анализа также определены микроклин и альбит, что подтверждает результаты энергодисперсионного электронно-зондового микроанализа. На рисунке 27 и 28 приведены рентгенограммы мономинеральных проб микроклина и альбита из образца 4.4 - 1 б.

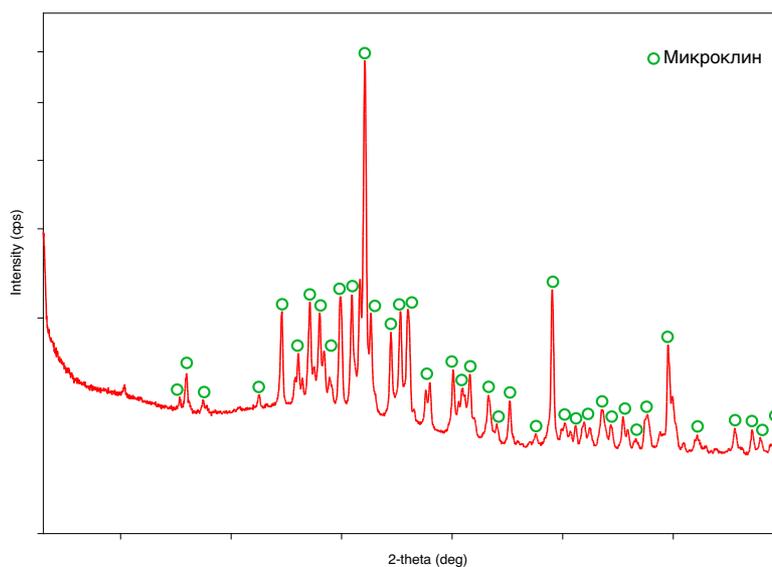


Рисунок 27. Порошковая рентгенограмма микроклина из пегматитового тела Муркианмяки (образец 4.4- 1б).

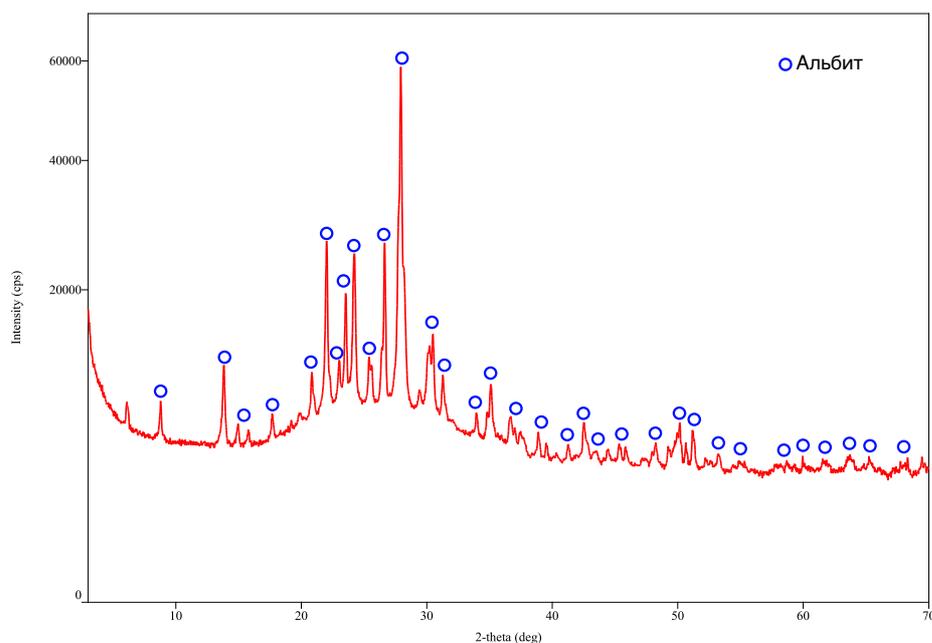


Рисунок 28. Порошковая рентгенограмма альбита из пегматитового тела Муркианьки (образец 4.4- 14).

Кварц, как и полевые шпаты, является самым распространенным минералом пегматита. Встречается кварц во всех зонах пегматитового тела: внешней, блоковой и слагает дифференцированное кварцевое ядро.

Во внешней зоне кварц образует кристаллы размером до 5 мм серого цвета. В блоковой зоне кварц представлен крупными кристаллами и сливными массами в разных цветовых разновидностях: от розового до дымчатого. В ядре пегматитового тела кварц также представлен разными цветами: дымчатый, розовый, фиолетовый.

В образцах представлен как сливными массами, так и в виде эвтектических сростаний с турмалином. В шлифах в скрещенных николях кварц имеет волнистое погасание и серые цвета интерференции.

Из ядра пегматитового тела были отобраны образцы кварца различного цвета, по которым были сделаны пластинки и проведена рамановская спектроскопия. Пики на спектрах комбинационного рассеяния, соответствующие 128, 206, 265, 356, 402, 520, 608, 807 см^{-1} в данном случае являются фоновыми, поскольку свидетельствуют о присутствии кварца (интерпретация по Frezzotti et al., 2012).

Включения в кварце преимущественно газовой-жидкие, также присутствуют и твердые. Для первых в качестве жидкой фазы характерна вода, разной степени солености. Газовая фаза представлена H_2 , CH_4 , N_2 , CO_2 .

На рисунке 29 приведены спектры комбинационного рассеяния различных газовых фаз, определенных в образцах из кварцевого ядра. На графиках пики в районе: 1285, 1370 и 1388 см^{-1} соответствуют CO_2 ; для N_2 показательным является пик 2331 см^{-1} ; для H_2

характерен интенсивный пик в районе 4156 см^{-1} и менее интенсивные $4126, 4143, 4161, 1032, 586, 354\text{ см}^{-1}$; интенсивный пик 2917 см^{-1} и менее интенсивный 3020 см^{-1} указывают на присутствие CH_4 . Область спектра от 2750 до 3900 см^{-1} соответствует молекулам H_2O и гидроксильным группам (интерпретация по Frezzotti et al., 2012).

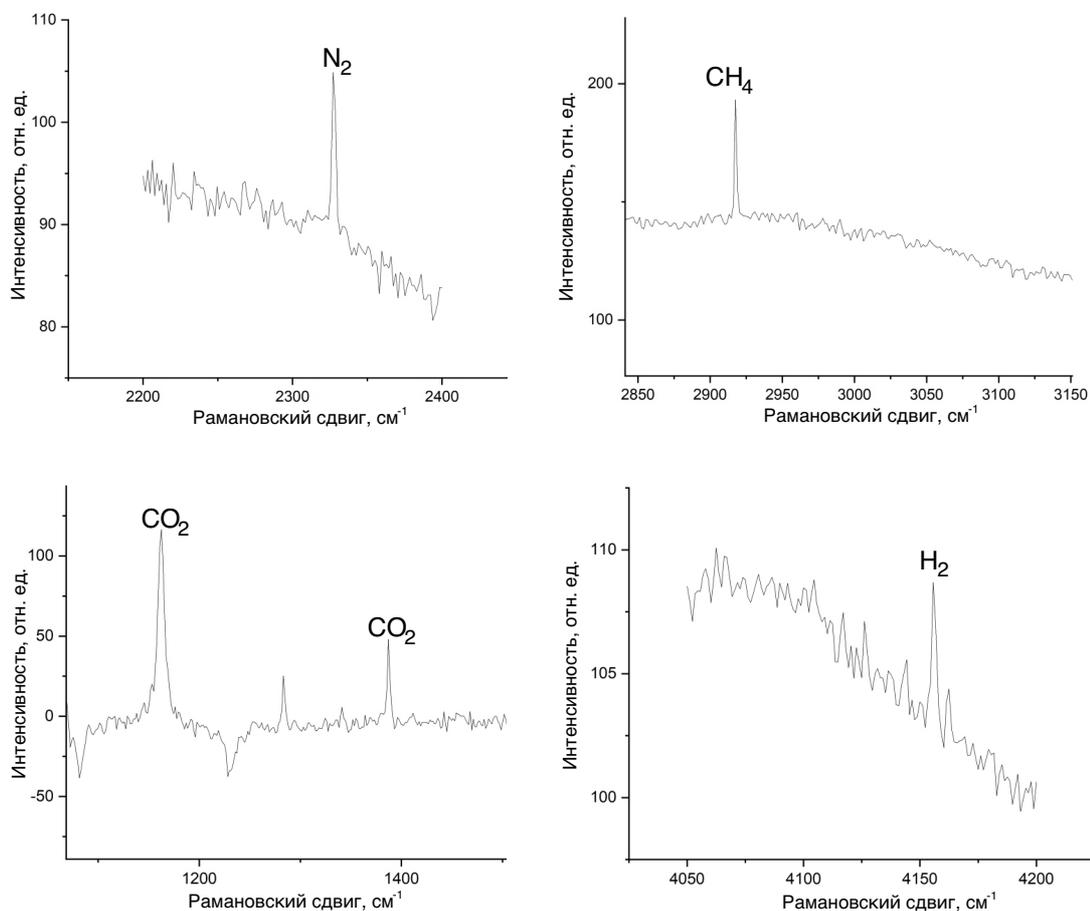


Рисунок 29. Спектры комбинационного рассеяния образцов, полученные на лазере с длиной волны 633 нм (интерпретация по Frezzotti et al., 2012).

Твердые включения в образцах кварца были найдены лишь в единичных зернах и представлены альбитом, кальцитом и мусковитом.

Для альбита характерны интенсивный пик 508 см^{-1} и менее интенсивные $183, 210, 457, 764, 816, 977\text{ см}^{-1}$ (интерпретация по Frezzotti et al., 2012). На рисунке 30 приведены фотография и спектр комбинационного рассеяния включения альбита.

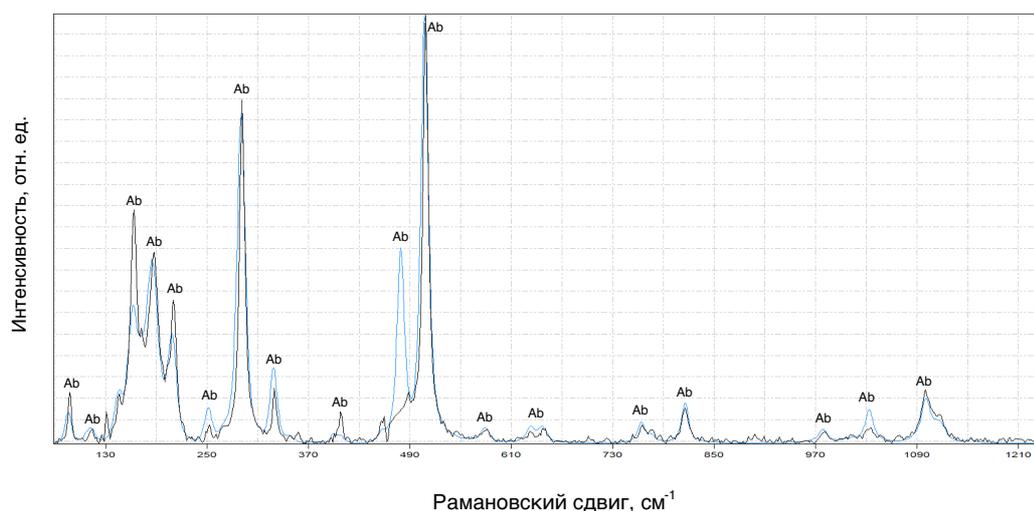


Рисунок 30. Спектр комбинационного рассеяния альбита (черный спектр соответствует изучаемому включению альбита, синий спектр – спектр альбита из базы данных RRUFF).

Интенсивный пик 1085 см^{-1} и менее интенсивные $284, 711, 1435 \text{ см}^{-1}$ свидетельствуют о включении кальцита (интерпретация по Frezzotti et al., 2012).

Для мусковита характерны пики в районе $178, 197, 261, 385, 407, 639, 702, 754, 914, 957, 1117 \text{ см}^{-1}$ и 3627 см^{-1} (ОН-группировка) (интерпретация по Frezzotti et al., 2012). На рисунке 31 приведен спектр комбинационного рассеяния мусковита.

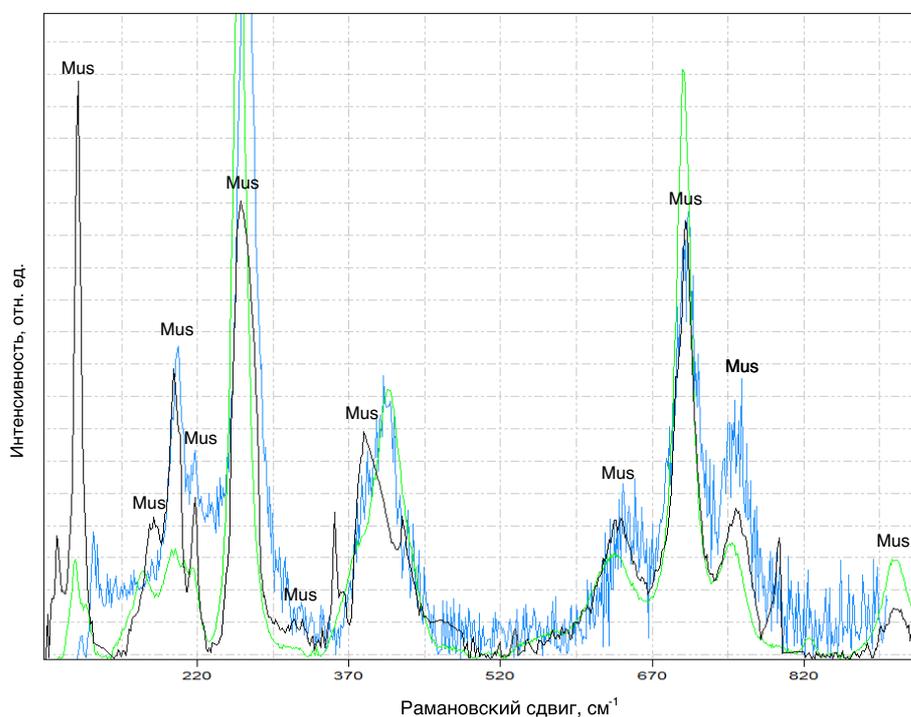


Рисунок 31. Спектр комбинационного рассеяния мусковита (черный спектр соответствует изучаемому включению мусковита, зеленый и синий спектры – спектры мусковита из базы данных RRUFF).

Всего в кварце из ядра пегматитового тела Муркианмяки было выделено 8 видов включений (Табл. 9).

Таблица 9. Состав включений из пегматитового тела Муркианмяки.

Образец	Вид кварца	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	H ₂ O	Альбит	Кальцит	Мусковит
4.4-9	Розовый кварц		+	+	+				
4.4-25	Розовый кварц	+	+			+	+		
4.4-26	Фиолетовый кварц		+			+			
4.4-27	Фиолетовый кварц	+	+		+	+			
4.4-28	Серый кварц		+	+	+	+			
4.4-29	Серый кварц	+	+	+	+	+		+	+

Мусковит слагает порядка 10 – 15 процентов общего объема пегматитового тела Муркианмяки. Встречается мусковит во внешней и блоковой зоне пегматита, образуя пластинчатые кристаллы почти черного цвета (Рис. 16). Также мусковит развивается по полевому шпату и альбиту в виде мелкочешуйчатых желто-зеленых зерен (Рис. 11, 12).

В шлифах в проходящем свете мусковит имеет бледно-коричневый цвет, в скрещенных николях – высокие цвета интерференции. В обратно-рассеянных электронах мусковит представлен в виде мелких чешуйчатых зерен, остроугольных включений в плагиоклазах, а также в виде крупных пластинчатых зерен (Рис. 25, 32).

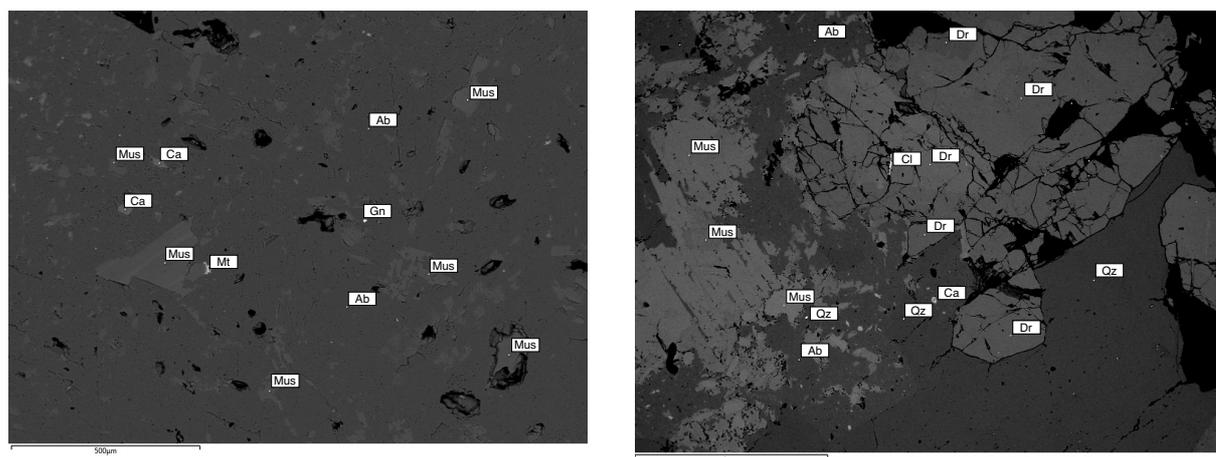


Рисунок 32. Изображения блоковой зоны пегматитового тела в обратно-рассеянных электронах.

В таблице 10 приведены результаты химического анализа слюды. Расчет проводился по 22 зарядам. В целом, состав мусковита постоянен (Рис. 33). Содержание присутствующих примесей (Ti, Fe, Mg, Na) колеблется в пределах 0.1 – 1.38 массовых процентов.

Таблица 10. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты минералов группы слюд пегматитового тела Муркианьяки.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	48.23	48.23	46.04	46.16	46.81	44.06	47.53	45.90
TiO ₂	-	-	-	-	0.91	0.20	-	0.23
Al ₂ O ₃	36.14	26.33	33.62	35.83	34.73	33.98	36.72	34.00
FeO	0.80	0.64	1.38	0.56	1.34	0.84	0.66	1.32
MgO	0.57	0.52	0.73	0.21	0.64	0.26	0.38	0.77
Na ₂ O	0.26	0.29	0.30	0.43	0.27	0.19	0.29	0.31
K ₂ O	11.26	11.11	10.72	10.49	10.67	10.41	11.02	10.80
Сумма	97.26	87.12	92.79	93.68	95.37	89.94	96.60	93.33
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет по 22 зарядам								
K	0.93	1.03	0.93	0.90	0.90	0.93	0.92	0.94
Na	0.03	0.04	0.04	0.60	0.30	0.03	0.04	0.04
Сумма	0.96	1.07	0.97	1.50	1.20	0.96	0.96	0.98
Fe	0.04	0.04	0.08	0.03	0.07	0.05	0.04	0.08
Mg	0.06	0.06	0.07	0.02	0.06	0.03	0.04	0.08
Al ^{VI}	1.90	1.75	1.86	1.94	1.83	1.92	1.93	1.85
Ti	-	-	-	-	0.05	0.01	-	0.01
Сумма	2.00	1.85	2.01	1.99	2.01	2.01	2.01	2.02
Si	3.13	3.50	3.15	3.10	3.11	3.10	3.10	3.12
Al ^{IV}	0.87	0.50	0.85	0.90	0.89	0.90	0.90	0.88
Сумма	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Компонент	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	46.60	47.85	46.83	43.92	43.49	46.52	47.11	46.38
TiO ₂	-	0.79	0.93	0.65	-	-	0.26	-
Al ₂ O ₃	34.46	34.57	33.85	32.65	34.71	33.99	33.14	35.19
FeO	0.73	1.53	1.40	1.42	0.87	1.69	2.26	1.19
MgO	0.51	0.81	0.80	0.75	0.39	0.59	0.83	0.59
Na ₂ O	0.19	0.33	0.35	0.28	0.29	0.00	0.25	0.22
K ₂ O	10.76	11.08	10.88	10.51	10.31	11.14	10.93	10.99
Сумма	93.25	96.96	95.04	90.18	90.06	93.93	94.78	94.56
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет по 22 зарядам								
K	0.93	0.93	0.93	0.95	0.92	0.96	0.94	0.94
Na	0.02	0.04	0.05	0.04	0.04	0.00	0.03	0.03
Сумма	0.95	0.97	0.98	0.99	0.96	0.96	0.97	0.97
Fe	0.04	0.08	0.08	0.08	0.05	0.10	0.13	0.07
Mg	0.05	0.08	0.08	0.08	0.04	0.06	0.08	0.06
Al ^{VI}	1.90	1.80	1.80	1.82	1.94	1.86	1.80	1.89
Ti	-	0.04	0.05	0.03	-	-	0.01	-
Сумма	1.99	2.00	2.01	2.01	2.03	2.02	2.02	2.02
Si	3.15	3.13	3.13	3.10	3.06	3.15	3.17	3.11
Al ^{IV}	0.85	0.87	0.87	0.90	0.94	0.85	0.83	0.89
Сумма	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00

Компонент	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	46.78	46.19	45.37	46.33	44.55	45.12	45.71	45.47
TiO ₂	-	-	0.31	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	35.06	36.26	33.95	33.67	33.91	33.50	34.23	36.33
FeO	0.97	0.88	1.10	2.08	0.90	0.95	0.88	-
MgO	0.54	-	0.57	0.57	0.40	0.68	0.77	-
Na ₂ O	0.18	0.27	-	-	-	-	-	0.39
K ₂ O	10.89	10.90	10.91	10.65	10.69	11.07	10.53	10.74
Сумма	94.42	94.50	92.21	93.30	90.45	91.32	92.12	92.93
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет по 22 зарядам								
K	0.93	0.91	0.96	0.92	0.95	0.98	0.92	0.93
Na	0.02	0.04	-	-	-	-	-	0.05
Сумма	0.95	0.95	0.96	0.92	0.95	0.98	0.92	0.98
Fe	0.05	0.05	0.06	0.12	0.05	0.06	0.05	-
Mg	0.05	-	0.06	0.06	0.04	0.07	0.08	-
Al ^{VI}	1.90	1.95	1.87	1.85	1.92	1.87	1.89	1.98
Ti	-	-	0.02	-	-	-	-	-
Сумма	2.00	2.00	2.01	2.03	2.01	2.00	2.02	1.98
Si	3.13	3.09	3.12	3.15	3.12	3.13	3.13	3.08
Al ^{IV}	0.87	0.91	0.88	0.85	0.88	0.87	0.87	0.92
Сумма	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Компонент	25	26	27	28	29	30	31	32
SiO ₂	45.68	46.59	47.06	47.92	45.24	46.66	48.33	44.54
TiO ₂	-	-	-	-	-	0.54	-	-
Al ₂ O ₃	35.91	37.67	34.83	39.07	36.03	33.31	36.65	36.84
FeO	0.71	-	1.59	-	0.61	2.26	1.31	-
MgO	-	-	0.63	-	-	0.71	0.42	-
Na ₂ O	-	-	0.30	0.39	0.35	0.16	0.00	0.35
K ₂ O	10.57	10.97	10.97	10.99	10.75	10.95	10.90	10.80
Сумма	92.87	95.23	95.38	98.37	92.98	94.59	97.61	92.53
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет по 22 зарядам								
K	0.91	0.92	0.93	0.90	0.93	0.94	0.90	0.94
Na	-	-	-	0.05	0.05	0.02	-	0.05
Сумма	0.91	0.92	0.93	0.95	0.98	0.96	0.90	0.99
Fe	0.04	-	0.09	-	0.03	0.13	0.07	-
Mg	-	-	0.06	-	-	0.07	0.04	-
Al ^{VI}	1.97	2.00	1.86	2.00	1.96	1.80	1.91	1.99
Ti	-	-	-	-	-	0.03	-	-
Сумма	2.01	2.00	2.01	2.00	1.99	2.03	2.02	1.99
Si	3.10	3.07	3.13	3.06	3.07	3.15	3.12	3.03
Al ^{IV}	0.90	0.93	0.87	0.94	0.93	0.85	0.88	0.97
Сумма	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00

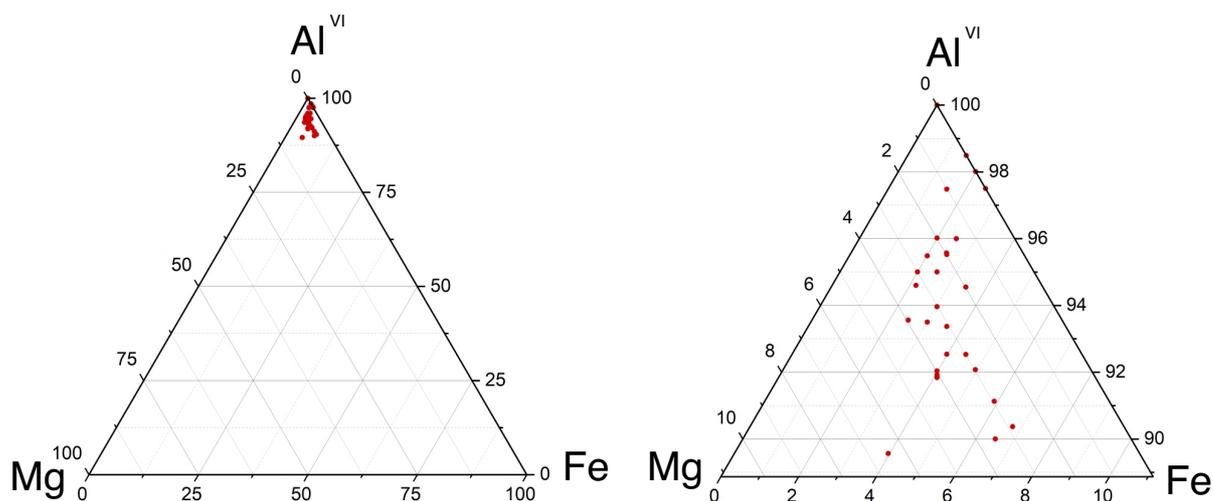


Рисунок 33. Диаграмма вариаций химического состава минералов группы слюд из пегматита месторождения Муркианьяки (справа увеличенная часть Al^{VI} - вершины треугольника).

Диагностика мусковита подтверждается рентгенофазовым анализом. На рисунке 34 приведена рентгенограмма порошковой пробы из образца.

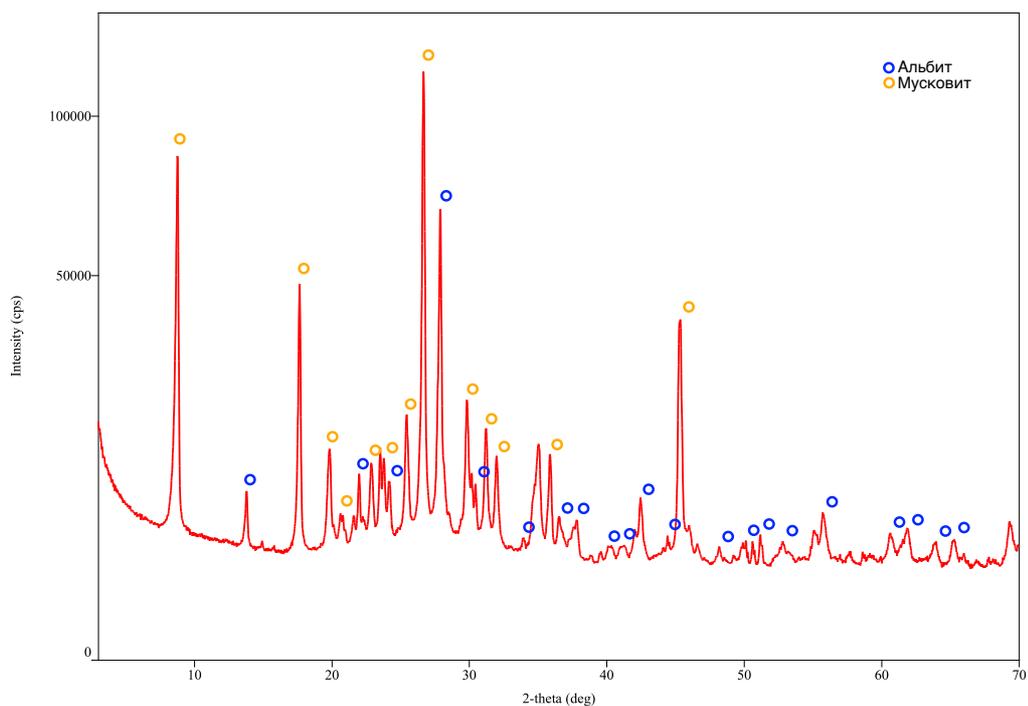


Рисунок 34. Порошковая рентгенограмма мусковита и альбита из пегматитового тела Муркианьяки (образец 4.4- 16).

4.1 Второстепенные минералы пегматитового тела Муркианьяки

В данном разделе описаны минералы, которые составляют значительную часть объема пегматита (5 – 20 %).

Турмалин встречается в блоковой зоне пегматитового тела и относится к двум минеральным видам – шерлу и дравиту. В образцах представлен столбчатыми, вытянутыми

кристаллами черного цвета. Размеры кристаллов достигают 10 см в диаметре. На гранях турмалина присутствует характерная вертикальная штриховка (Рис. 13). Минералы группы турмалина также присутствуют в виде эвтектических сростаний с кварцем (Рис. 15).

В шлифах турмалины в проходящем свете имеют зеленоватую окраску и кристаллы неправильной формы с острыми гранями (Рис. 19в). В скрещенных николях – сильная шагреня и высокие цвета интерференции (Рис. 10г). В обратно-рассеянных электронах турмалины представлены крупными вытянутыми кристаллами, с неровными гранями (Рис. 35). Турмалины слагают как самостоятельные кристаллы, так и встречаются в виде включений в альбите и кварце.

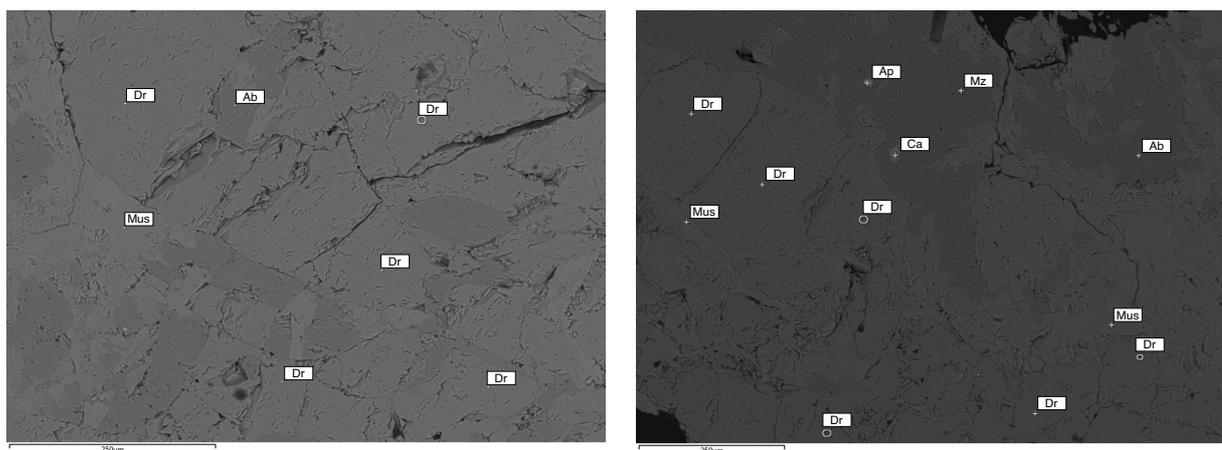


Рисунок 35. Изображения блоковой зоны пегматитового тела в обратно-рассеянных электронах.

По результатам энергодисперсионного электронно-зондового микроанализа состав турмалинов преимущественно соответствует дравиту с высоким содержанием титана (от 0,07 до 0,18 формульных единиц) (Табл. 11). Расчет проводился на 6 катионов. Расчет Fe^{2+} и Fe^{3+} проводился по дефициту заряда. Вариации химического состава турмалинов представлены на диаграммах (Рис. 36). Турмалины относятся к щелочной группе, гидроксильной разновидности.

Таблица 11. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты минералов группы турмалина пегматитового тела Муркианьяки.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	36,02	37,85	37,05	38,69	37,47	38,11	36,71
TiO ₂	1,19	1,32	0,98	0,90	1,36	1,44	0,96
Al ₂ O ₃	31,13	32,80	32,59	34,95	32,68	33,91	32,90
FeO	7,84	9,85	8,00	7,59	8,25	8,54	8,48
MgO	5,48	4,50	5,60	5,92	5,79	5,10	4,88
CaO	0,55	0,41	0,52	0,34	0,54	0,54	0,44
Na ₂ O	1,72	1,78	1,85	1,71	2,05	1,84	1,78
Сумма	83,93	88,51	86,59	90,10	88,14	89,48	86,15
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет на 6 катионов							
Na	0,56	0,55	0,58	0,51	0,64	0,56	0,56
Ca	0,10	0,07	0,09	0,06	0,09	0,09	0,08
Вакансия	0,34	0,38	0,33	0,43	0,27	0,35	0,36
Сумма	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mg	1,36	1,06	1,35	1,37	1,38	1,20	1,19
Fe ²⁺	0,68	0,75	0,86	0,91	1,06	1,07	1,06
Fe ³⁺	0,41	0,56	0,22	0,08	0,04	0,05	0,10
Al	0,11	0,13	0,22	0,39	0,17	0,29	0,34
Ti	0,15	0,16	0,12	0,10	0,16	0,17	0,12
Сумма	2,71	2,66	2,77	2,85	2,81	2,78	2,81
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
BO ₃	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
(OH)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Компонент	8	9	10	11	12	13	14
SiO ₂	37,30	36,44	36,77	36,63	37,88	36,62	36,89
TiO ₂	1,33	0,82	0,61	1,43	1,12	0,85	1,20
Al ₂ O ₃	33,09	31,90	33,99	31,66	32,54	32,79	32,92
FeO	7,97	8,40	8,39	7,85	8,15	8,33	7,95
MgO	5,41	4,90	4,74	5,75	5,55	5,44	5,77
CaO	0,68	0,37	0,31	0,69	0,60	0,50	0,51
Na ₂ O	1,87	1,72	1,65	1,86	1,80	1,74	2,02
Сумма	87,65	84,55	86,46	85,87	87,64	86,27	87,26
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет на 6 катионов							
Na	0,58	0,55	0,52	0,59	0,55	0,55	0,64
Ca	0,12	0,07	0,05	0,12	0,10	0,09	0,09
Вакансия	0,30	0,38	0,43	0,29	0,35	0,36	0,27
Сумма	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mg	1,30	1,20	1,15	1,40	1,31	1,33	1,40
Fe ²⁺	1,07	0,54	1,14	0,91	0,38	1,14	1,08
Fe ³⁺	-	0,62	-	0,16	0,70	-	-
Al	0,28	0,19	0,54	0,11	0,08	0,33	0,31
Ti	0,16	0,10	0,07	0,18	0,13	0,10	0,15
Сумма	2,81	2,65	2,90	2,76	2,60	2,90	2,94
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
BO ₃	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
(OH)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

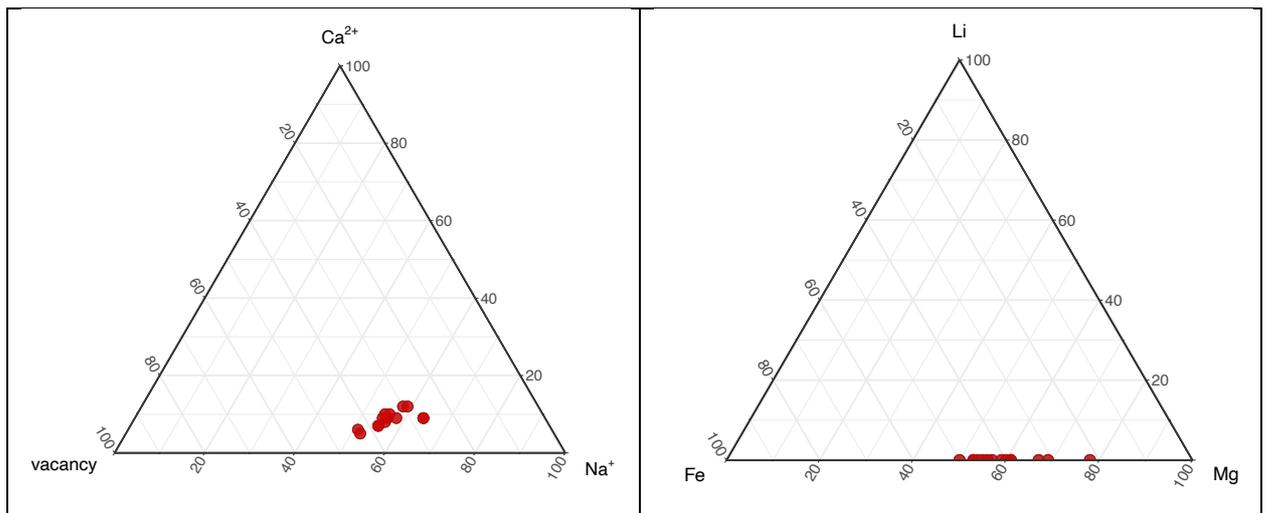


Рисунок 36. Диаграммы вариаций химического состава минералов группы турмалина пегматита месторождения Муркианмяки.

4.1 Акцессорные минералы пегматитового тела Муркианмяки

Такие минералы встречаются в пегматитах месторождения Муркианмяки в виде мелких кристаллов, зачастую определяемых только под электронным микроскопом. Акцессорные минералы встречаются в основном в блоковой зоне пегматитового тела.

Апатит представлен фторапатитом образует мелкие короткопризматические кристаллы, размером до 3 мкм, голубого, сине-зеленого цветов (Рис. 16). В обратно рассеянных электронах апатит представлен как бочонкообразными кристаллами, так и вытянутыми, округлыми зернами (Рис. 25, 37).

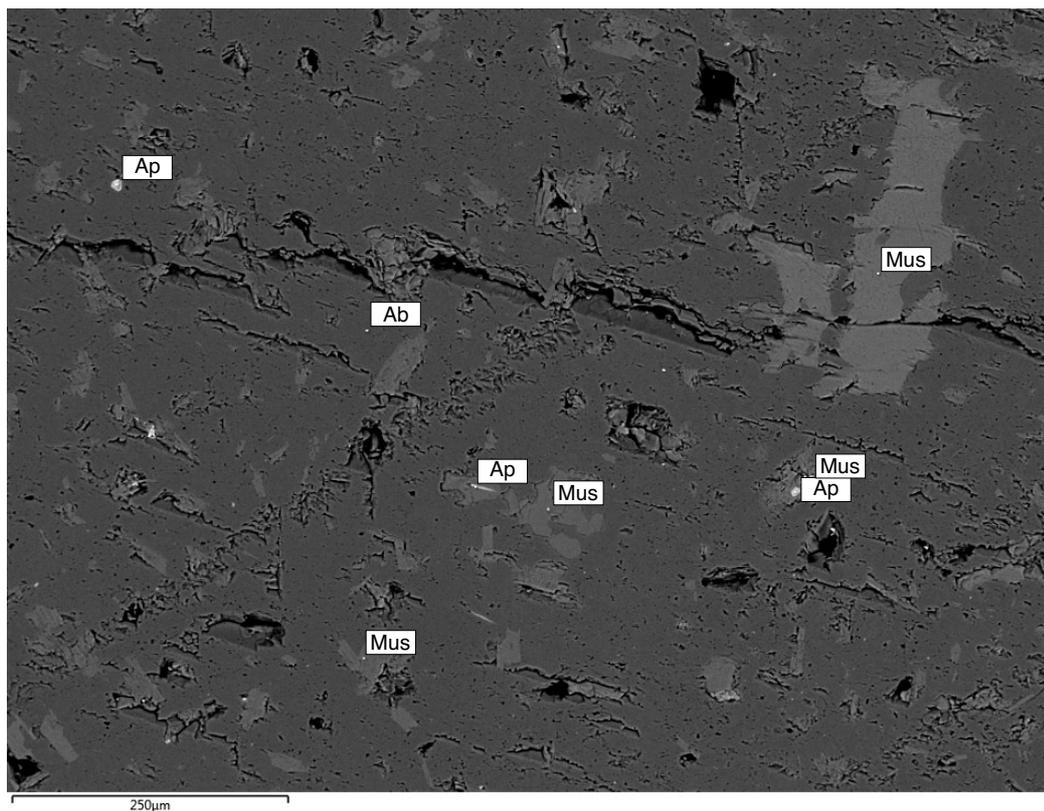


Рисунок 37. Изображение блоковой зоны пегматитового тела в обратно-рассеянных электронах.

Исходя из химического состава (Табл. 12) минерал можно отнести к фтор-апатиту. Расчет формул производился на 5 катионов. В состав минерала входят примесные элементы (Ce, Nd, Al, Na, Mn) в количестве не более 1 массового процента.

Таблица 12. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты минералов группы апатита пегматитового тела Муркианмяки.

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
P ₂ O ₅	41.23	41.11	39.95	39.60	41.05	39.98	39.73	39.66
CaO	55.22	55.55	54.12	53.32	59.36	55.90	53.97	55.47
MnO	-	0.54	0.45	0.49	0.40	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	0.67	-
Ce ₂ O ₃	-	-	0.82	-	-	-	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	0.40	-	-	-	-	-
F	3.30	3.82	2.62	3.39	3.29	4.30	3.42	2.75
Сумма	99.75	97.20	94.52	93.41	100.81	95.88	93.70	95.13
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет на 5 катионов								
Ca	5.04	4.98	5.02	5.05	5.06	5.11	4.97	5.15
Mn	-	0,08	0.07	0.07	0.05	-	-	-
Al	-	-	-	-	-	-	0.20	-
Ce	-	-	0.03	-	-	-	-	-
Nd	-	-	0.01	-	-	-	-	-
P	2.96	2.94	2.88	2.87	2.88	2.89	2.83	2.85
F	0.89	1.02	0.71	0.92	0.86	1.16	0.91	0.74

Апатит также подтвержден по результатам рентгенофазового анализа. На рисунке 38 приведена рентгенограмма порошковой пробы из образца.

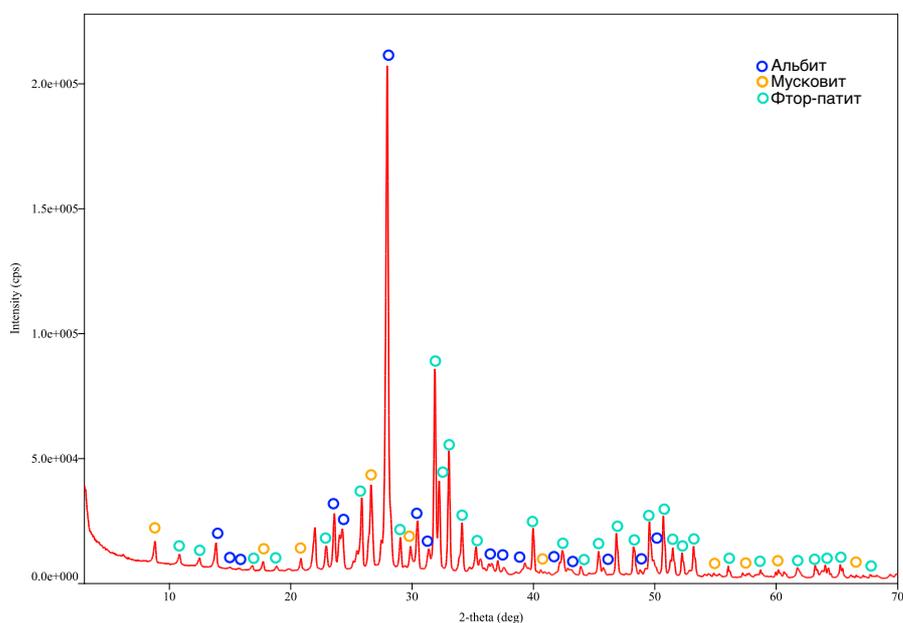


Рисунок 38. Порошковая рентгенограмма апатита, мусковита и альбита из пегматитового тела Муркианмяки (образец 4.4- 19).

Монацит образует мелкие выделения округлые, вытянутые или неправильной формы с изрезанными краями (Рис. 39). По результатам энергодисперсионного электронно-

зондового микроанализа состав минерала преимущественно соответствует Се-монациту (Табл. 13). Расчет формулы проводился на 2 катиона.

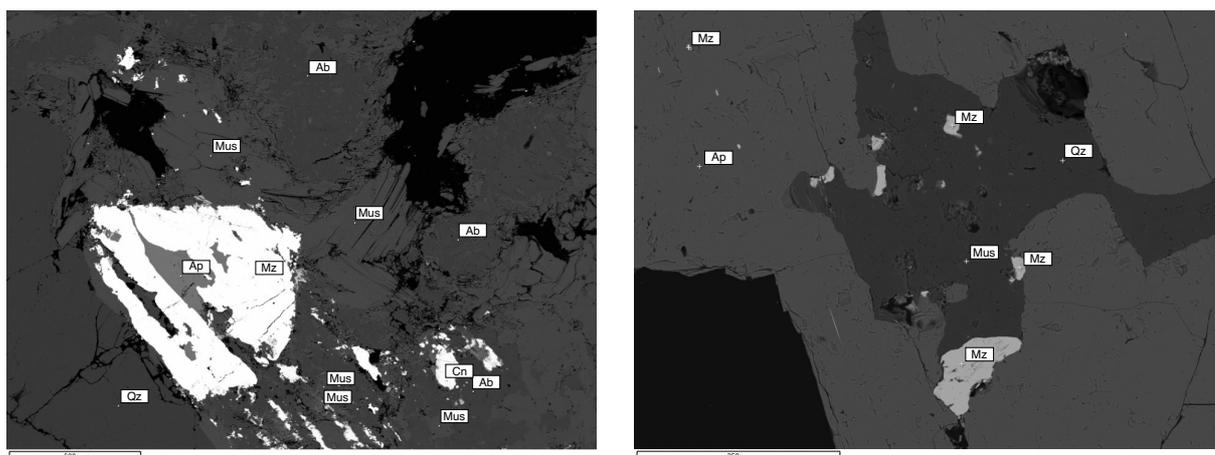


Рисунок 39. Изображения блоковой зоны пегматитового тела в обратно-рассеянных электронах.

Таблица 13. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты монацита пегматитового тела Муркианьяки.

Компонент	1	2	3	4	5
P ₂ O ₅	28.37	28.45	27.77	29.03	27.69
CaO	0.56	-	-	1.54	-
La ₂ O ₃	22.64	20.21	23.01	15.85	26.14
Ce ₂ O ₃	30.95	30.42	30.74	30.99	31.33
Pr ₂ O ₃	3.31	-	-	3.62	0.00
Nd ₂ O ₃	13.00	12.75	11.66	14.87	9.83
Sm ₂ O ₃	1.96	-	-	2.22	-
ThO ₂	-	-	-	-	0.99
Сумма	100.79	91.83	93.18	98.12	94.99
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.), расчет на 2 катиона					
Ca	0.02	-	-	0.06	-
La	0.33	0.32	0.36	0.23	0.40
Ce	0.45	0.47	0.47	0.45	0.48
Pr	0.05	-	-	0.05	-
Nd	0.18	0.19	0.18	0.21	0.44
Sm	0.03	-	-	0.03	-
Th	-	-	-	-	0.01
Сумма	1.05	0.98	1.01	1.03	1.33
P	0.95	1.02	0.99	0.97	0.97

Магнетит встречается в виде мелких зерен неправильной или округлой формы (Рис. 40).

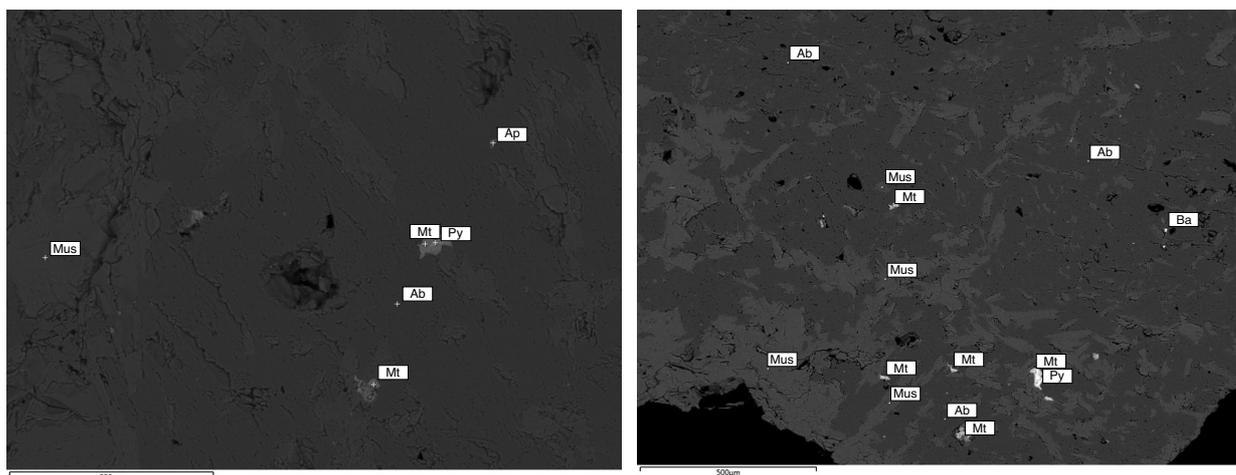


Рисунок 40. Изображения блоковой зоны пегматитового тела в обратно-рассеянных электронах.

Карбонаты образуют округлые зерна небольшого размера (Рис. 41). По результатам энергодисперсионного электронно-зондового микроанализа состав минерала преимущественно соответствует кальциту (Табл. 14). Расчет формулы проводился на 1 катион. В качестве примесей присутствуют Mn и Fe.

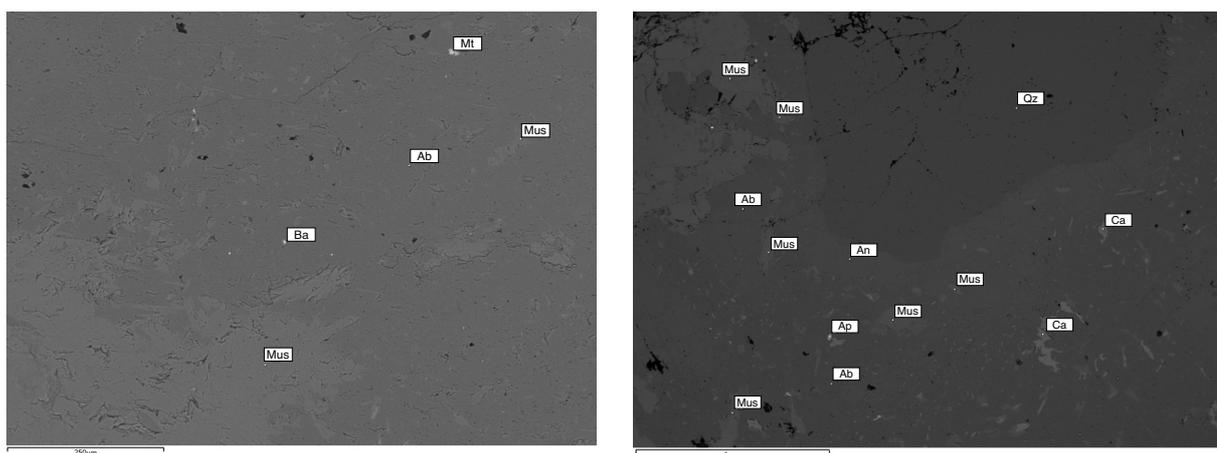


Рисунок 41. Изображения блоковой зоны пегматитового тела в обратно-рассеянных электронах.

Таблица 14. Химический состав (масс. %) и кристаллохимические коэффициенты карбонатов пегматитового тела Муркианьяки.

Компонент	1	2	3	4	5	6
CaO	51,74	50,30	51,64	48,99	53,62	53,32
MnO	-	-	-	2,34	-	-
FeO	-	-	-	1,34	-	-
Сумма	51,74	50,30	51,64	52,67	53,62	53,32
Кристаллохимические коэффициенты (ф.ед.)						
Ca	1,00	1,00	1,00	0,94	1,00	1,00
Mn	-	-	-	0,04	-	-
Fe	-	-	-	0,02	-	-
Сумма	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
CO ₃	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Пирит и галенит в пегматите месторождения Муркианмяки встречаются в виде единичных зерен и представлены мелкими округлыми зернами (Рис. 40, 41). Обнаружены данным минералы были с использованием энергодисперсионного электронно-зондового микроанализа.

Барит образует округлые и вытянутые маленькие зерна, размером менее 100 мк (Рис. 41).

‘Кальциоанкилит’ – минерал, химический состав которого по результатам энергодисперсионного электронно-зондового микроанализа равен: CaO - 16.48, La₂O₃ – 20.07, Ce₂O₃ – 20.33, Nd₂O₃ – 6.28 массовых процентов. Минерал встречается в виде округлых вытянутых зерен с заливообразными гранями, размером порядка 100 мк (Рис. 40).

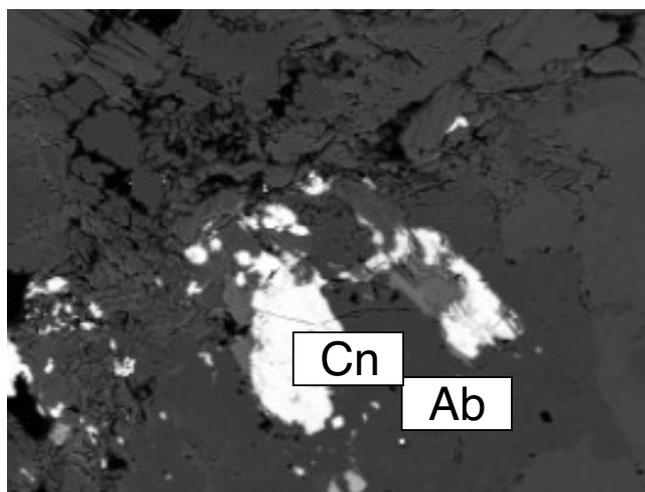


Рисунок 42. Изображение ‘кальциоанкилита’ из блоковой зоны пегматитового тела в обратно-рассеянных электронах

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы исследованы структурно-текстурные особенности рассматриваемых пегматитовых пород и получены данные химического состава для вмещающих, породообразующих, второстепенных и акцессорных. А также проведен рентгенофазовый анализ пород пегматитового тела Муркианмяки.

В строении пегматитового тела было выделено три зоны: приконтактовая аплитовая, блочная и кварцевое ядро.

По комплексу исследований было диагностировано 20 минеральных видов: микроклин, кислые плагиоклазы (альбит, анортоклаз, олигоклаз), кварц, мусковит, биотит, дравит, шерл, фтор-апатит, рутил, циркон, монацит-Се, 'кальциоанкилит-La', магнетит, кальцит, пирит, галенит, барит, хлорит.

С помощью рамановской спектроскопии был установлен состав газовой-жидких и твердых минеральных включений в разноокрашенном кварце из кварцевого ядра. Газово-жидкие включения представлены H_2 , N_2 , CO_2 , CH_4 , H_2O ; твердые – кальцитом, мусковитом, альбитом.

Таким образом, по результатам исследования можно сделать вывод, что пегматитовое тело Муркианмяки относится к редкометалльно-слюдавносно-керамической формации полно дифференцированного подтипа. Глубина формирования таких пегматитов порядка 10 – 20 метров (Гордиенко, 1996).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Eskola P.E.* The problem of mantled gneiss domes. Quarterly Journal Geol Soc, 104. **1949.** - 461-476 p.
- Балтыбаев Ш.К. Левченков, Л.К. Левский.* Свекофеннский пояс Фенноскандии: пространственно-временная корреляция раннепротерозойских эндогенных процессов. – СПб.: Наука, **2009.** – 328 с.
- Борисов И.В.* Научная справка: Техногенно-природные ландшафты выработок кварца и полевого шпата «Муркинамяки-Петромяки на о. Риеккалансаари. – Сортавала.: Региональный Музей Северного Приладожья, **2007.** – 11 с.
- Булах А.Г.* Общая минералогия. Издание второе, исправленное и переработанное: Учебник. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, **1999.** – 356 с.
- Булах А.Г., Золотарев А.А., Кривовичев В.Г.* Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, **2014.** – 133 с.
- Булах А.Г.* Руководство и таблицы для расчета формул минералов. – Москва: Издательство «Недра», **1964.** – 132 с.
- Воинов А.С., Котова И.К.* Геология и геологические экскурсии в районе Импилахтинского учебного полигона: учеб.-метод. Руководство по студенческой геологической практике / А.С. Воинов, И.К. Котова. –СПб.: С.-Петерб. гос. ун-т, **2012.** – 40 с.
- Глебовицкий В.А.* Ранний докембрий Балтийского щита. – СПб.: Наука, **2005.** – 711 с.
- Гордиенко В.В.* Гранитные пегматиты (рудные формации, минералого-геохимические особенности, происхождение, поисково-оценочные критерии). СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета. 1996. – 272 с.
- Лодочников В.Н.* Главнейшие породообразующие минералы. Издание пятое, исправленное и дополненное. Под редакцией В.С. Соболева. – Москва: Издательство «Недра», **1974.** – 248 с.
- Саранчина Г.М.* Пороодообразующие минералы (методика определения кристаллооптических констант, характеристика минералов): учебное пособие. - СПб: Изд-во С.-Петербургского университета, **2000.** – 155 с.
- <http://handbookofmineralogy.com/>
- <https://www.mindat.org/>
- <https://rruff.info/>
- <https://www.google.ru/intl/ru/earth/>
- <https://studbooks.net/>
- <https://nbcrcs.org/>